



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S. A.



CONTRATO No. 4257

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TECNICA DE LOS
APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS

RIOS PAEZ Y LA PLATA

VOLUMEN IV

GEOLOGIA Y SISMOLOGIA



consultoría colombiana Ltda.

CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS





INDICE

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS. | |
| 1.- INTRODUCCION. | 1 |
| 1.1. <u>Objetivo y Alcance de la Investigación.</u> | 1 |
| 1.2. <u>Metodología.</u> | 1 |
| 1.3. <u>Localización y Acceso.</u> | 4 |
| 1.4. <u>Estudios Previos.</u> | 4 |
| 1.5. <u>Investigación Actual.</u> | 5 |
| 2.- GEOLOGIA REGIONAL. | 6 |
| 2.1. <u>Geomorfología.</u> | 6 |
| 2.2. <u>Estratigrafía.</u> | 9 |
| 3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL. | 29 |
| 3.1. <u>Falla de Tóez.</u> | 31 |
| 3.2. <u>Falla de Tálaga.</u> | 31 |
| 3.3. <u>Falla Cohetandillo.</u> | 31 |
| 3.4. <u>Falla Avirama.</u> | 32 |
| 3.5. <u>Fractura de Belalcár.</u> | 32 |
| 3.6. <u>Falla Grillo.</u> | 32 |
| 3.7. <u>Falla Moras.</u> | 33 |
| 3.8. <u>Falla Macama.</u> | 33 |
| 3.9. <u>Falla Frayle.</u> | 34 |
| 3.10. <u>Falla La Plata.</u> | 34 |
| 3.11. <u>Falla de La Azufrada.</u> | 36 |
| 3.12. <u>Graven de La Plata.</u> | 36 |
| 3.13. <u>Falla de La Chorrera.</u> | 37 |

./.

| | | |
|-------|--|----|
| 3.14. | <u>Anticlinal de Itaibe y Sinclinal de El Cairo.</u> | 37 |
| 3.15. | <u>Anticlinal de Minas.</u> | 38 |
| 3.16. | <u>Sinclinal de San Andrés.</u> | 38 |
| 3.17. | <u>Anticlinal de La Venta.</u> | 38 |
| 3.18. | <u>Falla Guamito.</u> | 39 |
| 3.19. | <u>Sinclinal de Tesalia.</u> | 40 |
| 3.20. | <u>Anticlinal de Motilones.</u> | 40 |
| 3.21. | <u>Anticlinal de La Ocha.</u> | 40 |
| 3.22. | <u>Falla Magdalena.</u> | 41 |
| 3.23. | <u>Falla Pital.</u> | 41 |
| 4.- | EVOLUCION GEOLOGICA. | 42 |
| 5.- | GEOTECNIA. | 45 |
| 5.1. | <u>Proyecto Paicol.</u> | 45 |
| 5.2. | <u>Proyecto Macama.</u> | 61 |
| 5.3. | <u>Proyecto Piedra Grande.</u> | 69 |
| 5.4. | <u>Proyecto Guinea.</u> | 74 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Mapa Geológico Regional
- Figura 2 Localización de Muestras
- Figura 3 Proyecto Paicol
Geología del Sitio de Presa
- Figura 4 Proyecto Paicol
Geología zona de túneles
- Figura 5 Proyecto Paicol
Geología del embalse
- Figura 6 Proyecto Macama
Geología del Sitio de presa
- Figura 7 Proyecto Macama
Geología Regional
- Figura 8 Proyecto Piedra Grande
Geología Regional
- Figura 9 Proyecto Piedra Grande
Geología del sitio de Presa
- Figura 10 Proyecto Guinea
Geología del Sitio de Presa
- Figura 11 Proyecto Guinea
Geología Regional
- Figura 12 Proyecto Macama
Columna Estratigráfica Generalizada

Figura 13 Proyecto Piedra Grande
Columna Estratigráfica Generalizada

Figura 14 Proyecto Guinea
Columna Estratigráfica Generalizada

1.- INTRODUCCION.

Este trabajo es parte del plan de desarrollo hidroeléctrico que actualmente lleva a cabo el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica - ICEL - y la Electrificadora del Huila "ELECTROHUILA", en la cuenca del Alto Magdalena, que comprende el sur del departamento del Huila, y la parte oriental del departamento del Cauca.

Presenta el resultado de la investigación geológica general realizada en las cuencas hidrográficas de los ríos Páez y La Plata, entre los municipios de Tesalia, Paicol, Argentina, Nátaga, La Plata, Páez e Inzá y algunas poblaciones menores tales como: Aranzazu, Puerto Valencia, San Andrés-de Pisimbala, Tóez, Gallego y Villa Lozada.

Se describen las características geológicas generales del área y el levantamiento detallado escala 1:5.000 de los cuatro (4) sitios de presa seleccionados; localizados: tres (3) en el cauce del río Páez, denominados Paicol, Macama y Piedra Grande y uno (1) en el cauce del río La Plata denominado Guinea; se relacionan las muestras con los análisis petrográficos en los principales sitios de obras e incluye las características geotécnicas generales de estabilidad necesarias para los prediseños de las obras a realizar. En la figura 1 se presenta la localización de estos sitios.

1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACION.

El principal objetivo consistió en evaluar y analizar todas las características geológicas del área para la obtención de la información necesaria en la selección óptima de los sitios de presa y áreas de embalse teniendo en cuenta el punto de vista de generación de energía.

1.2. METODOLOGIA.

Toda la investigación de las características geológicas y geotécnicas rea

lizadas en el área de los proyectos se llevó a cabo en las siguientes etapas: información preliminar, investigación de superficie, investigación de subsuelo, investigación detallada en los sitios planeados para las obras y su objetivo principal fué clarificar los parámetros de fundación, estabilidad y permeabilidad.

La información preliminar se refirió a la recopilación, evaluación y análisis de la documentación fisiográfica y geológica existente, tales como, publicaciones, mapas topográficos, aerofotografías e imágenes de satélite que sirvieron para obtener un mejor conocimiento de los fenómenos sobresalientes de la geología regional.

La investigación de superficie, representó la parte más importante de los estudios desarrollados, relacionados más que todo al comportamiento general de las rocas, el mapeo geológico y geomorfológico, contribuyó a la determinación de las posibles localizaciones de obras y permitió la planeación y selección de los sitios aptos para presas, áreas de embalse y alineamientos más favorables para ejes de túneles con respecto al estado y composición de la roca, estabilidad general de taludes, tectónica regional (estructural), y permeabilidad del vaso. Las posibilidades potenciales se compararon desde el punto de vista de problemas geológicos y estabilidad general, seleccionando siempre con relación a costos y producción de energía.

Durante la investigación del subsuelo se llevó a cabo la ejecución de trincheras y apiques, que permitieron el conocimiento de las características tanto de las rocas como de las estructuras disfrazadas y cubiertas por depósitos recientes, la búsqueda y selección de fuentes de materiales, en la vecindad de los proyectos.

Las investigaciones geológicas detalladas constituyeron el patrón base para el estudio de las propiedades, características y comportamiento de las

rocas, su composición, efecto de la capa de alteración, zonas de descomposición, fenómenos de erosión, tectónica detallada, evaluación preliminar de la estabilidad y permeabilidad, preparación de secciones transversales y longitudinales para las diferentes obras a diseñar, realización de análisis estructurales y estadísticos para la evaluación y orientación de los esfuerzos tectónicos o estados primarios de los esfuerzos especialmente en los alrededores de los sitios seleccionados para las obras y a lo largo de los posibles alineamientos de túneles; toma de muestras para análisis petrográficos para establecer las características fundamentales en la localización satisfactoria de áreas de embalse sitios de presa, obras anexas y túneles.

Como última etapa se elaboraron mapas geológicos en escalas 1:5.000; 1:200.000 donde se muestran los tipos y estados de rocas, formaciones, fallamientos, características estructurales, sistemas de diaclasamiento, estratificación y esquistocidad que se observaron en el área.

El alcance de los trabajos de campo fue netamente de superficie, realizando una cartografía en escala 1:25.000 de la cuenca del río Páez, con una extensión aproximada de 3.000 Km². El detalle en escala 1:5.000 en los cuatro (4) proyectos seleccionados, con el levantamiento de columnas litológicas y estructura predominantes del área; para la investigación de las características estructurales ocultas por depósitos recientes, se realizaron pequeñas trincheras y apiques, los cuales dieron una mayor luz sobre las rocas y fenómenos actuantes. Durante la etapa de reconocimiento se localizaron cuarenta (40) sitios de estrechamientos topográficos, sitios que una vez evaluados y analizadas sus características geológicas se llegó a la selección de catorce (14) sitios, sobre los cuales se actuó con mayor intensidad hasta llegar a los cuatro (4) sitios anteriormente citados.

1.3 LOCALIZACION Y ACCESO.

El área del proyecto está situada en la vertiente oriental de la Cordillera Central, y la parte de transición del Valle Alto del Magdalena, en los departamentos de Huila y Cauca.

El proyecto Paicol se encuentra localizado en los Cerros Matanzas, al Noroeste del municipio Paicol, siguiendo el carreteable Paicol - La Plata. (Foto 1).

El proyecto Macama está localizado en los Cerros los Frayles (márgen derecha) y La Cumbre (márgen izquierda). (foto 2); siguiendo el carreteable La Plata - Belalcázar.

El proyecto Piedra Grande está situado en los Cerros Piedra Grande siguiendo el carreteable Belalcázar - Tóez. (foto 3); en las cercanías de La Vereda Tálaga.

El proyecto Guinea está localizado a 14 Km de la población de La Plata, en el sitio denominado Guinea, por la carretera La Plata - Belén - Popayán. (foto 4).

1.4. ESTUDIOS PREVIOS.

Los estudios geológicos regionales del área son escasos, a excepción de varias secciones realizadas por algunos autores como Grosse (1.935), y trabajos ejecutados de carácter local por Hubach y Alvarado (1.932), a cerca de la región del Puracé; fotogeologías realizadas por el Centro Interamericano de Fotointerpretación "CIAF", y una serie de trabajos efectuados especialmente hacia el norte de la cuenca del río Saldaña.

1.5. INVESTIGACION ACTUAL.

Para éste trabajo se utilizaron los métodos convencionales de levantamientos geológicos por medio de la observación directa en el campo, con ayuda de fotografías aéreas para la obtención de los parámetros geológicos más interesantes, haciendo énfasis en las características litoestructurales, - que afectan ostensiblemente la estabilidad de los macizos en las vertientes de las cuencas, características indispensables para la evaluación, análisis y control de los procesos geodinámicos.

El informe se presenta en dos (2) secciones: una primera parte dedicada a la geología regional y una segunda parte aplicada a las obras de ingeniería.

2.- GEOLOGIA REGIONAL.

Una gran variedad de rocas igneas (efusivas e intrusivas), metamórficas y sedimentarias con una tectónica de bloques, conforman el marco regional - donde se desarrollan los proyectos.

Un complejo igneo "migmatítico" relacionado al proceso de levantamiento de la cordillera Central, conforma las rocas más antiguas del área, asociada a procesos graníticos e intruido por Stocks ácidos. (Gránito de Villa Lozada).

Tanto las rocas metamórficas como sedimentarias presentan ejes de desarrollo estructural NNE asociada a las fases orogénicas de la cordillera y su interacción con el Valle Alto del Magdalena; rocas que han sufrido una acelerada erosión o su no depositación por haber existido altos paleotopográficos, que constituyen el marco regional del flanco este de la cordillera central y el Valle Alto del Magdalena.

2.1. GEOMORFOLOGIA.

El flanco este de la cordillera Central y el Valle Alto del Magdalena, muestran varios eventos orogénicos, geomorfológicamente expresados por grandes abanicos aluviales, alineados en bloques hundidos evidenciando una excavación rápida de los bloques sollevantados con cañones angostos y profundos.

Los proyectos Macama y Piedra Grande se encuentran localizados sobre la - vertiente este de la cordillera Central, aproximadamente entre el Valle de La Plata y el corregimiento de Tóez; la zona presenta una topografía abrupta con las alturas predominantes que varían entre los 2.400 y 1.000 m.s.n.m. El río Páez recorre 50 Km entre el embalse de Piedra Grande y el Valle de La Plata, y durante éste trayecto recibe los caudales de los ríos Negro, - Simbola y Moras y las quebradas Honda, Cuevas, Macama, Coquiyú, Guapio y Tálaga, entre otras. El río presenta fuertes gradientes con cuaces profun

dos y algunas pequeñas cuencas colgadas.

De acuerdo a las características litológicas, de las rocas igneas y migmatíticas aflorantes y donde la meteorización ha actuado descubriendo parcial o totalmente las rocas, se observan valles angostos, de cañones profundos, crestas subredondeadas, con drenaje subrectangular a angular, controlado esencialmente por la tectónica existente (fallas y diaclasamiento), con orientación especialmente NNE.

En las partes donde aflora roca metamórfica, tipo esquistos, tobas soldadas etc., se presentan valles en "V" con crestas generalmente amplias y pendientes que varían entre los 30 - 60° con drenajes subparalelos, especialmente controlados por la orientación y foliación de la roca. En las zonas donde afloran rocas sedimentarias se observan drenajes subangulares a subparalelos de cauce corto y profundo controlados principalmente por la tectónica existente.

Las geoformas de las mesetas son las repuestas directas a la actividad ignea reciente de los volcanes del Puracé y Huila depositadas en la margen de los principales drenajes del área.

El área del proyecto Guinea se encuentra localizada inmediatamente al Este de la cordillera Central entre las poblaciones de La Plata y Gallego. La zona en general presenta una topografía suave entre la población de la Plata y la quebrada El Salado y abrupta desde la quebrada El Salado hacia aguas arriba, con alturas que varían entre los 1.000 y 1.800 m.s.n.m.

El río La Plata, tiene su curso en una dirección SW - NE y recorre unos 22.5 Km entre las poblaciones de Gallego y La Plata; durante éste trayecto recibe los caudales de los ríos Loro, Aguacatal y las quebradas Río Frío, Moscopán, Perico, Los Bojos, El Salado, El Alto Retiro, El avispero, La Chorrera, Azafranal y Chuchayaco.

En el tramo comprendido entre las poblaciones de Gallego y la quebrada El Salado, el río La Plata presenta cauces profundos y estrechos con pendientes entre 40 y 45°; con vertientes colgadas, con crestas subredondeadas (granito gráfico de Villa Lozada) y crestas pronunciadas (tobas, basaltos y chert volcánicos) pertenecientes a la Formación Saldaña, con drenaje subrectangular a angular, subparalelo controlado especialmente por las fracturas y diaclasas con orientación principalmente NW Y NE.

Entre la quebrada El Salado y la población de La Plata, el río presenta un valle amplio, con pendientes topográficas suaves y drenaje subparalelo a angular.

La región comprendida entre la Falla de La Plata, como rasgo geomorfológico más importante que marca el límite entre la cordillera Central y el río Magdalena, presenta un relieve moderado hasta fuerte con diferencias entre 600 a 1.800 m de altura. Las características morfológicas están representadas por serranías alineadas en una dirección predominante Noreste, controlados por los aspectos lítico estructurales atacadas intensamente por fenómenos de erosión, debido a la poca cementación de las rocas existentes y al sistema climático reinante, especialmente en las márgenes del río Magdalena, donde se observa un marcado ambiente desértico. El drenaje varía desde subparalelo hasta subangular y algunas veces subdendrítico, de densidad media y cauces en forma de "V", con márgenes fuertemente inclinadas.

Esta zona está caracterizada por la presencia de extensos valles con superficies planas a ligeramente inclinadas, como producto del relleno de materiales volcánicos retrabajados y grandes abanicos que cubren vastas regiones.

Los gradientes en estas zonas son bastante suaves, que conllevan a divagaciones meandricas de los ríos principales.

2.2. ESTRATIGRAFIA.

La gran actividad igneo-tectónica de la Cordillera Central y su interacción con el Valle del Alto Magdalena confirman una estructura de bloques con desarrollo de "gravens" dentro de las rocas más antiguas que han permitido depósitos de rocas más jóvenes, limitadas por fallas regionales, conservando las de la gran denudación a que ha sido sometida la cordillera en los múltiples eventos posteriores.

En el área afloran las rocas igneas (efusivas e intrusivas) metamórficas y sedimentarias, figura 1, en su orden de antigüedad tenemos:

2.2.1. Macizo de La Plata. (Pep).

Se designa con éste nombre un macizo igneo metamórfico "migmatítico", que presenta sus mejores afloramientos siguiendo el carreteable La Plata - Valencia - Belalcázar. Este complejo presenta una gran extensión alargada con una orientación general NNE y una amplitud aproximada de 30 Km desde La Plata hasta la quebrada de Tálaga NW de la población de Belalcázar; está limitado al SE con la Falla de La Plata que lo enfrenta con sedimentos conglomeráticos, rojizos a grisáceos, pertenecientes a la Formación Gualanday (foto 5), y hacia el NNW con la Falla de Macama que lo enfrenta con una secuencia metamórfica del Complejo de Macama, separándolo de su continuación hasta la Falla Tálaga.

Está compuesto de una secuencia de neises en bandas claras cuarzo-feldespáticas y oscuras anfibólicas en estructuras migmatíticas de tipo: flebítico, boudinage, estromática y agmática. (fotos 6, 7, 8 y 9), con orientación general N 50 - 80°E y un alto ángulo de inclinación de la foliación entre 70-90° SEE.

Algunos paleosomas presentan vestigios de texturas sedimentarias (cuarcitas) observables siguiendo la margen izquierda del río Páez, en los alrededores

del caserío de Aranzazu y cerca al sitio determinado como casa de máquinas del proyecto Macama.

Estas rocas tienen una distribución irregular marcándose especialmente hacia el borde Este y centro en un gran cuerpo igneo granítico leucocrático holocristalino de grano medio a grueso, fanerítico de color rosado a gris oscuro, (foto 10), cambiando su composición transicionalmente, de Este a Oeste hasta Gabro. (Batolito de Belalcázar), pero con estructuras migmatíticas. Esta transición puede observarse con notorio pseudoalineamiento de los máficos, desde la desviación en la Inspección Ricaurte hasta la Falla Macama. Figura 7.

Toda esta secuencia de rocas está cortada esporádicamente por diques de descomposición básica, melanocrática, fanerítica fina "diques diabásicos" y lamprofiros, (fotos 11 y 12), siguiendo principalmente el diaclasamiento general con terminaciones apicales bruscas, brechando la roca encajante y además por el intrusivo granítico de Villa Lozada.

Estas rocas nos muestran un metamorfismo regional de alto grado, facie "granulita" (foto 13), con eventos dinamotérmicos y cataclásticos superpuestos. El metamorfismo cataclástico se observa especialmente siguiendo el alineamiento de las Fallas Frayles y Macama, variando irregularmente la zona de influencia, dependiendo directamente del tipo de fallamiento, profundidad y presión alcanzadas en cada sitio, produciendo rocas de grano fino a grueso, seudoesquistocidad, alto diaclasamiento y fracturación, brechas, fallas menores, rocas fluxionadas (recristalizadas) e inyección de diques.

Es muy claro observar en el área, la acción térmica ocasionada por la serie de Stoks y diques asociada a la gran actividad tectónica que han ayudado al desarrollo de estos grandes cuerpos.

Este macizo presenta un relieve abrupto con una acción de meteorización máxima de 15 a 20 m de profundidad, aflorando sobre la base del río como roca inalterada dura y resistente con un sistema de diaclasa NNW de alto ángulo (foto 14) y NNE de bajo a alto ángulo. Según las relaciones de campo estas son las rocas más antiguas del área con un metamorfismo de alto grado "granulitas" posiblemente de edad precámbrica. El túnel propuesto para el proyecto Macama, será excavado en éste tipo de rocas.

Algunos autores afirman que éste complejo es la continuación occidental y Andina del Escudo Guayanes asignándole una edad precámbrica; Grosse E. 1935 Vesga Et. Al., 1.975 hacia la parte norte le asignan una edad paleozoica superior.

2.2.2. Granito Gráfico de Villa Lozada. (Pzv).

Nombre tomado por su localización y sus características petrográficas. Se presenta en un cuerpo de forma alargada con dirección N-S que aflora en los alrededores de las poblaciones de Gallego y Villa Lozada. (foto 15).

Este cuerpo toma colores blanco a rosado tenue, con textura holocristalina micrográfica de grano medio, (foto 16), constituido esencialmente por feldespato alcalino densamente intercrecido con cuarzo, produciendo la típica estructura gráfica denominada "runita" con minerales, accesorios tales como magnetita y trazas de biotita.

Al este, está roca corta en forma de diques, el Macizo de La Plata y al Oeste infrayace discordantemente la Formación Saldaña (foto 17), observable en la quebrada Perico.

Teniendo en cuenta las relaciones de campo anteriormente descritas, a éste cuerpo se le asigna una edad paleozoica. La totalidad del embalse del proyecto Guinea se encuentra localizada en éste tipo de roca.

2.3. Complejo de Macama. (Pzm).

Denominamos con este nombre e informalmente, una serie de rocas metamórficas (foto 2) que afloran entre la confluencia de los ríos Negro y Páez, hasta la desembocadura de la quebrada Macama. Figura 7.

Este complejo presenta una topografía abrupta, cubierta por suelos de poco espesor, con drenaje subparalelo, controlado especialmente por la foliación y sistema principal de diaclasamiento.

Está limitado por accidentes tectónicos importantes del área; al Este con la Falla de Macama que lo enfrenta con el Macizo de La Plata y al Oeste con la Falla Grillo. Este carácter tectónico conforma una estructura tipo "Graven" que le han permitido su preservación a la erosión.

La componen una secuencia de esquistos cloríticos, cuarzo cericíticos de colores verdes, sedosos en muestra fresca y amarillentos en muestra alterada, distribuidos irregularmente dentro de la secuencia con las estructuras lineales de alta compactación, tobas ignimbríticas, metabasaltos cloritizados, esquistos verde oscuro, y filitas gris claro meteorizando a amarillo sedoso, cuarcita clorítica y pizarras micaceas, secciones delgadas realizadas a estos tipos de roca, definen paraénesis de minerales que determinan el metamorfismo actuante como de tipo regional de bajo grado, facie de esquistos verdes; acompañada de una actividad volcánica de tipo fisural íntimamente relacionada al sistema de Falla Macama, pilar activo regional de la Cordillera Central.

Estas rocas presentan un rumbo general, N 20-40° E, con un alto ángulo de inclinación de foliación, contorsionados y replegados cerca a la Falla Macama, el espesor observado es de 600 m, aproximadamente, limitado por dos (2) pilares tectónicos regionales de orientación Noreste y cubierto discordantemente por el Conglomerado del Guámbico. El sitio de presa Macama se encuentra en esta serie metamórfica.

Al parecer y por comparación con la literatura geológica existente permiten tentativamente ubicarla en una posición estratigráfica semejante a la del Grupo Cajamarca.

2.2.4. Conglomerado del Guábico. (TRg).

Se asigna con éste nombre una secuencia volcanosedimentaria conglomerática que aflora desde la confluencia del río Negro y el río Páez hasta la quebrada La Paila siguiendo el carreteable al corregimiento de Pedregal, (Cauca), donde presenta su mejor sección. Figura 7.

Se encuentra suprayaciendo discordantemente las metamórficas del Complejo Macama; presenta hacia la base un espeso conglomerado "polimigtico" gris a pardo con cantos angulares a subredondeados de Chert, rocas igneas, granito gráfico, tobas gris oscura y verdes, cuarzo hialino, filitas, esquistos, cuarcitas gris oscuras, embebidas en una matriz areno-gravosa gris, cenizas y polvo volcánico muy bien consolidada, dura y resistente, (foto 18). El conglomerado toma características de brecha en su parte basal donde es afectado por fallas menores, observable especialmente siguiendo el carreteable a San Luis; se presenta en bancos espesos, (10 m), disminuyendo el tamaño de sus cantos hacia el techo y la potencia de los bancos hasta 1 m de espesor; según análisis petrográfico, (foto 19) de la muestra tomada hacia la parte media de la secuencia, se define como una toba arenosa conglomerática a brechoide con una matriz constituida por polvo y ceniza volcánica con cuarzoes de bordes en bahia de origen volcánico.

En la parte media superior se presentan unas arenitas líticas verdes de grano fino a medio en capas delgadas a gruesas, intercaladas con conglomerados en matriz de origen volcánico rojiza, compactos, duros y resistentes, altamente cristalizados; esporadicamente se observan limolitas alternando con capas verdes arenosas con abundante ceniza volcánica y delgados niveles calcáreos, toda esta secuencia presenta una geometría plana, paralela-

y lenticular, estratificación cruzada y gradada. De un espesor superior a los 400 m, afectada por abundantes fallas y pliegues menores.

Las rocas constitutivas de esta formación hacen parte del área de embalse del proyecto Macama.

Teniendo en cuenta la posición geográfica de la cuenca del Saldaña un poco más al Norte de esta cuenca, además de las características litológicas observadas, tentativamente la correlacionamos con la Formación Luisa descrita por Cediel Et. Al. 1.981, con cambios faciales hacia el Sur.

2.5. Formación Coquiú. (TRsc).

Designamos con este nombre una secuencia sedimentaria con metamorfismo cataclástico sobreimpuesto, que presenta sus mejores afloramientos en los alrededores de las veredas Coquiú, La Florida en cercanías de la población de Inzá. Forma las partes más escarpadas del área, cubiertas por cenizas volcánicas y suelos de poco espesor. (foto 20).

Hacia la parte basal y especialmente siguiendo los lineamientos de las fallas mayores (Falla Grillo), se observan rocas metamórficas de tipo pizarra gris y verdes, filitas amarillo-verdoso, metacalizas grises a negras bien laminadas, esquistos amarillos y cuarzo feldespáticos, metareniscas de grano fino a medio altamente replegadas y fracturadas con laminación fina paralela, limolitas, Metachert en capas hasta de 20 cm, masivos intercalados con calizas negras y Shale carbonoso, cortados por abundantes diques de cuarzo con formas "Boudinage".

Estas rocas se presentan en algunas localidades como en el cerro de La Florida, con un metamorfismo incipiente hacia la base, presentándose normal la continuación de la secuencia, pero hay otras localidades más intensamente falladas donde se acentúa el metamorfismo cataclástico; esta formación

tiene un espesor estimado en 450 m. Tentativamente las comparamos con la formación Payande.

2.2.6. Formación Saldaña. (TRs).

Tiene su origen a partir de erupciones volcánicas de tipo fisural de carácter explosivo, relacionadas con las grandes fracturas de La Plata y Macama; a partir de un magma ácido, rico en volátiles, provenientes de la anatexis de la antigua corteza continental o de sedimentos de subducción, que se precipitaron en forma de nubes de materiales gaseopiroclásticos que se extendieron en diferentes direcciones cubriendo toda la zona, comprende el actual Valle del Alto Magdalena y borde Este de la cordillera Central. Es muy probable que durante la depositación de estos materiales hubiera ocurrido un gran hundimiento volcano-tectónico, debido a la pesada carga superficial y a su vez a la pérdida de material magmático subyacente.

La parte volcánica de esta formación presenta una constitución intermedia entre lavas y tobas, donde las lavas fluyeron como líquidos viscosos y las tobas se esparcieron en forma de espuma o nube densa, que al depositarse y consolidarse adquirieron una estructura comúnmente bandeada con pequeños lentes de lava vítrea (Shards).

Estas rocas afloran a lo largo de la denominada Serranía de Minas en una franja desde el Suroeste de la población de la Argentina hasta el Noroeste de Pacamí, (foto 1), interrumpida por la Falla de La Plata, que la pone en contacto con el gran Macizo del mismo nombre. Por lo general se encuentra en la parte axial de todos los anticlinales presentes en el Valle del río Magdalena (márgen izquierda); tales como el Anticlinal de Matanzas, Anticlinal de La Venta, Anticlinal de La Ocha y siguiendo la márgen derecha del río Páez hasta más al Sur de las poblaciones del Agrado y Pital. con el Anticlinal de Motilones.

En general comprende un gran complejo de rocas volcano-sedimentarias; de tipo piroclásticos de alta compactación con abundante presencia de "Shards", por lo general su textura es microcristalina con matriz afanítica; éste - complejo está formado esencialmente por ignimbritas, constituidas por tobas soldadas de cenizas volcánicas y Lápilli de composición riolítica a andesítica, (foto 21). Es muy común la intercalación de lavas riolíticas reconocidas por su textura felsofídica intrusiones de cuerpos basálticos de color verde oscuro "diabásicos" y chert de origen volcánico.

La coloración general del conjunto varia entre rosado a violaseo y en algunas partes hasta vinotinto, dependiendo del mayor contenido de óxidos ferrosos. Macroscopicamente presentan un aspecto porfirítico; sin embargo - consisten de pequeños fragmentos de rocas volcánicas, más antiguas englobadas en matriz; en general la secuencia de la Formación Saldaña presenta espesores mayores a los 1000 m (según información de donde se realizó la descripción de la secuencia típica).

Como consecuencia de períodos de levantamientos y denudación dió como resultado la depositación de sedimentos en pequeñas cuencas, de extensión poco continua; este miembro sedimentario consta de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, subangulares a subredondeadas, conglomeráticas hacia la base, intercaladas con limolitas de coloración gris violeta a vinotinto ligeramente arenosas, en capas gruesas a muy gruesas, con una geometría ondulosa, paralela, continua. En las zonas de contacto con las rocas volcánicas se observan interestratificaciones de lavas de composición riolítica. El espesor de esta parte sedimentaria medido en el área del proyecto Paicol es de 55 m.

El contacto inferior es de carácter discordante con las rocas infrayacentes de la Formación Coquiyú. Los sitios de presa de los proyectos Paicol y Guinea, se encuentran localizados en las rocas volcánicas de esta formación.

2.2.7. Granito de Cohetandillo. (Trc).

Aflora desde la quebrada Tálaga hasta la inspección de Tóez al Noreste del área, con buena sección a lo largo del área de la quebrada Cohetandillo y el carreteable Belalcázar - Tóez, limitado por las fallas de Tóez y Tálaga. Es una roca ignea, leucocrática, de textura fanerítica gruesa holocristalina, algo alterada en superficie, la muestra tomada para la sección petrográfica se clasificó como un granito biotítico. (Foto 22).

Por relaciones, éste cuerpo infrayace rocas de la Formación Coquiyú y Saldaña.

2.2.8. Formación Caballos. (Kic).

La secuencia cretácica estudiada en el área de los trabajos, se comparó con la secuencia de la Cuenca de Cundinamarca y se optó por emplearse la misma nomenclatura utilizando principalmente sus características litoestratigráficas.

Esta Formación Caballos que es la base de la secuencia cretácica se dividió en tres (3) niveles: superior, medio e inferior, bien diferenciables, tanto por caracteres litológicos como rasgos morfológicos.

Los niveles inferior y superior consisten en areniscas cuarzosas blancas - de aspecto sacaroide de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, - los granos varían desde subangulares a subredondeados, calibre regular a malo, muy limpias, porosas con estratificación cruzada. El segmento inferior presenta estratificación con geometría plana, paralela, muy gruesa de carácter masivo, el segmento superior en estratificación plana, subparalela de carácter medio a grueso.

El nivel medio está compuesto por areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, con granos subangulares a subredondeados, calibre regular

a malo, porosas, la geometría de la estratificación es plana, no paralela continua (acuñada) con variaciones de espesores entre 0.3 y 1.5 m; las capas se encuentran intensamente fracturadas, intercaladas con limolitas grises y violetas, fisibles, con una geometría de la estratificación subparalela discontinua, plana, con espesores mayores de un (1) m.

En la región de Tesalia, Vereda el Medio, es muy frecuente encontrar trozos y astillas de lignito, incluidas en el nivel inferior.

El contacto inferior es concordante con las rocas sedimentarias y discordante con las rocas volcánicas de la Formación Saldaña, (foto 1), el contacto superior es de tipo concordante transicional con las capas de la Formación Villeta. Indican una depositación durante una transgresión marina en aguas poco profundas a litorales. El espesor de esta formación medida cerca al sitio de presa del proyecto Paicol (estribo derecho) es de 60 m.

Esta formación aflora en el núcleo del Anticlinal de Matanzas (serranía de Minas); ocupa también la zona homoclinal de Nátaga; toda la vertiente Sur de la quebrada Motilones; al sur de la población de Paicol y a lo largo de todo el anticlinal de La Venta. (figura 1).

2.2.9. Formación Villeta. (Kv).

Esta formación aflora a los alrededores de la población de Itaibe en el Anticlinal de Matanzas, en el Sinclinal de San Andrés, Anticlinal de la Venta, en la vertiente izquierda de la cuenca de la quebrada Motilones y en el Anticlinal de La Ocha.

Para un estudio más detallado y descriptivo se optó por dividir esta formación en cinco (5) niveles litológicos con descripción de la base hasta el techo.

a.- Nivel Inferior: se presentan limolitas ligeramente arenosas de coloración gris oscura con granos de cuarzo de tamaño arena fina, de laminación ondulada continua, no paralela y geometría plana paralela continua - con espesores que varían entre 1.0 a 2.0 m con intercalaciones de calizas negras, duras, bastante fosilíferas (Bivalvos) con geometría de la estratificación ondulosa, paralela, continua, algo disturbada con capas medianas a gruesas, además, existen capas de areniscas intercaladas localmente, ligeramente calcáreas (cemento calcáreo) de grano fino, con matriz arcillosa mal calibradas de color gris claro y estratificación ondulosa, paralela - continua, en capas gruesas a muy gruesas. Esta secuencia presenta un espesor de 114 m.

b.- Nivel Lutítico Calcáreo: de coloración gris claro hasta oscuro, con laminación plana, paralela continua y de estratificación plana paralela - continua en capas gruesas a muy gruesas, con intercalaciones de calizas negras duras con estratificación plana paralela continua, en capas medianas a gruesas, la alternancia de las capas da un aspecto bandeado a éste nivel el espesor total es de 60 m, hacia el techo afloran 18.6 m de Shale con concreciones fosilíferas.

c.- Nivel de Lutitas: este nivel presenta una intercalación de lutitas - intercaladas con calizas negras duras. Las características litológicas y estratigráficas de éste nivel son muy semejantes al nivel (b). Su espesor es de 123 m.

d.- Nivel de Shales Negros: Shale negros con geometría plana, paralela - discontinua. Hacia el techo aparecen estos Shales con espesores de 0.5 a 5.0 m intercalados con calizas duras, con moldes de bivalvos, en capas medianas a gruesas. Este nivel mide 14.2 m.

e.- Lutitas Negras Calcáreas: por último y en la parte más superior de la formación encontramos un nivel caracterizado por lutitas negras calcá -

reas con espesores de 0.15 a 2.0 m, intercaladas con lentes, concrecionales (ruedas de carreta) de calizas negras duras, con espesores entre 0.2 y 0.5 m. Este nivel tiene un espesor de 66 m.

El espesor total de la Formación Villeta, en esta área es de 396 m y sus límites tanto superior como inferior son de carácter concordante transicional con la Formación Guadalupe u Caballos respectivamente; tomando como base la presencia de lutitas calcáreas; se considera como sedimentos provenientes de un ambiente marino somero con una cuenca cerrada en condiciones de alta reducción.

2.2.10. Formación Guadalupe. (Kg).

Presenta sus mejores afloramientos en los alrededores de Itaibe, sur de La Plata y forma parte del Sinclinal de San Andrés y Anticlinal de La Ochoa. Para una mayor comodidad en la descripción se subdividió en cuatro (4) segmentos diferenciables litológicamente en el área:

a.- Segmento inferior o base, se presenta una intercalación de calizas negras duras fosilíferas, chert y delgadas capitas o lentes de roca fosfórica desde 0.03 hasta 0.3 m de espesor. La geometría de la estratificación es plana, paralela continua, fina. El espesor de este segmento es de 23 m.

b.- Segmentos constituidos por lutitas calcáreas grises, intercaladas y alternadas con calizas negras delgadas, la estratificación es plana paralela a subparalela continua, fina. Tanto las calizas como las lutitas son fosilíferas regularmente. El espesor de este segmento es de 36.3 m.

c.- En éste segmento se observó una intercalación de calizas negras, duras chert y roca fosfórica en capas de 0.03 a 0.1 m de espesor. La estratificación es plana, paralela continua. Las calizas son algo arenosas con

algunas concreciones calcáreas, lenticulares. El espesor de éste segmento es de 10 m.

d.- Es un segmento caracterizado por lutitas calcáreas fisibles con laminación plana paralela discontinua, en capas gruesa a muy gruesa, intercaladas con calizas negras, en capas delgadas a gruesas. Tiene un espesor calculado de 34 m.

e.- El techo de la formación está constituido por areniscas cuarzosas de color blanco, grano medio, subangulares, mal calibrado porosas con cemento ferroso. El espesor de esta capa dura es de 2 m.

El espesor total de la Formación Guadalupe es de 105 m y su límite inferior con la Formación Villeta es concordante transicional.

2.2.11. Formación Guaduas. (TKg).

Consiste en una espesa sucesión de arcillolitas con intercalaciones de areniscas, observables, al suroeste de la población de Itaibe donde puede dividirse muy claramente tanto desde el punto de vista litológico como morfológico, en dos (2) unidades.

En el Sinclinal de Tesalia esta división es más dificultosa, primero por la presencia de coberturas volcánicas piroclásticas o por espesos suelos residuales, y las areniscas no presentan marcado aspecto morfológico con respecto a las arcillas.

a.- Guaduas Inferior: está caracterizado por una intercalación de arcillolitas puras a limosas, con predominio de coloraciones rojizas a moteadas, de alta plasticidad, alteradas facilmente a suelos arcillosos rojizos, el espesor de las capas varia entre 1.5 y 3.5 m tomando comunmente una morfología suavemente ondulada.

b.- Guaduas Superior: esta unidad es una monótona secuencia de arcillolitas puras a limosas y capas de areniscas que producen una morfología típicamente escalonada. Las arcillolitas son muy similares a las de la unidad inferior, en capas gruesas a muy gruesas. Las areniscas son cuarzosas, de coloraciones grises a gris azulado, de grano medio, subredondeada, mal calibradas, compuesta por Chert negro y cuarzo translúcido; hacia la base de esta unidad se presentan conglomerados finos, con quijos de Chert y estratificación cruzada en capas muy gruesas. Su espesor estimado varía entre 550 a 600 m. Su relación de contacto con la Formación Guadalupe es concordante transicional, mientras su contacto superior con la Formación Gualanday es de tipo discordante; depositado en un ambiente transicional marino hasta fluvio-lacustre.

2.2.12. Formación Gualanday. (Tg).

Su mejor sección se presenta en el Sinclinal de Tesalia, (foto 23) y como remanentes en los bordes del Valle de La Plata.

a.- Gualanday Inferior: caracterizado por conglomerados con matriz arenolimoarcillosa, de coloraciones predominantes rojizas y amarillos, las gravas son subredondeadas en su mayoría constituidas por Chert negro y cuarzo.

El espesor es de 56 m medidos en el flanco Este del Sinclinal de Tesalia.

b.- Gualanday Medio: consta de una intercalación de arcillas grises, amarillas y rojas con lentes y capas de areniscas grises. Las areniscas son cuarzosas de grano medio a grueso, granos subredondeados, mal calibrados compuestos por Chert negro, cuarzo translúcido, Chert tan, en matriz arcillosa amarillenta. El espesor de esta unidad es de 200 m aproximadamente.

c.- Gualanday Superior: constituye la unidad más reciente del grupo Gualanday y por lo general presenta fuertes escarpas en el área del Sinclinal

de Tesalia. Está compuesta esencialmente por conglomerados continuos entre 2 y 7 cm de diámetro de chert negro, cuarzo lechoso y chert tan, subredondeados en matriz limoarenosa de grano medio a grueso, granos subredondeados, mal calibrados de chert negro, cuarzo translúcido, chert tan, y arcilla blanca. El espesor de esta unidad es de 125 m.

2.2.13. Formación Honda. (Th).

Consta de una intercalación de arcillolitas, areniscas y conglomerados; - las arcillolitas se descomponen facilmente en arcillas grises y rojizas, - bastante plásticas; las areniscas se presentan en capas de 0.5 a 1.5 m de espesor, de coloraciones pardas a grises, grano grueso a medio, los conglomerados presentan guijos y gravas de cuarzo lechoso y chert embebidos en matriz limoarenosa.

2.2.14. Formación Popayán. (TQpy).

Esta formación aflora toda en la parte sur del área entre los ríos Loro y Aguacatal, es estrictamente de origen volcánico efusivo.

Como consecuencia de sucesivos fenómenos de fracturación y resquebrajamiento provocado por la salida de gases durante el flujo de las riadas lávicas la parte superior de ellas toman un aspecto escoriáceo con estructura brechosa y diferentes grados de porosidad, que dan como resultado una serie de montículos de formas redondeadas y alargadas con alturas que oscilan entre 10 y 20 m y en algunas partes hoyos de percolación con aspectos de dolinas y taludes fuertes cubiertos por bloques angulosos y fragmentos de lavas (carretera a la población de Belén). Todo este tipo de relieve es característico de mantos y coladas de tipo dacitas que se conserva sin mucha erosión superficial, pues debido a su alta porosidad y permeabilidad las aguas lluvias se percolan a los substractos inferiores sin producir variaciones importantes en la superficie del terreno.

La secuencia típica descendente de éste tipo de mantos lávicos es la siguiente: la parte superior cubierta por cenizas volcánicas que se alteran fácilmente a arcillas muy sensibles; después, bloques sueltos englobados en material arcilloso provenientes de la parte superior o de la misma alteración de los bloques, y más abajo, las lavas que se hacen más homogéneas y sus flujos más continuos y definidos.

También se presentan gruesas capas de aglomerados que llenan valles de quebradas o zonas de paleorelieve bajo; no obstante, se observan cubriendo las partes altas del Macizo de La Plata; por lo general son una mezcla de materiales volcánicos retrabajados, típicos de avalanches y flujos de lodo que constituyen depósitos de hasta 80 m de espesor (río Aguacatal, sitio La Esperanza y quebrada El Salado), que consisten en cantos redondeados a subredondeados con buena selección de hasta 0.4 m de diámetro embebidos en matriz con buena cementación y compactación, con taludes generalmente de alto ángulo a verticales. (Foto 24).

Cuando los mantos lávicos llevan en su interior un gran contenido de volátiles y gases, estos levantan la costra dura enfriada en superficie, desarrollando una protuberancia en forma de cono acampanado con crater, por donde son expulsados los gases, y fluyen algunas lavas todavía calientes, éste tipo de estructura se observan al sur del área de las cercanías de la población de Belén, margen derecha del río Loro y en la vereda el Pensil. (El Morro).

La secuencia presenta un máximo espesor estimado, calculado en la quebrada El Salado de 450 m.

La edad de La Formación Popayán se ha considerado plio-pleistoceno (hubach et. al 1.957).

2.2.15. Piroclastos del Páez. (Op).

Los depósitos de materiales de éste tipo, se acumulan como producto de las erupciones volcánicas de tipo explosivo, que al ser arrojados a gran presión se mezclan con el material magmático pulverizado y en partes sólido, simultáneamente con fragmentos y bloques de rocas resistentes principalmente volcánicas e intrusivas; estos depósitos están compuestos especialmente por cenizas escorias, lapillis, bombas y arenas de variados tamaños y fragmentos de rocas englobadas y cementadas con material tobaceo. Tienen una gran dispersión en el área, generalmente cubriendo los valles de los ríos Páez y Negro, depositándose sobre paleografía de aluviones y terrazas antiguas, formando zonas aterrizadas en estos valles, con espesores que alcanzan hasta los 100 m afectados por fallas activas. Al precipitarse todos estos materiales sobre una superficie irregular, se forma una costra de material piroclástico de igual espesor, sin una estratificación definida, sino como una mezcla caótica de diferentes materiales; comúnmente, presentan cohesión alta dando taludes cercanos a la vertical y algunas veces afectando su estabilidad con fracturas de tensión en una dirección N 30° - 50° W con inclinaciones de vertical hasta de 70° al noreste y espaciamientos desde 0.6 hasta 6.0 m.

Estos depósitos están constituidos por clastos hasta de 1.20 m de rocas graníticas, riolíticas, andesíticas y basaltos embebidos en una matriz de escorias y polvo volcánico de coloraciones grises, cremas, pardas, a veces con manchas amarillas. También se observan zonas con alguna selección clástica tanto acuosa como gravitacional. Los materiales menos densos depositados como cenizas, escorias lapillis, cubren zonas de relieve más abrupto dando formas alargadas agudas y columnales. Estos depósitos oscurecen la tectónica del área de Guadalejo, Inzá y San San Andrés (foto 25), y fosilizan terrazas antiguas del área. (Foto 26).

La edad de estos sedimentos se ha considerado pleistoceno a reciente.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

2.2.16. Depósitos Recientes.

a.- Terrazas del Valle de La Plata y Llanos de Tesalia: al someterse to to el material piroclástico a erosión, retrabajamiento y depositación, ori ginado por derrumbes piroclásticos, junto con el material que venía en for ma de avalancha con grandes contenidos de agua, rellenan áreas amplias de baja pendiente, con selección de tipo gradacional, formando capas, algunas veces bien definidas de cantos y arenas y otras mezclas algo caóticas por avalanchas espontáneas. Todo éste fenómeno de tratamiento mecánico de las rocas piroclásticas y de los materiales provenientes de las paredes de los valles pre-existentes han dado como resultado, tanto como por su composi - ción como por el proceso de acumulación, una gruesa depositación de formas aterrazadas, que en realidad no representan en si, los materiales piroclás ticos de origen, sino que se pueden considerar ya como depósitos de tipo - tobaceos - sedimentarios.

En la zona de Tesalia han sido más retrabajados y la sección gradacional - ha sido aún más desarrollada, presentandose capas bien definidas con mayor continuidad.

Estos depósitos de forma aterrazada, fueron cortados por el río Páez y se formó un cauce angosto, tipo cañon con paredes verticales de gran cohesión, con alturas superiores a los 50m y desarrollo de zonas meándricas.

En general estos depósitos consisten en una intercalación de conglomerados, capas y lentes de arenas. Los conglomerados son más potentes y varían desde 5.0 m hasta 10.0 m de espesor; las capas arenosas tienen espesores de 1.0 a 2.5 m. Los conglomerados tienen cantos subredondeados a redondeados, especialmente de rocas volcánicas y rocas intrusivas de tipo granítico, el cuarzo lechoso es escaso. El tamaño general de los cantos y gravas varía desde 0.3 hasta 0.6 m de diámetro, embebidos en una matriz areno-tobacea a la entrada del valle de La Plata, las capas son poco diferenciables y se presentan como un depósito de mezcla de fragmentos rocosos, generalmente -

angulosos. Estos depósitos conforman casi la totalidad del área de embalse del Proyecto Paicol.

b.- Abanicos Aluviales (Qab): estos depósitos se encuentran principalmente en el Valle del río La Plata. (foto 27).

Dependiendo de su composición se pueden dividir en dos (2) tipos: los de la margen derecha y los de la margen izquierda.

Los de la margen derecha están constituidos por fragmentos de tamaño entre los 3 y 70 cm subangulares y angulares, de rocas ígneas volcánicas pertenecientes a la Formación Saldaña de colores grises oscuros, cohesivos, embebidos en una matriz limo-arenosa de color amarillo naranja.

Los de la margen izquierda están constituidos por fragmentos entre los 3 - 100 cm, de granitos biotíticos, redondeados por meteorización esferoidal, presenta además gravas subredondeadas a subangulares que conforman la fracción más delgada entre 3 - 30 cm, de composición diabásica, granítica, neisica, embebidas todas en una matriz limo-arenoarcillosa de color amarillo claro a amarillo quemado.

Estos abanicos aluviales presentan una amplitud hasta de 2 Km y pendientes topográficas menores o iguales a 15°.

c.- Coluviones (Qcb): Son los depósitos observables en las laderas, como mezcla de material desprendido de roca original meteorizada y con material piroclástico depositado y embebido en una matriz sucia con cantos de tamaño hasta de 0.50 m de diámetro mayor. Se encuentra indiscriminadamente en las márgenes de los ríos Páez y La Plata.

d.- Aluviones (Qal): son los depósitos aterrizados de extensión limitada por los cauces actuales de los drenajes, tipo llanura de inundación con -

una granulometría muy heterogénea desde gran tamaño, dos (2) m de diámetro mayor a tamaños grava embebidos en una matriz gravo-arenosa limpia en algunos sectores se observa escalonamiento ocasionado por avenidas mayores del río.

3.-

GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Debido a los diferentes eventos de la cordillera misma, representados por los fenómenos de subsidencia, plutonismo, vulcanismo, plegamiento y levantamiento, se formaron grandes fracturas y estructuras en el área; que consiste en general, en una zona al oeste levantada y fracturada en los bordes de los cuerpos intrusivos, por fallamiento de tipo regional inverso de gran longitud y desplazamiento; son fallas antiguas, verticales o con muy poca inclinación, acompañadas siempre por rocas volcánicas de composición ácida hasta básica, que durante diferentes épocas han sido afectadas por reactivación tectónica, denominadas en su orden de Oeste a Este; Falla Tóez, Falla Macama y Falla La Plata y otras de alguna importancia como la satélite denominada Frayles, que es una falla activa que ha ocasionado un pequeño plegamiento en una terraza del río Páez y varias zonas desestabilizadas a lo largo de las márgenes de las quebradas Honda y Cedro. La Falla de La Plata se considera como límite estructural y fisiográfico entre la cordillera y el Valle del Magdalena propiamente dicho. Las fallas identificadas más significantes para los proyectos son las de Macama y La Plata.

La zona este es una zona deprimida, bastante plegada que corresponde a la parte transicional sedimentaria del Valle del río Magdalena o fosa tectónica del Alto Magdalena. En el pie de monte de la cordillera, los plegamientos son amplios, suaves, simétricos afectados por fallas de cabalgamiento de fuerte ángulo que algunas veces se invierten, como sucede con la falla denominada Magdalena. Las estructuras más importantes que se presentan en esta zona desde el pie de monte hasta el río Magdalena, en su orden son las siguientes: Anticlinal de Itaibe, Sinclinal de El Cairo, (Itaibe) Gra^uven de La Plata, Anticlinal de Minas o Matanzas, Sinclinal de San Andrés, Falla de Guamito, Anticlinal de La Venta, Sinclinal de Tesalia, Anticlinal de Motilones, Anticlinal de La Ocha, Falla Pital y Falla de Magdalena. Figura 1.

Todos los plegamientos anticlinales en el área del Valle del Magdalena, so

bre todo en la márgen izquierda presentan en sus zonas axiales rocas volcánicas ignimbríticas pertenecientes a la Formación Saldaña.

En general el fallamiento regional tiene una dirección noreste, que a lo largo de su historia regularmente ha cambiado con cada orogenia, tanto en su movimiento como en su dirección y así observamos, como fallas anteriormente inversas por génesis, son actualmente fallas de rumbo. La cordillera Central en su evolución ha soportado cuatro (4) grandes orogénias; la primera entre el silúrico y triásico inferior, la segunda entre triásico superior y jurásico medio, la tercera entre el oligoceno y mioceno y la última entre el plioceno-pleistoceno.

Todo este plegamiento, desde moderado hasta intenso en combinación con el fallamiento inverso en los límites de las cordilleras, en éste caso entre el Macizo de La Plata y el Macizo de Garzón, comprende una deformación originada por empujes ascendentes de ambos cuerpos, debido a esfuerzos compresionales relativamente suaves de la corteza. Se puede observar que los empujes más sobresalientes provienen del Macizo de Garzón ya que toda la márgen derecha del Valle del río Magdalena, presenta replegamientos estrechos, fallamientos complejos y cabalgamientos más intensos, no así la márgen izquierda (Tesalia, Paicol La Plata) donde las estructuras son amplias, y suaves muy bien definidas (Anticlinal de La Ocha, Sinclinal de Tesalia, Anticlinal de Minas y Graven de La Plata).

A continuación, según la secuencia de la localización de Oeste a Este se describen detalladamente los diferentes tipos de estructuras regionales que afectan la cuenca del río Páez y que pueden tener alguna incidencia sobre la estabilidad del área y los proyectos en ella seleccionados.

3.1. FALLA DE TOEZ.

Es una fractura evidente por la terminación abrupta de un cuerpo igneo, de nominado Plutón de Cohetandillo, contra las lavas riolíticas del cono volcánico correspondiente al Nevado del Huila, presenta una perfecta alineación entre éste volcán y el volcán del puracé, que hace pensar en una reactivación durante el plioceno-pleistoceno, que produjo las actividades volcánicas durante esta época (1.5 a 2.5 millones de años). Es una falla genéticamente inversa convertida actualmente a falla de rumbo, con movimiento siniestro lateral que desplaza la cordillera a modo de cizalla.

La última actividad volcánica del Puracé en 1.948 pudo ser producida por el movimiento de esta debilidad tectónica. Su dirección principal es N 40 E y una longitud hasta donde se puede evidenciar de 120 Km.

3.2. FALLA DE TALAGA.

Falla vertical y siniestro-lateral que forma parte del sistema Tóez - Cohetandillo; pone en contacto dos (2) cuerpos igneos de diferente edad y composición, se presenta como satélite de la Falla de Tóez, tiene una dirección predominante N 35 E, pero después cambia hacia N 10 W por efecto de la Falla de Cohetandillo que la desplaza hacia el Este. Sobre las márgenes del río Moras se observan serias inestabilidades que concuerdan con su trazado, que ha de suponer movimientos recientes. Tiene una longitud aproximada de 30 Km.

3.3. FALLA COHETANDILLO.

Fractura el cuerpo igneo de Cohetandillo es una falla de rumbo noreste con movimiento siniestro lateral que desplaza la Falla de Tálaga, no se observaron rasgos evidentes de movimientos recientes. Tiene una dirección predominante de N 65 E y una longitud de 22 Km.

3.4. FALLA AVIRAMA.

Falla regional de tipo normal, de poco salto; la zona de brecha es angosta, de unos 50 m de anchura. En la Vereda La Muralla, margen derecha alta del río Páez, se observa desplazamiento de rocas sedimentarias de 3 a 4 m. Tiene una dirección N 40 E y una longitud de 32 Km aproximadamente. No se presenta evidencia de movimiento reciente.

3.5. FRACTURA DE BELALCAZAR.

Se observa un gran lineamiento normal con rocas bastante fracturadas en la parte alta de la margen derecha del río Páez, cerca a la confluencia de la quebrada Coquiyú. Es una fractura de un corredor de 20 - 30 m de roca fracturada, cortada por diques pegmatíticos y rellenos de venas de cuarzo-hidrotermal. Tiene una dirección N 50 E y una longitud de 10 Km.

3.6. FALLA GRILLO.

Constituye el límite occidental de la fosa o depresión de Guadalejo. Parece ser una Falla de tipo normal, con reactivación posterior a lateral aunque no se observa muy claramente, ya que en su mayor parte se encuentra cubierta por depósitos volcánicos recientes que disfrazan su trazado. Sin embargo, desplaza la Falla Moras en sentido que indica un movimiento posterior de rumbo. Figura 1.

Corta los sedimentos de la Formación Guámbico y los deja supeditados exclusivamente a la fosa. No presenta rasgos de evidencia de movimiento actual, los depósitos volcánicos no muestran un movimiento significativo reciente. Tiene una dirección N 35 E y una longitud de 43 Km. Se une más al norte con la Falla Macama.

3.7. FALLA MORAS.

Es una falla transversal a todo el sistema de fallamiento regional que corta todas las fallas de la parte alta de la cuenca del río Páez; de tipo inverso con inclinación del plano hacia el Oeste, que coloca el complejo metamórfico encima de las capas sedimentarias más jóvenes. Es una falla antigua que proviene de la génesis misma de la cordillera. Cerca a la población de Inzá pone en contacto las rocas metamórficas del Complejo de Macama con las rocas de la Formación Coquiú; es una zona totalmente desestabilizada, lo que hace preveer movimientos recientes. En la zona Sur tiene una dirección N 30 E, pero en las cercanías de Inzá, después del desplazamiento ocasionado por la Falla Grillo tiene una dirección N 35 W, y cam --biando a rumbo N 10 W cuando corta la Falla Tóez. Figura 1.

3.8. FALLA MACAMA.

Es una falla importante en el área, está relacionada con la génesis de la cordillera y limita las rocas precámbricas, con otras de edades más recientes. El sitio donde se identificó es una falla múltiple, se contaron hasta cuatro (4) trazos; en esta misma parte pone en contacto las rocas precámbricas del Macizo de La Plata con el complejo metamórfico de Macama.- (foto 28). Es una falla de trazo vertical que metamorfizó dinámicamente este complejo. Sirvió de fondo para los derrames volcánicos básicos durante el triásico superior que cubre parcialmente las rocas metamórficas. Es posible que esté relacionada al batolito de Belalcázar, parte integrante para este informe del Macizo de La Plata. Presenta evidencia de movimiento reciente en las terrazas piroclásticas volcánicas presentes en la zona. Tiene una dirección predominante entre N 15 E con una longitud mayor de 150 Km. Este sistema de fallamiento afecta la alternativa del túnel del proyecto Macama.

3.9. FALLA FRAYLE.

Falla regional de trazo mayor de 20 Km, sigue los cauces de las quebradas (foto 29) Honda y Cedro continuando por la quebrada Cuevas hacia el SW y uniéndose a la Falla de La Plata al NE; falla vertical activa en tijera, afecta rocas del Macizo de La Plata y remanentes de las metamorfitas del Complejo de Macama, se observa una fuerte milonitización y brechaficación de las rocas, con un corredor de 140 a 160 m. Disloca y pliega una pequeña terraza del río Páez cerca al sitio denominado Frayle. Esta falla es cruzada por la alternativa de túnel del proyecto Macama.

3.10. FALLA DE LA PLATA.

Es una falla regional activa, de gran profundidad relacionada con los movimientos orogénicos; ha tenido durante su historia geológica varias reactivaciones con cambios en la dirección de movimiento. Es el límite estructural y topográfico con respecto al valle del Alto Magdalena y marca el límite occidental del Valle de La Plata. (foto 5). Hacia el norte es conocida con los nombres de Nátaga, Iquira, Teruel y Natagaima. Sus características fueron estudiadas desde la quebrada El Salado, al sur de la población de La Plata hasta las cercanías de la localidad de Iquira, al norte. Corresponde a una falla inversa, con plano inclinado hacia el Oeste entre 45 a 60°; pone en contacto las rocas precámbricas del Macizo de La Plata (cuerpo igneo-migmatítico), con rocas sedimentarias que van desde triásico hasta terciario superior. Su trazado general es bastante irregular y ha sido causante de la formación de extensos abanicos aluviales que cubren la margen izquierda del río La Plata.

Estos depósitos han sido afectados por movimientos recientes, representados por ondulaciones y cambios de pendientes, sobre todo, en el depósito que tuvo origen a partir de la quebrada Monte Oscuro, entre las veredas El Salado y Chilicambe. Figura 1. En la quebrada La Chorrera se observaron hasta seis (6) trazas de fallas, con inclinaciones entre 45 y 50° hacia el

Oeste. El gran abanico aluvial de La Plata que tuvo su origen en las quebradas de el Carmelo, Barbillas y La Zapatera, presenta reptaciones fuertes que se aprecian claramente por la inclinación de los árboles, fenómeno que afecta la margen derecha de la quebrada Zapatera, figura 5. En la región de Itaibe se observan varias dislocaciones del abanico aluvial y deslizamientos de alguna magnitud en los taludes del macizo. En el abanico de Pacarní, más al norte se presentan reptaciones y cambios bruscos de pendiente.

Toda esta evidencia geomorfológica, de dislocaciones, cambios de pendiente, reptaciones, deslizamientos, lineamientos y cambios bruscos en el talud de la falla, determinan un carácter activo de la misma que puede causar movimientos de alguna magnitud.

Esta fractura sirvió de foco durante el triásico superior para el escape de grandes cantidades de materiales volcánicos que constituyen la formación Saldaña. Entre los caseríos de El Pensil y Belén, al sur de La Plata se presenta el volcancito del Morro, perfectamente alineado con esta estructura.

Se puede considerar como una falla de rumbo, con movimiento siniestro lateral, hacia el norte, observable en el mapa regional, figura 1 en la terminación del Sinclinal de Tesalia (Iquirá), se nota el cambio de dirección - por empuje de la falla.

Desde la quebrada El Salado hasta las cercanías de Itaibe el trazo de falla, tiene una dirección N 20 E, luego, hasta la población de Iquirá sigue con N 45 E; para continuar hacia el norte como límite del Valle del Magdalena con una orientación N 10 E, su longitud es mayor a los 150 Km.

3.11. FALLA DE LA AZUFRADA.

Es una falla satélite al sistema de Falla de La Plata, tiene su orientación en la Vereda El Salado y termina al norte en los alrededores de Itaibe y Nátaga, figura 5. Es una falla compuesta por varios trazos que se unen por tramos; afecta más que todo la roca sedimentaria del cretáceo, produciendo inversiones y replegamientos de sus capas, especialmente entre las veredas El Tablon y Bajo Retiro. Figura 11.

Es una falla inversa, con inclinaciones hacia el Oeste entre 20° y 30° . - Marca el límite estructural y topográfico oriental del Valle de La Plata.- Cerca al balneario El Cacique a 6 Km al norte de La Plata, por la carretera que conduce a Paicol, se puede observar claramente su traza en una zona de milonitización; en esa parte, se presenta un basculación del bloque levantado, con cambio en la dirección de inclinación hacia el Este.

En los alrededores de la Vereda San Martín se observan deslizamientos que afectan la Formación Saldaña y los abanicos aluviales de margen derecha del río La Plata.

Las rocas de la Formación Guadalupe, se encuentran fracturadas y disgregadas por efectos de la falla a lo largo de la margen izquierda del valle. En la parte norte de la región de Itaibe esta falla se ramifica y distorsiona fuertemente las rocas cretácicas. Esta estructura se puede considerar como una falla de mediana actividad. Tiene una longitud aproximada de 30 - Km.

3.12. GRAVEN DE LA PLATA.

Esta estructura comprende todo el Graven de La Plata, limitado al Oeste por el Macizo de La Plata por efectos de la falla del mismo nombre; al Este con la Serranía de Minas por intermedio de la Falla La Azufrada; la parte central o hundida corresponde a la zona plana del valle donde está loca

lizado el embalse del Proyecto Paicol. Figura 5.

La zona levantada al Oeste, está constituida por rocas igneas-migmatíticas pertenecientes al Macizo precámbrico de La Plata; la zona levantada al Este, consta de rocas sedimentarias de las Formaciones Villeta y Guadalupe. La parte hundida fué rellenada totalmente por materiales piroclásticos re trabajados, formando especies de depósitos aterrazados tobaceos- sedimentarios y al Noreste afloran sedimentos del terciario representadas por las formaciones Guaduas y Gualanday.

3.13. FALLA DE LA CHORRERA.

Es una falla transversal al sistema general del fallamiento del área, que controla el cauce de la quebrada La Chorrera, con una dirección N 25° W. Está localizada al sur de la población de La Plata y tiene una longitud de 10 Km. Desplaza las fallas de La Plata y La Azufrada, afectando las rocas migmatíticas del Macizo de La Plata y las tobas vitreo cristalinas de la Formación Saldaña.

Presenta un plano de falla vertical, donde el bloque norte ascendió con relación al bloque sur. Se observan dislocaciones y reptaciones en un depósito de abanico aluvial; rasgos morfológicos que indican una evidencia de actividad actual, (foto 30), Figura 11.

3.14. ANTICLINAL DE ITAIBE Y SINCLINAL DE EL CAIRO.

Son dos (2) pequeñas estructuras simétricas que pliegan las capas de las formaciones Villeta y Guadalupe, se encuentran localizadas en la zona norte del Graven de La Plata, en la vecindad del caserío de Itaibe, originadas por los esfuerzos compresionales del Macizo de La Plata contra la gran estructura anticlinal de Minas. Son de muy poca importancia regional con longitudes no mayores de 2 Km a lo largo de sus ejes.

3.15. ANTICLINAL DE MINAS.

Es una estructura regional amplia, con inclinaciones suaves, con buzamiento de capas que varían entre 25 y 15°, constituyen la Serranía de Minas, que se conoce con éste nombre desde la localidad de La Argentina al sur, hasta una región entre Nátaga y Pacarní al norte, donde termina abruptamente por acción de La Falla de La Plata. Figura 1. Es una estructura asimétrica que afecta rocas volcánicas de la Formación Saldaña y sedimentarias de las Formaciones Caballos, Villeta y Guadalupe. El flanco Oeste, en la región al sur de La Plata está distorsionado y dislocado por acción de la Falla de La Azufrada y el flanco Este, en la región norte cerca a Tesalia por efectos de la Falla de Guamito. La región de Nátaga al norte, presenta inclinación uniforme hacia el Oeste con pendientes que varían entre 15 a 20° - con superficies estructurales y buzamiento en general uniforme que ocupa una vasta extensión se le denominó como Homoclinal de Nátaga. Al Sur, las rocas cretácicas han sido erodadas y únicamente afloran las rocas de la Formación Saldaña. Tiene una longitud aproximada de 50 Km a lo largo del eje de la estructura. En la zona donde el río Páez corta esta estructura se planeó la ubicación del sitio de presa para el Proyecto Paicol, dentro de las rocas volcánicas riolíticas de la Formación Saldaña.

3.16. SINCLINAL DE SAN ANDRES.

Es un plegamiento simétrico, suave localizado entre los Anticlinales de Minas y La Venta, afecta los sedimentos cretácicos de las Formaciones Caballos, Villeta y Guadalupe. Sus extremos han sido cortados por fenómenos de fallamiento, al norte, por la Falla de Guamito y al sur por la Falla de Pital, tiene una longitud a lo largo de su eje de 20 Km aproximadamente. Figura 1.

3.17. ANTICLINAL DE LA VENTA.

Es una estructura asimétrica donde el flanco Oeste presenta inclinaciones-

de las capas hasta de 70° y el flanco Este inclinaciones entre 20 y 30°; pliegan las formaciones, Saldaña (que afloran en su eje), Caballos y Villeta. Presenta una longitud aproximada de 15 Km aproximadamente.

3.18. FALLA GUAMITO.

Es una falla inversa en el sitio; frente a la población de Paicol, (foto - 31), de compartamiento irregular, pues, al norte se observa como una típica falla normal de escurrimiento y termina en una pequeña falla transversal en tijera. Tiene una inclinación en las Lomas de Matanzas en entre el eje Anticlinal de Minas y el eje Sinclinal de San Andrés. Es una estructura recientemente originada por empuje de la Falla de La Plata que desplazó hacia el Este las capas cretácicas; la curvatura de todos los ejes de las estructuras presentes, así lo confirman, figura 1. A tres (3) Km de su iniciación presenta un gran salto, que pone en contacto la parte superior de la Formación Guadalupe con la Formación Saldaña con un desplazamiento de casi 600 m y 5 Km más al norte no alcanza a llegar este desplazamiento a los 100 m. Este comportamiento tan irregular se podría explicar por efectos compresionales provenientes de la región de Nátaga; sin embargo, las capas sedimentarias de ese flanco no presentan distorsión significativa. Todas estas evidencias hacen suponer una falla compuesta, originada por dos (2) movimientos diferentes, al sur, inversa por acción compresional y al norte normal por la acción distensional. Esta estructura ha dislocado con saltos hasta de 30 m el gran abanico aluvial de Tesalia, lo cual, demuestra su actividad reciente. Su longitud es de 18 Km con una dirección predominante N 30 E.

Las alternativas de alineamiento de túnel del Proyecto Paicol cruzan por esta zona de fallamiento.

3.19. SINCLINAL DE TESALIA.

Consiste en una estructura asimétrica con una dirección predominante N 10-E, con cabeceo hacia sus extremos, (foto 23). Al norte afecta principalmente rocas terciarias de las Formaciones Guaduas, Gualanday y Honda. En las cercanías de Iquira sufre estrechamiento y desplazamiento en su parte terminal debido a esfuerzos concrecionales del Macizo de La Plata. La Formación Gualanday conforma una estructura de tipo artesa. En la zona sur se observa un pequeño plegamiento como iniciación del Anticlinal de Motilones. En la margen derecha del río Páez cuenca de la quebrada Motilones riegan las rocas pertenecientes a las Formaciones Saldaña, Caballos, Villeta y Guadalupe. Tiene una longitud a lo largo de su eje de 30 Km. Esta estructura es cruzada por los alineamientos de los túneles del Proyecto Paicol.

3.20. ANTICLINAL DE MOTILONES.

Es una estructura con direcciones N 50 E y N 20 E, que afecta rocas desde el terciario superior hasta el triásico que corresponden a las Formaciones Saldaña, Caballos, Villeta, Guadalupe, Guaduas y Gualanday. Las formaciones cretácicas y terciarias están totalmente erodadas en el flanco Este de región sur, donde es intensamente fracturado por acción de la Falla Pital.

3.21. ANTICLINAL DE LA OCHA.

Es una estructura regional asimétrica de dirección preferente Norte - Sur, con más de 50 Km de longitud, que presenta cabeceo hacia sus extremos y afecta las rocas triásicas de la Formación Saldaña y cretácicas de las Formaciones Caballos, Villeta y Guadalupe. El flanco occidental es normal con buzamientos regionales que varían entre 20 y 60° de inclinación y constituye a su vez el flanco Este del Sinclinal de Tesalia; el flanco oriental está limitado por la Falla Magdalena. Esta estructura anticlinal tiene su terminación en la margen izquierda del río Páez donde es cortada por

la falla inversa de Pital, figura 4. En su zona axial afloran las rocas volcánicas de la Formación Saldaña.

Es importante anotar que la Formación Caballos no se presenta en su extremo sur, sin que haya evidencia de algún fenómeno tectónico, es posible que se deba a acuñamientos por efectos de la acción del plegamiento y esta no aflora en superficie. Está estructura es cruzada por las alternativas del proyecto Paicol.

3.22. FALLA MAGDALENA.

Denominada más al norte como Falla Betania. Es un fallamiento doble, figura 4 de tipo inversa con buzamiento de 50° hacia el Este producida por efectos compresionales provenientes del Macizo de Garzón. Afecta el flanco Oeste del Anticlinal de La Ocha, repite las capas correspondientes al miembro inferior de la Formación Gualanday acuñando parte de la Formación Villeta. Es una estructura satélite de la Falla Pital. Las alternativas de túnel del Proyecto Paicol cruzan éste sistema de fallamiento.

3.23. FALLA PITAL.

Es una falla inversa con buzamientos entre 30 y 40° hacia el Oeste. Tiene su origen a partir del gran sistema de Fallamiento de La Plata, al sur de la población de La Argentina, figura 1. Es una falla de gran salto con desplazamiento entre 1000 y 1700 m, pone en contacto el terciario superior con rocas de la Formación Saldaña. En el área de Pital está desplazada por varias fallas transversales y en el área de angosturas corta la terminación de Anticlinal de la Ocha, lo mismo que las capas de los sedimentos terciarios. Esta estructura tiene una longitud mayor de los 70 Km.

4.- EVOLUCION GEOLOGICA.

El área donde se encuentran localizados los proyectos, comprende el flanco Este de la cordillera Central y la zona de transición con el Valle Alto del Magdalena (márgen izquierda); por consiguiente, su historia geológica es algo compleja, similar a la ocurrida a lo largo de la Gran Cadena Andina y para su explicación es preciso analizar en forma breve la propia génesis de la cordillera misma en relación con el área de interés y comparaciones con áreas cercanas al Norte, como cuenca del río Saldaña, Payandé, Rovira e Ibagué.

Este génesis empezó desde la era paleozoica, a partir de una zona de actividad igneo tectónica (subducción), que se caracterizó por el desarrollo de levantamientos y hundimientos de la corteza terrestre en forma de bloques (precordillera), provenientes de intrusiones antiguas ácidas (graníticas, migmatíticas, granito de Villa Lozada) precámbricas y básicas (gabros) representadas respectivamente por el Macizo de La Plata (plutón de Belalcázar) originándose por estos movimientos orogénicos la formación de grandes fracturas en los bordes de estos cuerpos igneos, que después evolucionaron a fallamientos importantes tales como Romeral, La Plata, Macama y posteriormente se reactivaron siendo focos de actividades volcánicas de tipo fisural.

A principio de la era mesozoica (triásico inferior) la precordillera antigua emerge por el movimiento orogénico iniciado desde el período silúrico y se constituye la cordillera como zona levantada, dejando al lado sus bordes fracturados, valles fallados; tales como el Magdalena y del Cauca y algunas fosas intercordilleras como la de Guadalejo, acompañados de derrames lavicos básicos que intruyeron los sedimentos de la Formación Macama (parte del grupo Cajamarca). Durante esta orogénesis el Macizo de La Plata se desplazó por presiones laterales con los sedimentos de la Formación Macama, causándole metamorfismo dinámico; los metabasaltos de esta formación conservan englobados fragmentos de areniscas de edades anteriores. Es

tá etapa trascurrió hasta el triásico medio y dió como resultado una fuerte erosión en las zonas levantadas que denudó casi en su totalidad las rocas del paleozoico superior y acumuló sedimentos molásicos en las zonas de primidas, valles, fosas y cuencas locales, que con los movimientos oscilatorios que acompañaron está fase de tectonismo produjo una diferencia de espesores en los sedimentos de la misma edad. Está sedimentación esta representada por los conglomerados de Guámbico (Formación Luisa - Prepayan - dé).

Desde el triásico medio el mar invade la totalidad del área continental y deposita una gruesa serie de sedimentos marinos tales como calizas, lutitas, cherts y algunas areniscas (Formación Coquiú). Se observan remanentes de esta formación en las partes altas del Macizo de La Plata.

Al comienzo del triásico superior se sucede un levantamiento con reactivación del fracturamiento original hasta convertirse en verdaderos fallamientos que ocasionaron el paso de los valles fallados a fosas tectónicas y la cordillera emerge definitivamente, formandose un alto estructural en la parte media central en la zona de Aranzazu. El flanco oriental de la cordillera es afectado por una fuerte perturbación representada por la Falla de La Plata, que se extiende profundamente dentro de la corteza causando una gran actividad volcánica de tipo fisural de carácter ignimbrítico, originando el material volcánico que predomina a lo largo del flanco oriental de la cordillera (Formación Saldaña). Finalizando con la intrusión del granito de Cohetandillo.

En el período cretáceo viene una tranquilidad tectónica con una transgresión marina y se deposita una gruesa acumulación de sedimentos representados por areniscas, calizas, lutitas, comparables con las de la cuenca de Cundinamarca (Formación Caballos, Villeta, Guadalupe).

A partir del terciario se sucede una reactivación tectónica que ocasionó una regresión marina con acumulación de espesos depósitos sedimentarios de

origen continental, tales como arcillolitas, conglomerados y areniscas, - (Formaciones Guaduas, Gualanday y Honda). Durante el oligoceno-mioceno la Falla de La Plata se reactiva nuevamente y disloca las capas terciarias y cretácicas formandose el Valle de La Plata.

Al final de este período los esfuerzos compresionales pliegan y fallan to dos los sedimentos del Valle Alto del Magdalena.

Los valles de los ríos Páez y La Plata son el reflejo directo de la excava ción rápida de sus cauces como resultados de los últimos levantamientos o rogénicos, que a su vez, fueron rellenos y cubiertos por grandes depósi to tos volcánicos producto de erupciones superficiales del plioceno de rocas basálticas y andesíticas provenientes de los volcanes del Puracé y Sotará, que dieron origen a la Formación Popayán y erupciones del pleistoceno de rocas riolíticas, piroclásticas y cenizas provenientes del volcán del Neva do del Huila que originaron la Formación Páez (Piroclastos del Páez). Es to s volcanes se encuentran localizados en la zona axial de la cordillera a lineados con la gran fractura de Tóez, que se reactivó para dar origen a estos focos volcánicos. El Valle de La Plata y Llanos de Tesalia se cons titu yeron por rellenos de materiales volcánicos retrabajados más que todo provenientes de los piroclastos del Páez durante el pleistoceno superior.

Este sistema de desequilibrio causado por movimientos recientes durante el holoceno, acompañados por el vulcanismo, ocasionaron fuertes períodos de denudación que dieron lugar a grandes acumulaciones de materiales en los valles y laderas representadas en la actualidad por extensos abanicos alu viales, como de deyección y terrazas a lo largo de los ríos Páez y La Pla ta.

5.-

GEOTECNIA.

Este capítulo corresponde a la parte de geología aplicada a las obras de ingeniería.

El área considerada se extiende por las hoyas hidrográficas de los ríos Páez y La Plata y sus confluencias desde los municipios de Páez (Cauca) y Tesalia (Huila).

Se realizaron observaciones geológicas generales a lo largo de los valles de los ríos Páez y La Plata que dieron criterios básicos para la eliminación de los sitios determinados en la etapa de reconocimiento quedando como factibles Paicol, Macama, Piedra Grande y Guinea.

El área de los proyectos cuenta con buenas vías de acceso y caminos de herradura por una topografía abrupta y densamente quebrada con cañones profundos y valles estrechos a medianamente amplios.

En general, cuenta con un alto asentamiento poblacional especialmente hacia la zona Este del proyecto y con los suelos dedicados a pastos naturales y cultivos en mediana escala.

A continuación se describen en forma general las características geológicas de los sitios de Paicol, Guinea, Piedra Grande y Macama determinados técnica y geológicamente factibles.

5.1. PROYECTO PAICOL.

5.1.1. Sitio de Presa.

El sitio planeado para la ubicación del eje de presa, está localizado en la parte media del cañon, que une el Valle de La Plata con los Llanos de Tesalia y Paicol, formado por el río Páez al cortar las rocas duras de la

Serranía de Minas, constituida por la estructura anticlinal del mismo nombre. Está cruzado longitudinalmente por la carretera que de Paicol conduce a La Plata, con distancias que oscilan entre 6 y 15 Km respectivamente a partir de cada una de ellas.

Consiste en una garganta amplia, asimétrica con taludes diferentes en cada margen, la derecha presenta una inclinación de 30° y a la izquierda de 45°; situada exactamente a 1500 m aguas abajo de la desembocadura del río Negro de Narvéez. Figura 3.

El sitio está localizado en el flanco Oeste de la estructura anticlinal de Minas, enteramente constituido por rocas volcánicas duras, pertenecientes a la Formación Saldaña con cobertura sedimentaria cretácica en sus partes altas. (Foto 1).

Se trata de una roca de origen igneo-volcánica de tipo explosivo de coloración violácea con textura vitreofídica y estructuras de flujo, que según análisis petrográficos corresponden a una toba vitreocrystalina de composición riolítica, denominada comunmente ignimbrita; cuando aflora fresca es de una gran dureza, buena compactación, firmeza y consistencia.

Las estructuras de flujo presentes, no permiten una distribución uniforme de las propiedades mecánicas en todas direcciones, se puede calificar como una roca de resistencia media a la compresión simple (1.000 Km/cm²), de consistencia fuerte, de gran dureza, módulo relativo medio y una reacción elástica a los esfuerzos de tensión y deformación.

En el estribo derecho, desde el nivel del río hasta la cota 800, se presentan depósitos cuaternarios constituidos por dos (2) niveles de terrazas - con espesores que varían entre los 10 y 20 m, consisten en bloques, cantos, gravas de diferente origen, especialmente graníticos que alcanzan hasta un (1) m de diámetro, embebidos en matriz areno-limosa. Son muy comunes los lentes de arena gruesa guijosa de coloraciones blancuzcas, tobacecs, de -

hasta 2 m de espesor; los lentes arcillosos son muy escasos.

La zona inmediatamente aguas arriba, margen derecha presenta un depósito - de 60 m de espesor, de origen tobaceo-sedimentario que consta de bloques, cantos y gravas, angulosos hasta subredondeados, provenientes de rocas graníticas y volcánicas, embebidas en matriz de arena tobacea. Los taludes - presenten inclinaciones fuertes, que demuestran una gran compactación y cohesión de los materiales de este depósito.

Descansando sobre el depósito anterior y en parte en las terrazas adyacentes, se encuentra un gran depósito reciente que corresponde a un abanico aluvial constituido principalmente por cantos y gravas, angulosas a subredondeadas provenientes de materiales volcánicos, embebidos en una matriz limo-arenosa de coloraciones rojizas. Este depósito presenta unos 300 m de longitud, una amplitud máxima en la base de 400 m y un espesor aproximadamente de 20 a 25 m; su estabilidad puede considerarse como buena; sin embargo esta siendo afectado por fenómenos de erosión con formación de algunas cárcavas.

La roca del estribo derecho (Rf) Figura 3 es una roca moderadamente fracturada ligeramente descompresionada, con diaclasamiento plano, entre 1 a 2 cm con superficies rugosas a lisas, debido a los efectos de tensión provocados por el alivio de esfuerzos que han producido también una serie de pequeñas grietas poco continuas. Por entre el diaclasamiento y las grietas se ha introducido restos de suelo arcilloso de coloraciones rojizas, provenientes del lavado de las pendientes. El espesor de la capa de remoción según observaciones en sitios adyacentes varia entre 5 y 10 m.

En el estribo izquierdo, no se presenta ningún depósito reciente, de importancia; se observa un pequeño depósito de derrubio formado por grandes bloques sueltos desprendidos del mismo talud; hacia aguas arriba se encuentra un extenso abanico aluvial, de poco espesor que cubre la mayor parte de la

roca, éste depósito no afecta en ninguna forma la estructura general. Las rocas se presentan en general sanas frescas con diaclasamiento moderado; - no obstante, se observan algunas pequeñas franjas con fracturación y agrietamiento fuerte por descomposición de la roca, sobre todo en los alrededores de arroyos y manantiales. Sobre la cota 950, los arroyos controlados por el diaclasamiento N 65 E con buzamiento de 80° hacia el noreste han profundizado su cauce produciendo especies de galerías o pasadizos hasta de 10 m de altura. La capa de remoción en el estribo izquierdo según datos de campo, alcanzará hasta los 5 m de espesor. (foto 33).

En las partes altas de ambos estribos se encuentra roca alterada y meteorizada (Ram), figura 3, que ha perdido sus propiedades mecánicas originales de dureza y consistencia, y desarrollado una cobertura de alteración a suelo residual de aproximadamente un (1) m de espesor. La capa de remoción - podría tener hasta 20 m de espesor.

Los sistemas de diaclasamiento siguientes son las tendencias principales - derivadas de las observaciones colectadas, en el área de las obras; según análisis estadísticos de conteo y proyección esférica que corresponden a los controles de taludes naturales cauce del río y afluentes en ambos márgenes: 1. E-W, 10 S-2. N 30 W, 65 SN-3. N35 E, 40 SE-4. EW, 50 N-5. N65E-NW. Dependiendo del diaclasamiento predominante tenemos, que por ser este de bajo grado (10° a 20°) con inclinación hacia el sur los cortes para la implantación de la presa se verán favorecidos ya que podran soportar taludes, inclusive mayores a los 70°. Regulamente el diaclasamiento está espaciado entre 1 y 2 m, existiendo zonas con espaciamiento más alto hasta de 4 m y ocasionalmente se presentan otros menores de 1 m. Algunos taludes verticales, mayores de 20 m de altura observados en el área, en éste mismo tipo de roca se conservan sin problemas aún en rocas bastante alteradas.

No se observan los indicios de deslizamientos importantes, de masas de ro-

cas, cerca al eje propuesto, que puedan afectar su estabilidad. En rasgos generales, puede considerarse que los estribos presentan una estabilidad a ceptable a nivel de roca sana.

Dévido a la velocidad de flujo, predominante en esta zona, con cambios hacia un nuevo cauce, migrando hacia el noroeste ha dejado dos (2) niveles te rrazas abandonados que representan una profundización del mismo desgaste - de fondo. Por estas condiciones, se espera encontrar depósitos aluviales - de poco espesor que esten relleno el cauce. Se estima un valor aproximado de 5 a 10 m de espesor en los aluviones de fondo.

El diaclasamiento moderado y cerrado a nivel de fundación sin presencia de zonas de fracturación intensa y por las mismas características de la roca, de origen y homogeneidad se espera un bajo parámetro de permeabilidad; sin embargo, las diaclasas E-W con inclinación hacia el sur de 10° pueden pre sentar inconvenientes por filtraciones de alguna magnitud.

La profundidad de fundación dependerá de la cantidad de roca fracturada y alterada, como también del espesor de los depósitos existentes. La presa se fundará totalmente sobre rocas volcánicas duras pertenecientes a la For mación Saldaña que presenta características y propiedades mecánicas buenas para la cimentación.

5.1.2. Vertedero.

Se localizó en el estribo derecho, debido a las excelentes condiciones y características morfológicas del terreno, sin problemas de descarga ya que este queda orientado longitudinalmente con el cauce del río aguas abajo de la presa, donde afloran rocas con buenas condiciones de resistencia.

Se fundará sobre roca sana con similares parámetros que para la presa, la roca alterada presente, será removida por las mismas excavaciones realiza-

das en su construcción. Figura 3.

Los taludes para los cortes, dependiendo del sistema de diaclasamiento predominante en esta zona, E - W con buzamiento de 10° al sur aceptará inclinaciones mayores de 70°.

5.1.3. Desviación.

El sistema de desviación se localizó en el estribo derecho, por las mismas consideraciones del vertedero. Tanto el portal de entrada como el de salida quedarán dentro de las masas de las rocas volcánicas ignimbríticas, sin condiciones especiales para su estabilidad. El sistema incluye en su iniciación un canal por una terraza baja de poco espesor (10 m) y el descapote de un depósito tobáceo sedimentario que presenta buena compactación y cohesión sin ninguna implicación especial.

5.1.4. Embalse.

Comprende en su mayor parte el valle de La Plata, involucrando los cauces de los ríos Páez, La Plata (foto 34) y Negro de Nárvaez hasta las cercanías de la población de Nátaga y la quebrada de Itaibe hasta muy cerca al caserío del mismo nombre. Figura 5.

El valle de La Plata es una extensa zona plana, alargada en dirección Noroeste, localizada entre el piedemonte de la cordillera Central, al Oeste y la serranía denominada Minas, al Este, por donde el río Páez y La Plata han encisado sus cauces dentro de los depósitos tobáceo-sedimentarios y forma un cauce profundo tipo canal de sección rectangular de 50 a 80 m de altura, con paredes verticales y fondo de anchura que varía entre 100 y 500 m. Representa un cauce maduro, donde el río ha divagado y creado meandros amplios, dejando abandonados depósitos bajos, tipo llanura de inundación (vegas), a lado y lado de su curso actual.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

El cauce del río Negro de Nárvaez, corta un relieve más abrupto dejando un valle de sección en "V", angosto, tipo juvenil, controlado estructuralmente por el contacto entre las formaciones Caballos y Villeta y algunos fallamientos menores. Se localiza entre la terminación de la estructura homoclinal de Nátaga y el Sinclinal denominado de El Cairo. Figura 5.

La quebrada de Itaibe, presenta un cauce profundo por entre depósitos tobáceos-sedimentarios con afloramiento de los sedimentos de las Formaciones Villeta y Guadalupe. Se localiza en la terminación de los depósitos tobáceos sedimentarios con las rocas de las formaciones antes citadas.

En general el Valle de La Plata consiste tectónicamente en una estructura de graven, por las Fallas de La Plata y La Azufrada, al Oeste y Este respectivamente, cuya zona hundida fué rellenada durante el plioceno, por grandes cantidades de materiales volcánicos retrabajados, provenientes del volcán del Nevado del Huila; formando depósitos de acumulación horizontal de tipo terraza.

El graven de La Plata tiene una longitud aproximada desde la quebrada El Salado al sur de la población de La Plata, hasta Nátaga, de 30 Km y una anchura máxima de 6.5 Km en la sección de Itaibe. El flanco Oeste está constituido por el Macizo de La Plata, un gran cuerpo granítico-migmatítico de relieve abrupto, y el flanco Este representado por la Serranía de Minas - que es una cordillera de dirección noreste, que tiene su iniciación al sur de La Argentina y llega hasta las cercanías de Iquirá, formadas por las rocas desde el triásico hasta el cretácico superior con las Formaciones Saldaña, Caballos, Villeta y Guadalupe.

Por corresponder la mayor parte del embalse a una sección relativamente plana y extensa, hace que las márgenes presenten pendientes muy suaves sin problemas de deslizamientos, en la parte media alcanza a afectar un extenso abanico aluvial, sin inconvenientes especiales dado que su perfil longi

tudinal tiene inclinaciones muy suaves de 5° y de poco espesor, que a veces, se confunden con los depósitos tobáceos-sedimentarios, sobre los cuales descansa. En general, la estabilidad de las márgenes es buena, sin problemas especiales.

Débito a que la margen derecha corresponde al Oeste del Anticlinal de Minas con inclinación hacia el embalse, es un cierre estructural que evita cualquier fuga eventual hacia otras cuencas aguas abajo.

5.1.5. Casa de Máquinas.

El esquema propuesto incluye una casa de máquinas tipo subterráneo, localizada en la margen izquierda a 2.0 Km del sitio de presa, alejada del eje anticlinal para aprovechar que todos sus componentes se construirán completamente dentro del cuerpo principal de la Formación Saldaña; como también para evitar las fracturas del eje de plegamiento. La decisión geotécnica sobresaliente se refiere más que todo a la posibilidad de construir una bóveda de dimensiones 100 x 35 x 40 m. cuyo factor esencial no es la dureza de la roca, sino su estabilidad y calidad; haciendo una evaluación de las características estructurales observadas en superficie, podemos anotar que esta profundidad de emplazamiento se debe presentar una disminución notoria del grado de diaclasamiento y fracturación, ya que en superficie el mayor número de discontinuidades son provocados por alivios de presión, por pérdida de masas actualmente erosionadas; por consiguiente, en la zona alrededor de la localización de la bóveda únicamente se tendrían las diaclasas genéticamente relacionadas con la tectónica regional y con un mayor espaciamiento entre ellas, que van desde 30 hasta 40 m.

Los sistemas de diaclasas regionales medidas en el área son E-W con buzamiento de 10° a 20° hacia el sur; N 65 E con buzamiento hacia el Noroeste de 70° a 80° ; N 35 W con buzamiento de 40° a 50° hacia el Noreste y E - W con buzamiento de 50° a 70° hacia el Norte, cuya intersección nos lleva a

un estado de equilibrio aceptable, la almenara cortará rocas del mismo tipo, con buenas características de resistencia y estabilidad; la parte superior (últimos 30 m) cruzará rocas descompuestas y algunos depósitos de la dera de poco espesor.

5.1.6. Túneles.

El proyecto contempla en su diseño dos (2) alternativas de alineamientos - de túneles forzados, siendo común el túnel de carga y la casa de máquinas-subterránea a las cotas 600 y 700 m.s.n.m.

La alternativa N° 1 con la casa de máquinas a la cota 600 m.s.n.m. tiene un túnel de fuga de 24.5 Km de longitud, con salida al río Magdalena.

La alternativa N° 2 comprende dos (2) etapas; la primera consta de una casa de máquinas subterránea a 700 m.s.n.m. y túnel de fuga de 11.4 Km de longitud, con salida en las márgenes de la quebrada Potrero Grande, cerca a su confluencia con el río Páez. La segunda etapa tienen un canal de 0.6 Km de longitud, un tanque de compensación, un pozo vertical de 100 m de altura y un túnel de carga de 13.0 Km de longitud, con casa de máquinas superficial sobre la ribera del río Magdalena.

5.1.6.1. Túnel de Carga.

Su alineamiento es común para las dos (2) alternativas. Se localiza a lo largo de la margen izquierda del río Páez, figura 4, dentro de las rocas volcánicas ignimbríticas que corresponden a tobas soldadas vitreo-cristalinas de composición riolítica, con buenas características de dureza, calidad y consistencia, similares a las encontradas para el sitio de presa y obras anexas. El portal de entrada se ubicó en una zona compuesta por rocas con condiciones de moderada fracturación en bloques, que no presentarán problemas especiales de estabilidad. La margen izquierda está contro-

lada especialmente por las diaclasas de muy bajo a muy alto grado, de inclinación como lo son : E-W, 10S, y N65E, 80NW; las cuales, no implican inestabilidad tanto en el techo como en las paredes del túnel. Se requerirá para su construcción la utilización de pernos de anclaje y concreto neumático para controlar pequeños desprendimientos de roca.

5.1.6.2. Túnel de Fuga Alternativa 1.

Debido a que las direcciones de las alternativas de los túneles cruzan por estructuras y rocas comunes; cabe anotar que se encontraron similares características geotécnicas, en los diferentes trazados. Por lo tanto, se presenta en primer lugar el cuadro con el abscisado, correspondiente a cada formación o estructura importante y luego se describen las características geotécnicas correspondientes.

| | | <u>ABCISA</u> | | | | <u>LONG.</u> | <u>FORMACION.</u> | <u>CARACTERISTICAS.</u> | |
|---|----|---------------|-----|---|------|--------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| K | 0 | + | 000 | - | K 3 | + | 300 | 3.3 | Saldaña |
| K | 2 | + | 800 | - | K 2 | + | 900 | 0.1 | Falla Guamito. |
| K | 3 | + | 300 | - | K 3 | + | 400 | 0.1 | Caballos. |
| K | 3 | + | 400 | - | K 6 | + | 050 | 2.65 | Villeta. |
| K | 6 | + | 050 | - | K 6 | + | 200 | 0.15 | Guadalupe. |
| K | 6 | + | 200 | - | K 8 | + | 300 | 2.1 | Guaduas. |
| K | 8 | + | 300 | - | K 8 | + | 500 | 0.2 | Gualanday Inf. |
| K | 8 | + | 500 | - | K 9 | + | 800 | 1.3 | Gualanday Med. |
| K | 9 | + | 800 | - | K 11 | + | 400 | 1.6 | Gualanday Sup. |
| K | 11 | + | 400 | - | K 15 | + | 950 | 4.55 | Gualanday Med. |
| K | 15 | + | 950 | - | K 16 | + | 050 | 0.1 | Gualanday Inf. |
| K | 16 | + | 050 | - | K 17 | + | 600 | 1.55 | Guaduas. |
| K | 17 | + | 600 | - | K 18 | + | 300 | 0.7 | Guadalupe. |
| K | 18 | + | 300 | - | K 19 | + | 400 | 1.1 | Villeta. |
| K | 19 | + | 400 | - | K 19 | + | 400 | 0.1 | Caballos. |
| K | 19 | + | 500 | - | K 22 | + | 300 | 2.8 | Saldaña. |
| K | 22 | + | 300 | - | K 22 | + | 400 | 0.1 | Caballos. |
| K | 22 | + | 400 | - | K 22 | + | 900 | 0.7 | Villeta. |
| K | 22 | + | 900 | - | K 23 | + | 200 | 0.3 | Gualanday Inf. |
| K | 23 | + | 200 | - | K 23 | + | 450 | 0.25 | Gualanday Med. |
| K | 23 | + | 450 | - | K 23 | + | 700 | 0.25 | Gualanday Inf. |
| K | 23 | + | 700 | - | K 24 | + | 200 | 0.5 | Gualanday Med. |
| K | 24 | + | 200 | - | K 24 | + | 500 | 0.3 | Gualanday Sup. |
| K | 23 | + | 150 | - | K 23 | + | 250 | 0.1 | Falla Magdalena. |
| K | 23 | + | 400 | - | K 23 | + | 500 | 0.1 | Falla Magdalena. |

La formación Saldaña es cruzada por el lineamiento del túnel en dos (2) tramos, con una longitud total de 6.1 Km; donde se presentan rocas volcánicas ignimbríticas de buena consistencia, masivas, ligeramente fisuradas y diaclasadas, con una fracturación un poco más intensa cuando corta los ejes anticlinales de Minas y de La Ocha. Para su construcción no se prevee revestimientos especiales, posiblemente serán necesarios pernos de anclaje y concreto neumático. También se requerirá soporte de acero en las zona de cruce de los ejes anticlinales.

En la zona de fracturación y alteración ocasionada por la acción de la falla inversa de Guamito, se espera inconvenientes derivados por alta infiltración, desprendimientos de bloques y movimientos de alguna magnitud se rá necesario utilizar soportes de acero, inyecciones y blindaje continuo.

Los tramos donde se presenta la Formación Caballos, el túnel cortará gruesas capas de areniscas con dirección y buzamiento favorable, algo friables, alta permeabilidad, de grano medio a grueso, resistencia media a baja, diaclasamiento moderado ortogonal. En estos tramos se esperan infiltraciones altas y se requerirá el uso de inyecciones y revestimiento con concreto neumático.

La Formación Villeta, se encuentra en tres (3) tramos a lo largo del alineamiento del túnel, en los cuales, cortará una intercalación de calizas y lutitas en capas gruesas hasta muy delgadas, con resistencia media a muy baja. Estas capas presentan una posición muy favorable para la estabilidad de las paredes del túnel, sin embargo, las calizas pueden presentar fenómenos de disolución y las lutitas por lo general son de carácter expansivo y descomposición rápida. Estos tramos requieren soporte de acero, inyecciones y revestimientos de concreto.

Cuando el túnel cruza las intercalaciones de caliza, lutitas calcáreas, chert y areniscas, con resistencias que varían entre medias a muy bajas,

pertenecientes a la Formación Gualanday es indispensable utilizar soportes de acero, inyecciones y revestimiento de concreto, debido a que las calizas y lutitas pueden presentar las mismas características de disolución y expansividad.

El túnel se construirá en dos (2) tramos, a través de la Formación Gualanday que consiste en arcillolitas con intercalaciones de areniscas, con resistencias entre bajas a muy bajas.

Las arcillolitas presentaron problemas por alteración a arcillas muy plásticas y las areniscas pequeñas infiltraciones. La estabilidad general se verá favorecida por la presencia y posición de estas capas de areniscas de 1.0 m de espesor. Estos tramos deben llevar soportes de acero y revestimientos de concreto.

Las capas de Gualanday Inferior son cruzadas por alineamientos del túnel - en cuatro (4) sectores que tiene una longitud total de 0.85 Km donde se presentan gruesas capas de conglomerados, algo friables con permeabilidad alta, diaclasamiento ortogonal moderado, resistencia media a baja donde la excavación estará afectada por intenso flujo de agua de infiltración. se necesitarán inyecciones y revestimientos de concreto.

En los sectores donde aflora el Gualanday Medio, el túnel cruza por arcillolitas con intercalaciones de areniscas de permeabilidad alta; la resistencia del conjunto se puede considerar como de baja a muy baja. Se espera encontrar alta descomposición de las arcillolitas y flujos de aguas de infiltración por las areniscas; se requerirán soportes de acero, inyecciones y revestimiento de concreto neumático.

Cuando el túnel corta los conglomerados masivos, con permeabilidad alta y resistencia media a baja, pertenecientes al Gualanday Superior en el sector correspondiente al eje del Sinclinal de Tesalia con alta fracturación,

cizallamiento e infiltración, será necesario emplear soporte de acero, inyecciones, revestimiento de concreto y posiblemente blindaje en algunas partes.

En el sector cerca al río Magdalena se requerirán inyecciones y revestimiento de concreto neumático. El portal de salida no presentará problemas especiales en éste tipo de roca.

En el flanco Este del Anticlinal de La Ocha se encuentran dos (2) zonas de fracturación y alteración producidas por efectos de la Falla Magdalena. Se tendrán problemas por alta infiltración, desprendimientos de bloques y movimientos, es precisa la utilización de soportes de acero, inyecciones y blindaje continuo.

5.1.6.3. Alternativa N° 2 Primera Etapa.

Tiene una longitud de 11.4 Km con dirección S85E y flexión hacia el Sur de 55° en los últimos 300 m, cruzará por rocas pertenecientes a las Formaciones Saldaña, Caballos, Villeta, Guadalupe, Guaduas y Gualanday.

ABCISA.

| | | | | | | | | |
|-----|---|-----|---|------|---|-----|------|----------------|
| K 0 | + | 000 | - | K 3 | + | 150 | 3.15 | Saldaña. |
| K 2 | + | 950 | - | K 3 | + | 050 | 0.1 | Falla Guamito. |
| K 3 | + | 150 | - | K 3 | + | 300 | 0.15 | Caballos. |
| K 3 | + | 300 | - | K 5 | + | 850 | 2.55 | Villeta. |
| K 5 | + | 850 | - | K 6 | + | 000 | 0.15 | Guadalupe. |
| K 6 | + | 000 | - | K 8 | + | 400 | 2.4 | Guaduas. |
| K 8 | + | 400 | - | K 8 | + | 500 | 0.1 | Gualanday Inf. |
| K 8 | + | 500 | - | K 9 | + | 900 | 1.4 | Gualanday Med. |
| K 9 | + | 900 | - | K 11 | + | 400 | 1.5 | Gualanday Sup. |

En la Formación Saldaña se necesitan pernos de anclaje, concreto neumático y soporte de acero. En la zona de falla, soporte de acero, inyecciones y blindaje continuo. En la Formación Caballos se empleará inyecciones y revestimientos de concreto neumático. En las Formaciones Villeta, Guadalupe y Guaduas, se requerirán soportes de acero, inyecciones y revestimientos de concreto. En la Formación Gualanday Inferior se necesitará inyecciones y revestimiento de concreto. En el Gualanday Medio soportes de acero, inyecciones y revestimiento de concreto neumático. En el Gualanday Superior se emplearán soporte de acero, inyecciones revestimiento de concreto y posiblemente blindajes.

5.1.6.4. Alternativa N° 2 Segunda Etapa.

La segunda etapa contempla en su diseño un canal de 0.6 Km de longitud, un tanque de compensación, un pozo, un túnel de carga de 13 Km de longitud y casa de máquinas superficial en la margen izquierda del río Magdalena.

El canal se construirá por depósitos tobáceos-sedimentarios siguiendo el cauce de la quebrada Potrero Grande. Deberá ir revestido para evitar fugas, dadas las características de alta permeabilidad de estos depósitos. La estabilidad de las márgenes es aceptable pues, se observan en los alrededores taludes verticales hasta de 70 m de altura, con buena cohesión, sin evidencias de alguna inestabilidad.

El tanque de compensación será excavado en una planicie o superficie de un depósito bajo tobáceo-sedimentario; donde se tienen las mismas características geotécnicas que para la construcción del canal. El nivel freático probablemente se encuentra bastante alto.

5.1.6.5. Túnel de Carga.

Tendrá una longitud de 13.0 Km, cruzará las rocas y capas de las Formacio-

nes Saldaña, Caballos, Villeta, Guadalupe, Guaduas y Gualanday.

| | | | | | | | | |
|------|---|-----|---|------|---|-----|------|---------------------|
| K 0 | + | 000 | - | K 0 | + | 000 | 0.75 | Guaduas. |
| K 0 | + | 000 | - | K 1 | + | 050 | 0.25 | Gualanday Inferior. |
| K 1 | + | 050 | - | K 3 | + | 450 | 2.4 | Gualanday Medio. |
| K 3 | + | 450 | - | K 3 | + | 600 | 0.15 | Gualanday Inferior. |
| K 3 | + | 600 | - | K 6 | + | 300 | 2.7 | Guaduas. |
| K 6 | + | 300 | - | K 6 | + | 450 | 0.15 | Guadalupe. |
| K 6 | + | 450 | - | K 8 | + | 500 | 2.05 | Villeta. |
| K 8 | + | 500 | - | K 8 | + | 700 | 0.2 | Caballos. |
| K 8 | + | 700 | - | K 9 | + | 800 | 1.1 | Saldaña. |
| K 9 | + | 800 | - | K 9 | + | 880 | 0.08 | Caballos. |
| K 9 | + | 880 | - | K 10 | + | 700 | 0.82 | Villeta. |
| K 10 | + | 700 | - | K 10 | + | 900 | 0.2 | Gualanday Inferior. |
| K 10 | + | 900 | - | K 11 | + | 550 | 0.65 | Gualanday Medio. |
| K 11 | + | 550 | - | K 11 | + | 800 | 0.25 | Gualanday Inferior. |
| K 11 | + | 800 | - | K 12 | + | 600 | 0.8 | Gualanday Medio. |
| K 12 | + | 600 | - | K 12 | + | 900 | 0.3 | Gualanday Superior. |
| K 12 | + | 900 | - | K 13 | + | 000 | 0.1 | Honda. |
| K 10 | + | 650 | - | K 10 | + | 750 | 0.1 | Falla Magdalena. |
| K 11 | + | 100 | - | K 11 | + | 200 | 0.1 | Falla Magdalena. |

Para la construcción se deben aplicar las recomendaciones dadas en los túneles anteriormente descritos.

5.1.6.6. Casa de Máquinas.

Se localizó en la margen izquierda del río Magdalena, en una zona compuesta por capas de la Formación Honda, que consisten en intercalaciones de arenas y arcillolitas. Las arenas son friables y presentan espesores entre 1.0 y 1.5 m. Las arcillolitas son de coloraciones grises a rojizas, bastante plásticas. La posición general de las capas es favorable para su

estabilidad; sin embargo, la resistencia de las rocas para la fundación se pueden considerar como de baja a muy baja. Es necesario la remoción total de la capa de alteración y descompresión, la cual, fué estimada en 15 m de espesor.

5.2. PROYECTO MACAMA.

La presa se encuentra localizada aproximadamente a 10 Km al Norte de la - inspección de Puerto Valencia (Cauca) entre los cerros La cumbre y Guámbico con alturas promedio de 1.800 m.s.n.m. Figura 7, y cuyo embalse cubre parte de los cauces de los ríos Negro y Páez.

El sitio presenta topografía abrupta, con altura promedio de los 600 m, de formas redondeadas con un drenaje subparalelo a subangular, controlado por el alto diaclasamiento y tectónica del área; es un valle amplio (50 m en el cauce y 400 m en la parte alta) en forma de "V", asimétrica con pendientes desde suaves a medianamente altas.

Debido a que la garganta formada por el río Páez, desde la confluencia del río Negro hasta la desembocadura de la quebrada Macama, presentaba las mejores perspectivas energéticas, para la ubicación de un proyecto hidroeléctrico, se estudiaron diferentes alternativas de ejes de presa y se llegó a la conclusión desde el punto de vista de estado de la roca, y características morfológicas que el sitio localizado 600 m aguas abajo de la confluencia de la desembocadura de los ríos Negro y Páez, cumplía con los parámetros de calidad y estabilidad de la roca no obstante en encontrarse en su eje (estribo derecho) un depósito de materiales piroclásticos que deberá removerse, figura 6.

El acceso se hace por carretable en buen estado, que parte desde la población de La Plata y conduce a Belalcázar, el cual corta las estructuras geológicas y rocas aflorantes en el sitio del proyecto.

La vegetación es baja y únicamente se cultiva en las margenes de las quebradas mayores que drenan en el área y sobre las vegas del río especialmente sobre los depósitos aluviales.

En el área del proyecto afloran rocas ígneas (intrusivas y efusivas), metamórficas, sedimentarias, volcánico-sedimentarias y sedimentos recientes de tipo piroclástico, cenizas, coluviones y aluviones pertenecientes al Macizo de La Plata, complejo de Macama, conglomerado del Guámbico, Formación Coquiyú, Formación Saldaña y Formación Páez, cubierto de sedimentos recientes afectadas por las fallas de Avirama, Grillo, Macama y Frayles. En la Figura 12 se presenta una columna estratigráfica generalizada del proyecto.

5.2.1. Sitio de Presa.

El sitio denominado para la presa, Figura 6, presenta un valle amplio en forma de "V" amplia, con inclinaciones de 50° y 60° en el estribo izquierdo y 30° en el derecho con una pronunciada "hombreira" de rocas piroclásticas en su parte alta de hasta 30 m de altura con una vegetación arborea en los depósitos aluviales (Qal) disminuyendo en las laderas a pastos naturales. (Foto 2).

El estribo izquierdo está compuesto por una secuencia de esquistos cloríticos verdes en muestra fresca y amarillentos en muestra laterada, tobas ignimbríticas, cuarcitas cloritizadas, de rumbo N 40° E con 50° - 70° SE de inclinación de foliación; las pendientes naturales alcanzan los 60° no obstante hay sitios donde localmente son superiores a 75°, donde la roca se presenta totalmente descubierta sin evidencias de inestabilidad. (Foto-35).

En la parte alta siguiendo el carretable a San Luis, la roca presenta buenos afloramientos con replegamientos, diaclasas y fracturas, intensificándose de media a alta a medida que nos acercamos a la Falla Macama principal pilar tectónico del área.

Las rocas en éste estribo presentan una delgada capa residual de 0.3 a 2 m de espesor, la cual, por la escorrentía y saturación de agua presenta pequeños deslizamientos que permiten observar las características rocosas del estribo.

En el estribo derecho predominan los metabasaltos verdes oscuros, en capas gruesas intercalados con tobas soldadas grises y verde claro con textura cristalina afanítica de N 50° - 60° E, e inclinación de la foliación 70° - SE, con pendientes naturales no superiores a los 30°, cubierto de depósitos coluviales, aluviales, delgados depósitos de derrubio y suelos residuales no superiores a 1,50 m de espesor.

Este estribo presenta en el centro del Valle depósitos aluviales de una extensión máxima de 60 m (Qal), compuesto de cantos de neises, gránitos, gabros y tobas embebidas en una matriz grava arenosa de un espesor no superior a 10 m; continua aflorando en la pendiente, un amplio depósito coluvial, compuesto por materiales piroclásticos redepositados, guijos y bloques angulares de rocas metamórficas e ígneas, embebidas en una matriz sucia lodosa, parda, con poca gradación en diferentes sitios, de un espesor estimado de 20 m; hacia la parte alta y sobre el cruce del carretable se encuentran sedimentos piroclásticos de la Formación Páez (Qp) "formando una hombrera" con espesores hasta de 30 m y fracturas de tensión, 333/90; - 310/70, espaciadas de 0.6 a 6.0 m, (foto 36) ocasionadas por pérdida de soporte hacia la base debido al socavamiento del río o por el corte del carretable; materiales, estos, que deberán removerse para el emplazamiento de la presa, figura 6.

Los análisis de la proyección polar de diaclasas, figura 6 "estereota" tomadas para el sitio de presa nos determinaron tres (3) sistemas polares de diaclasas:

Polo I - Sistema de rumbo N 30° - 35° W e inclinaciones de 72°-80°

- al SW.
- Polo II - Sistema de rumbo N 35° - 40° E con alto ángulo de inclinación 86°.
- Polo III - Sistema de rumbo N 70° - 75° W con inclinación entre 70° y 86° al NE y SW.

Los polos I y III son sistemas conjugados de alto ángulo, verticales al sistema principal de fallamiento (Falla Macama, Falla Grillo).

El polo III es aproximadamente paralelo al sistema de fallamiento del área. Es un sistema profundo con un espaciamento irregular de 0.20 - 2.00 m cortado por venas de cuarzo y diques pegmáticos.

Estas características permiten la realización de cortes en la roca de hasta 72° máximos, sin problemas de inestabilidad de taludes en los cortes.

Las características litológicas del Complejo de Macama con rumbo N 30°-45° E, e inclinaciones de la foliación con alto ángulo al SE con fracturas profundas, medianamente espaciadas y diaclasas verticales al sistema de fallamiento Macama, hacen que el sitio tenga una permeabilidad baja a moderada con buena capacidad de soporte y una dureza y resistencia media a baja para su fundación.

5.2.2. Desviación.

Teniendo en cuenta la disposición de las rocas, su expresión topográfica y el curso del río en las inmediaciones del sitio de presa se seleccionó el margen derecha como el sector de mejores características para el alineamiento del túnel de desviación con una longitud de 560 m y un diámetro de 8 m.

La desviación contempla en su iniciación un canal de 20 m de longitud, tra-

mo donde se encuentran depósitos aluviales y coluviales, para posteriormente entrar en las rocas metamórficas del Complejo de Macama. (Pzm) con características geológicas anteriormente definidas, permeabilidad baja a moderada, buena capacidad de soporte y una dureza y resistencia media a baja.

Esta obra requiere de soportes de acero en los portales de entrada y salida y revestimiento de concreto a lo largo del túnel.

5.2.3. Vertedero.

Se seleccionó el estribo derecho aprovechando las buenas características morfológicas y la calidad de roca; no obstante, que en esta zona se presenta el material piroclástico que debe ser removido en las excavaciones para la fundación de la presa, (foto 2).

Los cortes para la fundación de la obra no deben ser superiores a 70° teniendo en cuenta el análisis de los sistemas polares de diaclasas. Figura 6. La cámara de amortiguación del vertedero se localizó, de tal manera que no afecta los depósitos recientes, los cuales son de fácil erosión.

5.2.4. Embalse.

Con un nivel máximo de inundación a 1292 m.s.n.m. el embalse cubre los valles de los ríos Páez y Negro por un trayecto máximo de 10 Km con un área de 5.12 Km², afectando las vías de comunicación de los municipios de Inzá, Páez y a la inspección de Pedregal.

El embalse inunda rocas ígneas pertenecientes al Macizo de La Plata en su parte final sobre el río Páez, en inmediaciones de la desembocadura de la quebrada Coquiyú; volcano-sedimentarias pertenecientes al conglomerado del Guámbico; materiales pertenecientes a los piroclastos del Páez en formas a terrazadas de 60 a 80 m de altura. (Foto 37), depósitos aluviales y colu-

viales recientes.

Las condiciones geológicas del conglomerado del Guámbico con una inclinación de las capas hacia aguas arriba del embalse entre 10° y 40° NW, en una matriz cohesiva y fracturamiento bajo a medio, dan una permeabilidad baja al área de embalse; además de las características geológicas del complejo de Macama permiten definir una buena estanqueidad del embalse evitando fugas hacia cuencas adyacentes.

En los alrededores de la desembocadura de la quebrada Pedregal al río Negro, existe un gran coluvión en forma de abanico, con características potenciales altas de deslizamiento, el cual, puede activarse por fluctuaciones en el nivel de embalse, situación que debe verificarse en la etapa de factibilidad.

Las terrazas piroclásticas de taludes verticales situadas aguas arriba de la presa, hasta Guadalejo, deben modificarse a taludes de 50° - 60° para evitar un desprendimiento al existir variaciones del nivel de agua.

Aguas arriba de la cota de inundación, el cañon de los ríos es amplio y no se observan deslizamientos potenciales, que puedan afectar la vida media del embalse a excepción del anteriormente descrito.

5.2.5. Túnel de Carga.

Su alineamiento se proyectó sobre la margen izquierda del río Páez; contempla un túnel de 14.7 Km de longitud y 7.5 m de diámetro, una tubería de carga superficial de 0.4 Km de 5.6 m de diámetro y una central en superficie sobre la margen izquierda del río Páez, con una caída de 250 m figura 7.

Los primeros 1.3 Km llevan un rumbo general Este-Oeste para posteriormente

seguir S 60° E por un trayecto de 1.8 Km; luego se continua 10 Km con un rumbo S 30° E y terminar los últimos 1.65 dirección sur 10° - 12° W.

El túnel cortará rocas pertenecientes al Complejo de Macama (Pzm) y al Macizo de La Plata (Pep) afectada por fallas activas, en cuyos cruces se diseñaron sifones.

Los 1.500 m, el túnel cortará rocas pertenecientes al Complejo de Macama - compuesto por esquistos, tobas ignimbríticas y cuarcitas con rumbo general N 30° - 50° E e inclinación de la foliación de 40° - 60° SE, posición favorable para la construcción del túnel en éste tramo; la proyección polar de las diaclasas medidas para éste sector muestran tres (3) sistemas con dirección N 35° - 40° E; N 30° - 35° W y N 70° - 75° W e inclinaciones de alto ángulo, formando ángulos mínimos de 20° de intersección con respecto al trazo del túnel, condiciones que exigen a éste sector pernos de anclaje y revestimiento de concreto, acentuándose a medida que nos acercamos a la Falla de Macama.

En el tramo comprendido entre las abcisas K 1 + 150 a K 2 + 300 se presentan los trazos de las Fallas del sistema de Macama, falla vertical, profunda, amplia y "ACTIVA" que enfrenta las rocas del Macizo de La Plata con la metamórfita de Macama, actividad evidenciada en los depósitos piroclásticos del Páez (Qp) en los alrededores de la población de Ricaurte, (Foto - 38).

Sobre el trazo de la falla se presenta una zona de brecha de 235 m de amplitud, cortada por abundantes diques pegmatíticos y venas de cuarzo, características que hacen de éste tramo de túnel una zona con grandes infiltraciones y desprendimientos, donde se requiere inyecciones, soportes de acero y blindaje continuo.

El cruce de la quebrada Macama se realizará por medio de un sifón de 182 m

de longitud.

Continúa excavándose hasta el K 8 + 350 por roca ignea metamórfica del Macizo de La Plata, roca de buena dureza y alta resistencia con cuatro (4) sistemas polares de diaclasas medidas a lo largo del trazo del túnel.

- | | |
|----------|--|
| Polo I | - Rumbo N 8° E e inclinación de 80° - 84° SE. |
| Polo II | - Rumbo N 66° E e inclinación de 74° - 78° NW. |
| Polo III | - Rumbo N 22° E e inclinación de 70° - 76° SE. |
| Polo IV | - Rumbo N 86° W e inclinación de 90° - 86° NE. |

El polo IV es un sistema de diaclasas profundas e irregularmente espaciadas que sirven de vía para aguas de infiltración.

Se espera para éste trayecto, que el estado de la roca en profundidad presente condiciones buenas de dureza, resistencia y consistencia; únicamente se pueden presentar pequeñas infiltraciones y desprendimientos de roca dependiendo de la intersección del diaclasamiento anteriormente descrito, este trayecto requiere algunos pernos de anclaje y revestimiento en los sitios críticos.

A partir del cruce de la Falla Frayles, falla activa con desplazamientos recientes, (fotos 39 y 40), hasta el portal de salida, cerca a la casa de máquinas, tramo donde se intensifica el diaclasamiento regional por acción de la Falla de La Plata se requiere de inyecciones, pernos de anclaje, y un revestimiento total del túnel.

En las entradas y salidas de los sifones abcisas K 2 + 300 y K 8 + 350 sobre las fallas Macama y Frayles, donde en está última se observa un corredor de brechificación y milonitización de la roca de hasta 150 m (foto 41) se requiere el blindaje y revestimiento de los portales de entrada y sali-

da, por un trayecto superior al observado superficialmente en la roca.

Las condiciones geológicas en el trazo del túnel son aceptables, teniendo en cuenta que un 80% de su trazado sobre rocas muy duras y resistentes pertenecientes al Macizo de La Plata, representandose los mayores problemas para construcción sobre la zona de influencia de las fallas, relacionadas a desprendimientos y filtraciones debido a la alta actividad tectónica del área.

La almenara se construirá sobre este mismo tipo de rocas.

5.2.6. Casa de Máquinas.

El sitio tomado para casa de máquinas se determinó sobre la margen izquierda del río Páez en el sitio denominado "Chapetón" en la cota 1000 m.s.n.m. sobre los depósitos de derrubios de 4 - 8 m de espesor y depósitos aluviales de 2 - 3 m de altura por 25 m de amplitud, (foto 42), estos depósitos deben removerse para cimentar la estructura sobre el Macizo de La Plata con taludes naturales en este sitio de 30° - 40°.

5.3. PROYECTO PIEDRA GRANDE.

Se encuentra ubicado a 8 Km al noroeste del municipio de Belalcázar (Cauca) entre los cerros Casas Viejas y Piedra Alta, figura 9.

En el área del proyecto afloran rocas igneo-metamórficas pertenecientes al Macizo de La Plata (Pep), subprayacida de depósitos recientes de la Formación Páez, coluviales y aluviales. En la Figura 13 se presenta una columna estratificada generalizada del proyecto.

La vegetación es baja y se cultiva sobre los depósitos de pendientes suaves; el acceso a la presa y parte del embalse se hace por el carretable Belalcázar - Tóez.

5.3.1. Sitio de Presa

El sitio se presenta como un profundo y angosto cañón en "V", con promedio de altura de 500 m, (Foto 3). La presa tiene una altura de 120 m alcanzando la cota 1620 m.s.n.m. cuyo eje presenta una orientación N 40 E.

Las paredes de los estribos son escarpadas y escalonadas con pendientes naturales de 45° a 60° y esporádicamente verticales. En ambos estribos, hacia la parte inferior, se encuentran depósitos coluviales y aluviales hasta de 20 m de espesor.

En la margen derecha aflora un extenso depósito piroclástico en la Formación Páez que alcanza la cota 1800 m.s.n.m. en su parte alta; con espesores máximos estimados de 50 m, los cuales, oscurecen la roca original. Estos depósitos presentan taludes verticales y fracturas de tensión, espaciadas irregularmente, ocasionadas por pérdida de soporte hacia la base por socavamiento del río (Foto 43); depósitos que deberán removerse para el emplazamiento de la presa, sobre la roca ígnea del Macizo de La Plata. La localización del eje de presa obedece a la forzosa ubicación del vertedero, ya que en este sitio, las características morfológicas son las más favorables para un vertedero recto en planta.

Los análisis de las proyecciones polares de las diaclasas Figura 8, tomadas para el sitio de presa nos muestra cuatro (4) sistemas:

- POLO I - Diaclasas con rumbo N 4° E y buzamientos de 82° - 86° hacia el SE.
- POLO II - Diaclasas con rumbo N 64° E y buzamientos de 64° - 70° al NW.
- POLO III - Diaclasas con rumbo N 86° E buzando 80° - 84° hacia el SE.
- POLO IV - Diaclasas con rumbo N 35° W con buzamiento de 32° - 36° al SW.

Los tres (3) primeros sistemas se encuentran generalmente rellenos de cuarzo hidrotermal, pero el sistema 4 es un sistema continuo con aberturas de diaclasas hasta de 5 mm y una distancia de espaciamiento entre 0.20 cm y 2 m, diaclasamiento que debe tenerse muy en cuenta por ser la vía para infiltraciones del embalse.

Cortes de excavación para la fundación de la presa de acuerdo con el análisis polar de diaclasas, debe tener pendientes entre 45° y 60°.

La presa se cimentará sobre la roca ígnea del Macizo de La Plata de composición gabroidea cortada por diques melanocráticos diabásicos.

La roca en sí es compacta, dura y resistente con fenómenos cataclásticos - de desgarramiento de los granos por recristalizaciones posteriores, de afloramientos continuos con buena capacidad de soporte, bajo meteorización y resistencia alta.

5.3.2. Vertedero.

Se seleccionó el estribo derecho aprovechando las características morfológicas.

Los cortes para la fundación de la obra deben oscilar entre 46° - 60° teniendo en cuenta los análisis polares de diaclasas, Figura 8, para la estabilidad del talúd, el salto ski se orientó de tal manera que su descarga se efectúa sobre roca sana del mismo sitio de la presa.

5.3.3. Desviación.

Se contempló la desviación por la margen derecha teniendo en cuenta las características geológicas, morfológicas de roca y cauce actual del río dando como resultado un túnel de 600 m de longitud con 7.5 m de diámetro.

Tanto en la entrada y salida se encuentran depósitos piroclásticos, aluviales y coluviales en trayectos de 20 y 50 m sobre estos depósitos se contempla la desviación por sistemas de canales que estarán revestidos para evi-

tar filtraciones.

El túnel se excavará sobre roca ignea perteneciente al Macizo de La Plata de composición gabroidea, roca compacta, dura y resistente con buena capacidad de soporte y permeabilidad baja moderada.

Esta obra requiere de soportes de acero en los portales de entrada y salida y revestimiento de concreto.

5.3.4. Embalse.

Cubre los valles de los ríos Moras y Páez por un trayecto de 4.5 Km hasta las inmediaciones de la quebrada Tálaga.

Afloran rocas igneo metamórficas pertenecientes al Macizo de La Plata, sedimentos piroclásticos y recientes descritos anteriormente. El nivel de embalse está en la cota 1607 m.s.n.m. y cubre generalmente los depósitos recientes, en donde las características de cohesión son pobres produciendo se problemas de inestabilidad en las zonas de altas pendientes de los piroclásticos, especialmente a las fluctuaciones del embalse que ocasionan disminución de la capacidad del soporte basal, con sus consecuentes deslizamientos.

Desde el punto de vista de estanqueidad es posible que existan fugas en principio, pero generalmente tienden a minimizarse por la acción de la matriz de cenizas y arcillas de los sedimentos recientes.

5.3.5. Túnel de Carga

Se proyectan por el estribo derecho (Foto 3), con rumbo N 35° W, tomando a la cota 1589.5 m.s.n.m. y descargando a la cota 1546 m.s.n.m. con un diámetro de 5 m y una longitud de 6.3 Km, Figura 9.

El túnel en su totalidad está proyectado cortando rocas gabroideas pertene

cientes al Macizo de La Plata, que es una roca de buena calidad, dura y resistente.

Los polos de diaclasas medidos a través del lineamiento del túnel nos muestran cuatro (4) sistemas de diaclasas:

POLO I - Diaclasas con rumbo N 8° E y buzamientos de 80° - 84° SE.

POLO II - Diaclasas con rumbo N66° E y buzamientos de 74° - 78° NW.

POLO III - Diaclasas con rumbo N22° E y buzamientos de 70° - 76° SE.

POLO IV - Diaclasas con rumbo N86° W y buzamientos de 76° - 86° NE.

Teniendo en cuenta la dirección de proyección del túnel, los patrones de diaclasas obtenidos, y la buena calidad de la roca no se prevén problemas de desprendimientos de bloques de alguna magnitud.

El lineamiento cruzará la Falla Avirama y la Fractura de Belalcázar, donde la roca se encuentra milonitizada, brechada y fracturada con una anchura no mayor a los 60 m; zonas donde se esperan altos flujos de agua de infiltración aunque la acción de los diques ha contribuido a rellenar y sellar paleofracturas.

No se debe descartar la actividad de la Falla Avirama que afecta depósitos piroclásticos, pero no los coluviones y aluviones del río Simbola y Páez - demostrando su inactividad en épocas recientes.

Esta obra requiere un revestimiento de concreto y protección con soportes de acero en los portales de entrada y salida e inyecciones en blindaje continuo al paso de las Fracturas de Belalcázar y Falla Avirama. Figura 9.

5.3.6. Casa de Máquinas.

La casa de máquinas se encuentra localizada aproximadamente sobre la cota 1292 m.s.n.m. en la margen derecha del río Páez, unos 200 m aguas arriba -

de la desembocadura de la Quebrada Coquiyú.

Este sitio presenta un depósito de aluvión, de 50 m de amplitud por 3 m de espesor, tipo llanura de inundación; compuesto por bloques angulares a redondeados de rocas igneas, metamórficas, neises y volcánicas de hasta 2 m de diámetro mayor, embebidos en una matriz gravo-arenosa sucia; luego encima se encuentra coluvión con fragmentos angulares y redondeados en matriz lodosa, producida por mezcla de rocas igneas y descuelgue del material piroclástico, presenta una altura de 20 m ampliándose en su base por un sector de dimensión similar; en la parte superior se observan remanentes de depósitos piroclásticos. (Foto 44).

Esta zona se encuentra cultivada, bien arborizada donde el río ha conservado su actual cauce en los últimos tiempos.

Estos depósitos aluviales presentan espesores superiores a 5 m, porque aguas abajo, aflora la roca gabroidea "Insitu" con estructuras migmatíticas, dura y resistente, medianamente diaclasada. (Foto 24).

Para la fundación de la estructura de casa de máquinas es necesario la remoción de estos depósitos para cimentarla sobre roca de alta resistencia.

5.4. PROYECTO GUINEA.

5.4.1. Sitio de Presa y Obras.

El sitio de presa se localiza en la Vereda denominada Guinea, 14 Km al SW de la población de La Plata, por la carretera que conduce a Belén y Popayán (Foto 4), donde el río La Plata ha formado una garganta estrecha y profunda en forma de "V", cortando las rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Saldaña, que consisten en basaltos y tobas vítreo cristalinas de alta compactación, masivas, fisuradas, a moderadamente diaclasadas de resistencia media y gran dureza. Figura 10. (Foto 9).

En el estribo derecho se presentan basaltos de alta compactación, de color gris oscuro, con fracturas rellenas de sílice secundaria. Las pendientes naturales varían entre 35° y 40°. Localmente la roca se encuentra desnuda cuando estas pendientes son mayores debido al lavado de los suelos; en algunas partes los taludes alcanzan hasta 60° de inclinación sin evidencias de inestabilidad.

Al nivel de la actual carretera se observa la roca totalmente desnuda, fresca, compacta y moderadamente fracturada con diaclasamiento cerrado y espaciamiento entre 1 y 2 m. (Foto 45), sin embargo, se presentan algunas pequeñas zonas afectadas por cillazamientos de intensidad media. (Foto 46). En la parte más alta del estribo, la roca se encuentra cubierta por una delgada capa de suelo residual con espesores de 0.3 a 0.5 m; no obstante en sitios más altos el espesor de estos suelos alcanza 1.0 m.

Los manantiales intermitentes que aparecen solamente en épocas lluviosas han acumulado a lo largo de los taludes, estrechos y delgados depósitos recientes de materiales de derrubio, constituidos por pequeños fragmentos angulares de rocas volcánicas, embebidos en una matriz limo arcillosa de coloración amarillenta, con espesores de hasta 1.50 m.

En el estribo izquierdo se presentan tobas vítreo cristalinas de composición riolítica de coloración gris oscuro, con matriz vítrea, recristalizada por efectos térmicos y devitrificación, que originó su alta compactación.

Las pendientes naturales varían entre 40° y 45°, por lo general cubiertas de suelos residuales de 0.5 m de espesor, a nivel del río la roca aflora fresca, sana, compacta moderadamente fracturada con diaclasamiento cerrado y espaciamiento de 0.5 a 1.50 m. La cobertura de roca descompresionada se pudo estimar por observaciones de campo entre 2 y 5 m.

Al nivel del cauce del río, cota 1185 m.s.n.m., no se espera encontrar nin

gún depósito de importancia dado de que actualmente el flujo del río está excavando las rocas y profundizando su lecho, solamente se observan depósitos aluviales de poco espesor en las riveras del mismo, por efectos de crecidas. Estos depósitos presentan espesores de 2 m.

En la parte baja del estribo se presentan acumulaciones de desecho debido al mantenimiento de la vía y en el izquierdo algunos pequeños coluviones con espesores que no alcanzan a los 5 m.

Los sistemas de diaclasas encontrados, son las tendencias mayores, expresadas por los análisis estadísticos, de datos observados y recolectados en campo, para el sitio de presa se tiene tres (3) sistemas de diaclasas principales en orden de importancia.

- 1.- Rumbo N 5° E, buzamiento de 50° - 58° SE.
- 2.- Rumbo N78° E, buzamiento de 60° - 70° NW.
- 3.- Rumbo N62° W, buzamiento de 82° - 88° NW.

A pesar de su presencia no acarreará problemas especiales para la implantación de la presa, debido a que sus inclinaciones son de alto grado, la mayoría se encuentran cerradas y son de poca profundidad, son superficies irregulares espaciadas entre 0.50 y 2.00 m.

Todas estas características permiten realizar cortes en la roca con ángulos hasta de 70°, sin temor a derrumbes o a inestabilidades; para estos cortes se diseñaron taludes 1/2 a 1, con bermas de 5 m cada 20 m verticales.

En rasgos generales se considera que los estribos presentan características de estabilidad aceptables.

Para la fundación de la presa en roca sana de buena consistencia y dureza es preciso la remoción de por lo menos 5 m de cobertura de alteración y descompresión.

El diaclasamiento moderado, cerrado o irregular a nivel de la fundación de la presa, sin presencia de fracturación intensa, por las mismas características intrínsecas de la roca, con ausencia de porosidad microfracturadas - rellenas de minerales recristalizados por efectos térmicos o de devitrificación, hacen esperar una baja permeabilidad. La columna estratigráfica se presenta en la Figura 14.

5.4.2. Vertedero.

Se localizó en el estribo izquierdo debido a la nariz topográfica que lo conforma presenta las mejores características morfológicas para su construcción, pudiéndose fundar en roca sana, con una pequeña remoción de cobertura de suelo residual.

Debido a la orientación del cauce, aguas abajo del sitio de presa, la estructura del rebosadero se orientó de tal manera que no fuera a causar inestabilidades, socavamientos y erosión en las rocas y depósitos adyacentes, que causaron problemas a la estructura misma.

En la parte final es necesario remover un depósito reciente de coluvión de espesor máximo de 7 m, caracterizado por fragmentos subangulares de rocas volcánicas de tamaño entre 3 y 10 cm, embebidas de material limoso cuyo volumen de remoción es bajo.

Las taludes de corte son los indicados anteriormente para los estribos, aceptándose inclinaciones altas (70°).

5.4.3. Desviación.

Se aprovechó el estribo izquierdo, donde se presentan características tanto morfológicas como litológicas aceptables, las mismas que fueron anotadas para dicho estribo; siendo necesario remover los depósitos cuaternarios aluviales y coluviales presentes, tanto en el portal de entrada como en el de salida, estos depósitos están compuestos por gravas angulares de

rocas volcánicas embebidas de material limoso, con espesor máximo de 2 m y de fácil remoción.

Dado el estado de la roca y el diaclasamiento presente, tanto en los portales como en los túneles mismos, posiblemente no serán necesarios recubrimientos especiales para su estabilidad, sin embargo por condiciones hidráulicas se diseñará revestido. Figura 10.

5.4.4. Embalse

El embalse cubrirá hasta la cota 1270 m.s.n.m., inundará los caseríos de Gallego y Villa Lozada, situados a lo largo del río La Plata, e invade una pequeña área del valle de la Quebrada Moscopán; cubrirá rocas volcánicas de la Formación Saldaña, el granito gráfico de Villalosada y los flujos de lavas basálticas de la Formación Popayán, además depósitos cuaternarios, tales como: Terrazas, abanicos aluviales y coluviales. (Foto 47).

Tanto las rocas como los depósitos presentes en la zona de inundación, poseen características de firmeza, que controlan la estabilidad de sus márgenes, así: La cobertura sobre las rocas volcánicas es menor de 1 m, el granito gráfico de Villa Lozada posee una capa de meteorización no mayor de 5 m, los abanicos aluviales presentan inclinaciones topográficas suaves, los coluviones y terrazas aluviales presentan inclinaciones menores de 10° y espesores no mayores de 5 m. Por último las lavas basálticas no presentan meteorización y son de gran consistencia.

Todas estas características nos llevan a asegurar una buena estabilidad de las márgenes en la zona de inundación, corroborado por la no existencia de zonas desestabilizadas y una baja permeabilidad en toda el área del embalse.

5.4.5. Túnel de Carga.

Se localizó por la margen derecha del río La Plata, siguiendo el flanco Oeste de la Serranía Anticlinal de Minas. Figura 11.

Tendrá una longitud total de 11.3 Km, con varios tramos orientados así: El primer tramo tendrá una dirección N 54° W y una longitud de 5.5. Km, sigue con N 37° W y una longitud de 4,56 Km y termina con N 12° E y una longitud de 2.8 Km, con diámetro de 5.5. m.

Estos alineamientos del trazado del túnel se realizaron para evitar zonas de alto riesgo, como el sistema de fallas de La Azufrada, donde se encuentra la roca intensamente fracturada, y derrumbes recientes activos esperándose en profundidad gran circulación de agua. También se evitó cortar las fallas en ángulos agudos, por esto el trazado del túnel tiende a ser normal con sus alineamientos

Sus primeros 10.23 Km serán excavados en rocas volcánicas ignimbríticas de color marrón, con divitrificación e influencia hidrotermal, posterior a su origen que le dan alta compactación, gran dureza, resistencia media alta y módulo relativo medio, donde será necesario utilizar pernos de anclaje y concreto neumático.

Los sistemas de diaclasas presentes en ésta acción del túnel, deducidos por análisis de diagramas de proyección de polos son:

- 1.- Rumbo N 28° E. con buzamiento de 64° - 68° NW.
- 2.- Rumbo N 12° E. con buzamiento de 68° - 76° SE.

Las diaclasas son cerradas, presentan ángulos de buzamiento altos, no poseen costras de oxidación, son de poca profundidad, no continuas e irregulares, evidentemente estas características demuestran que no se tendrán problemas de permeabilidad o de inestabilidad de gran magnitud.

Haciendo un análisis de las zonas de esfuerzo, con respecto al trazado del túnel se tiene: en las abcisas K 4 + 400 - K 5 + 300 - K 10 + 230 - K 10 + 900, el túnel corta casi perpendicularmente los sistemas de Fallas de La Azufrada, la roca presenta en estos sitios fracturación intensa, con alta infiltración, se requiere allí soportes de acero, inyecciones y blindaje.

De la abcisa K 10 + 230 a K 11 + 300, el túnel será excavado en calizas (lutitas calcáreas) de las Formaciones Villeta y Guadalupe, caracterizadas por presentar estratificación fina, con niveles duros (25 - 50 cms) y niveles blandos (20 - 200 m) intercalados. Se requieren soportes de acero, inyecciones y revestimiento de concreto.

Estos estratos tienen rumbo normal al trazado del túnel, lo que favorecerá su construcción (buzamiento de 24° - 30° al Sureste).

5.4.6. Tubería de Carga

Tendrá una dirección N 12° E y una longitud de 1.27 Km, el portal de salida del túnel está localizado en la Vereda El Tablón, aproximadamente 2.5 - Km, al sur de la población de La Plata, en rocas de la Formación Guadalupe, que por su estado se debe utilizar inyecciones y blindaje.

Sus primeros 0.27 Km estarán fundados en lutitas calcáreas, los soportes de la tubería deberán ir con un espaciamiento mínimo y una profundidad suficiente dadas las cualidades de dureza de la roca.

En el último kilómetro, la tubería de carga estará sobre depósitos cuaternarios de aluvión y coluvión, compuestos por gravas de rocas volcánicas, completamente meteorizadas, embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración amarilla, que presentarían problemas de asentamientos e inestabilidades, por lo cual los soportes deben ir fundados en la roca sana.

5.4.7. Casa de Máquinas

Debido a las buenas características morfológicas del Valle del río La Plata, la casa de máquinas será de tipo superficial.

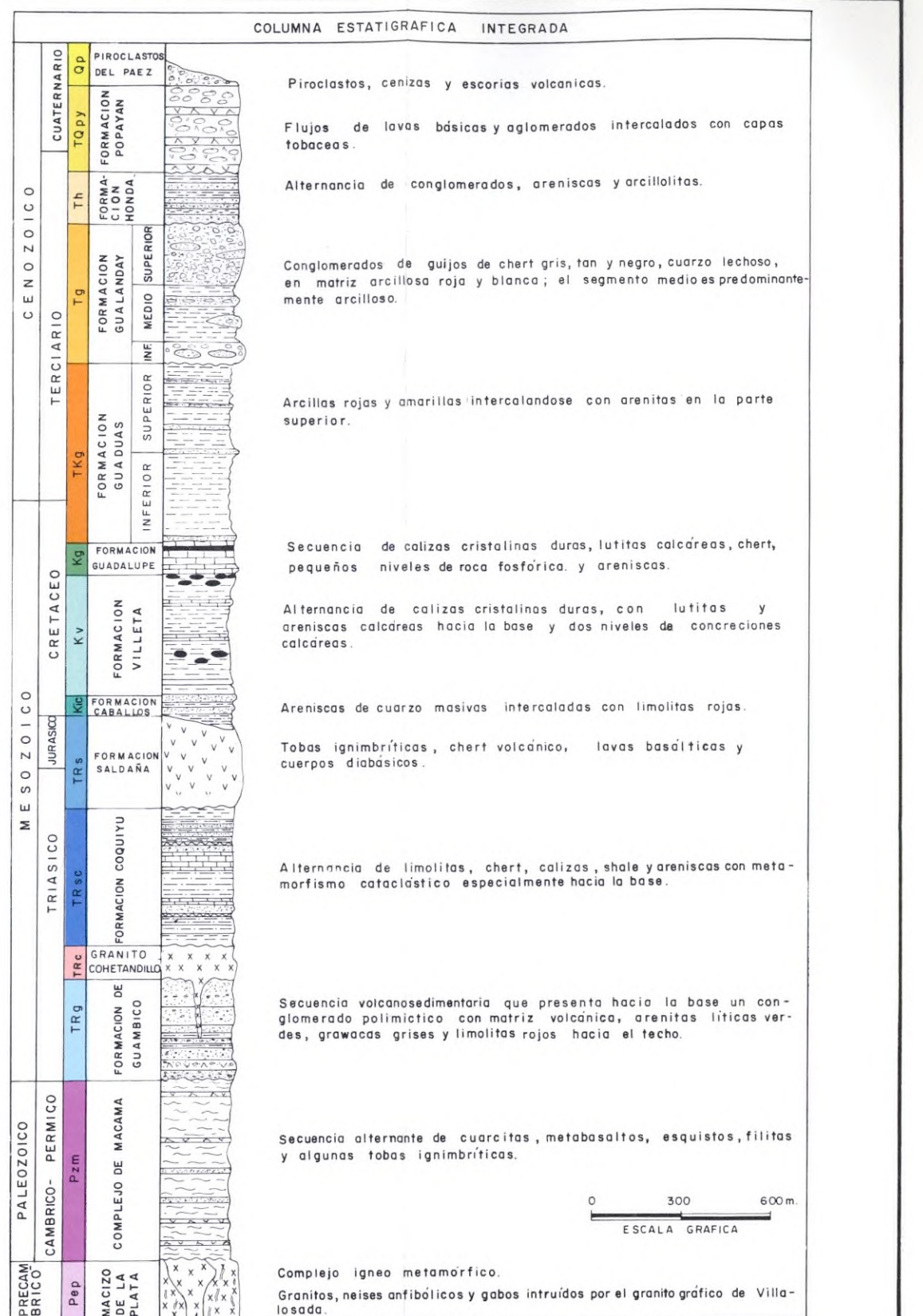
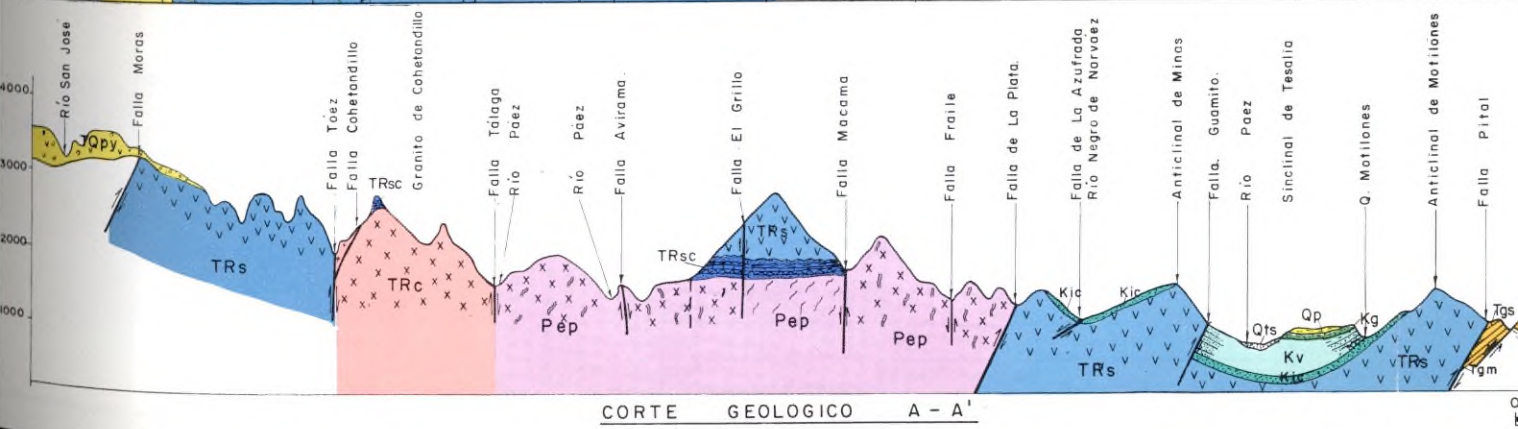
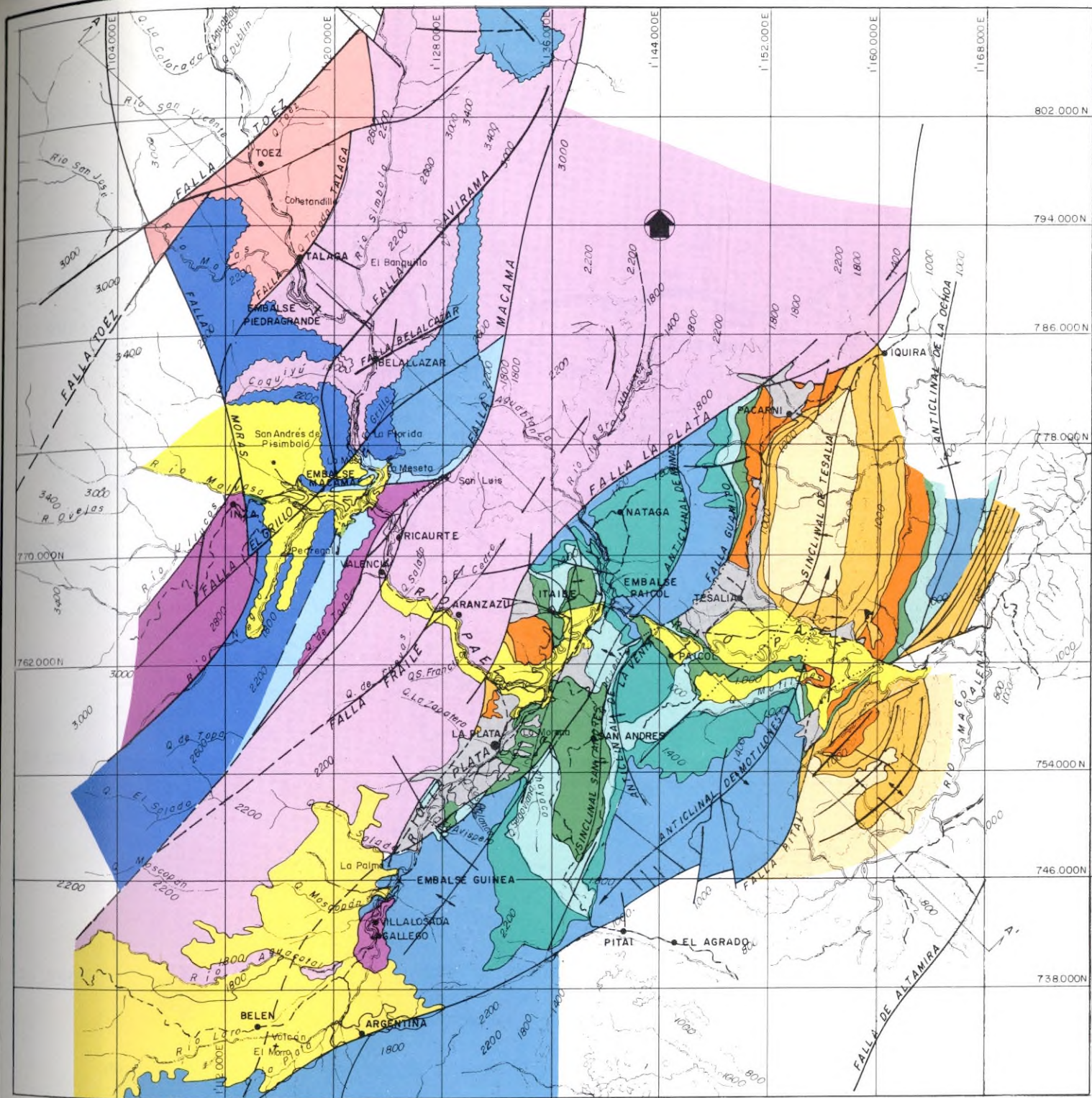
Se localizó a un kilómetro al sur de La Plata, cerca al cauce de la Quebrada El Azafranal, a 370 m antes de su desembocadura y en la margen derecha del río La Plata. (Foto 48).

Será construída sobre depósitos cuaternarios de abanico aluvial, caracterizados por gravas de rocas volcánicas e igneas, completamente meteorizadas embebidas en material limo arcilloso de coloración amarillo rojiza, se podrían presentar problemas de asentamientos pero, al igual que para el último tramo de la tubería de carga, existe la probabilidad de encontrar roca dura de la Formación Guadalupe a poca profundidad, donde se podría cimentar la estructura.



FIGURAS





CONVENCIONES

- Contacto geologico.
- Estructura geologica inferida.
- ~ Discordancia.
- Fallamiento.
- Falla geologica inferida.
- Anticlinal.
- Sinclinal.
- Rio.
- Curva de nivel.
- Poblacion.

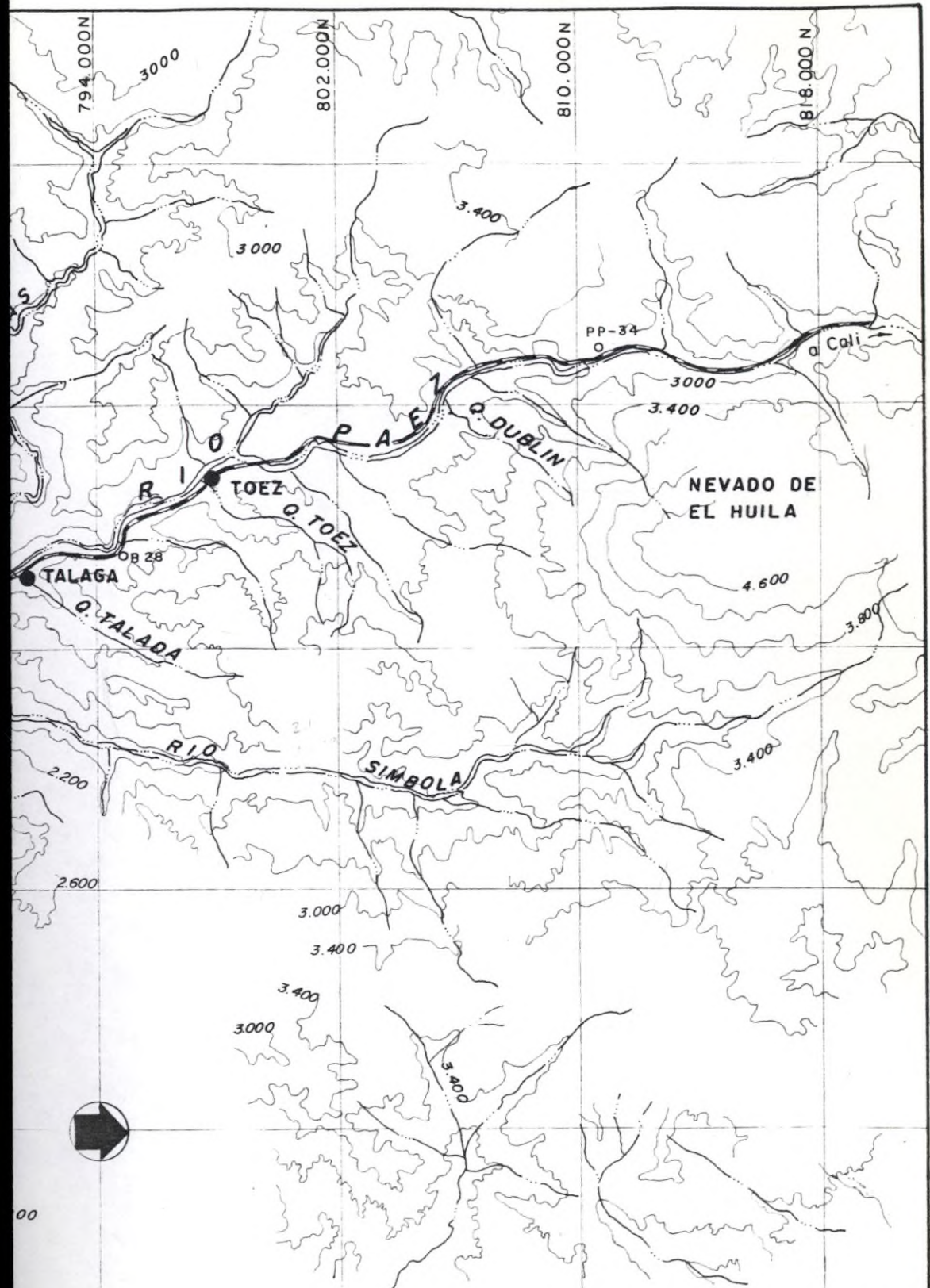
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

MAPA GEOLOGICO REGIONAL

Diseñó: _____ Calculó: _____ Presentó: _____
 Dibujó: N. B. A. Revisó: _____ Aprobó: _____
 CONSULTORIA COLOMBIANA Escala: grafica Fecha: Abril-1983
PLANO No. DE CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

0 5000 10.000m
ESCALA GRAFICA





INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



LOCALIZACION DE MUESTRAS

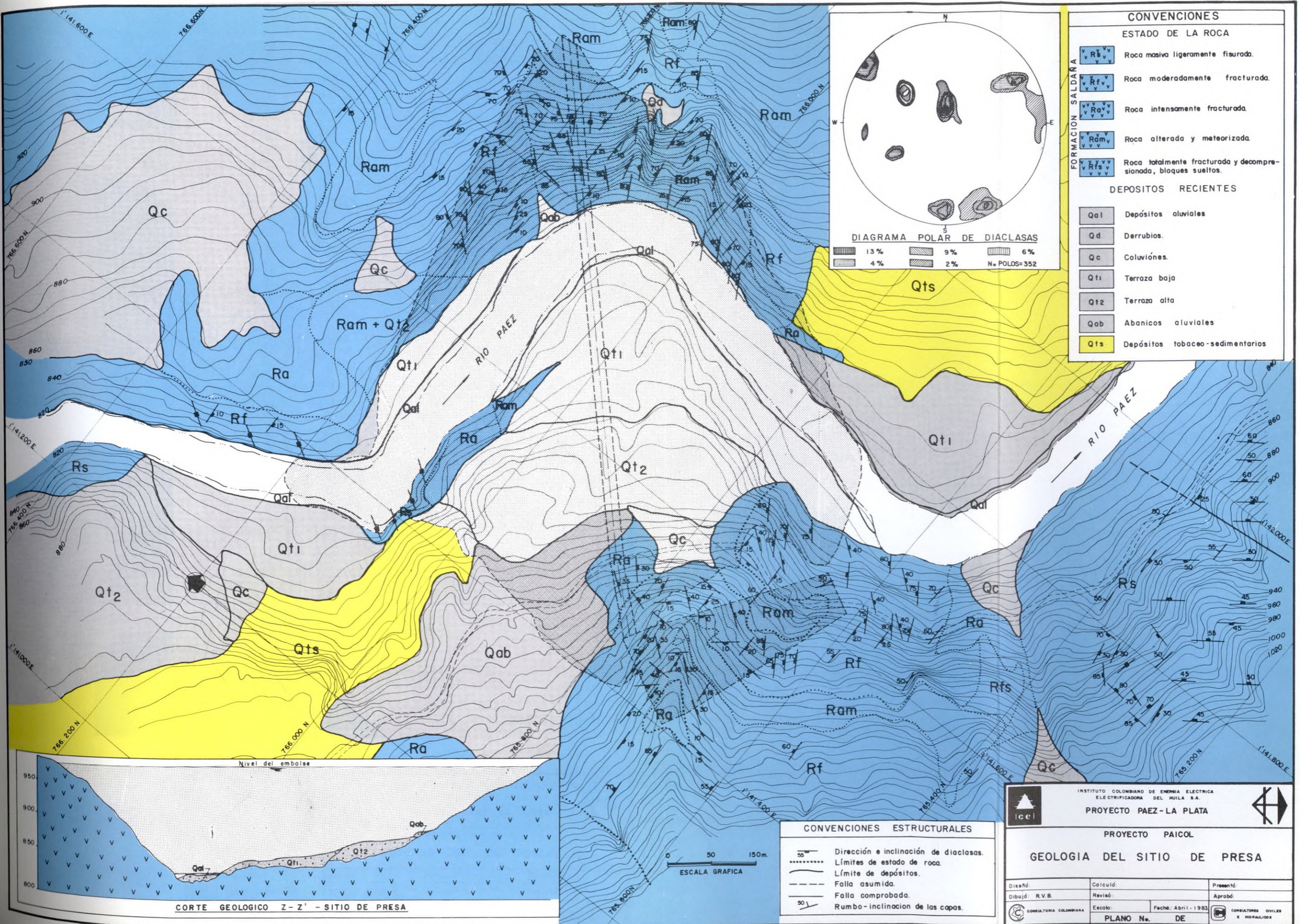
| | | |
|---------------|----------|-----------|
| Diseño: | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: G. R. | Revisó: | Aprobó: |


consultoría colombiana

Escala: Indicada
Fecha: Abril / 83


consultores civiles e hidráulicos

FIGURA 2



CONVENCIONES

ESTADO DE LA ROCA

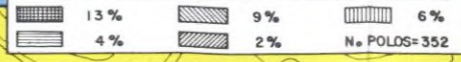
- Roca masiva ligeramente fisurada.
- Roca moderadamente fracturada.
- Roca intensamente fracturada.
- Roca alterada y meteorizada.
- Roca totalmente fracturada y decomprimada, bloques sueltos.

FORMACION SALDANA

DEPOSITOS RECIENTES

- Depósitos aluviales
- Derrubios.
- Coluviones.
- Terraza baja
- Terraza alta
- Abanicos aluviales
- Depósitos tobaceo-sedimentarios

DIAGRAMA POLAR DE DIACLASAS



Nivel del embalse

CORTE GEOLOGICO Z-Z' - SITIO DE PRESA



CONVENCIONES ESTRUCTURALES

- Dirección e inclinación de diaclasas.
- Límites de estado de roca.
- Límite de depósitos.
- Falla asumida.
- Falla comprobada.
- Rumbo-inclinación de las capas.

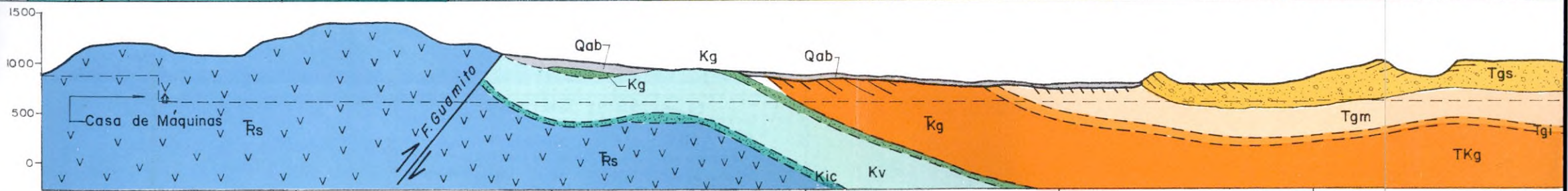
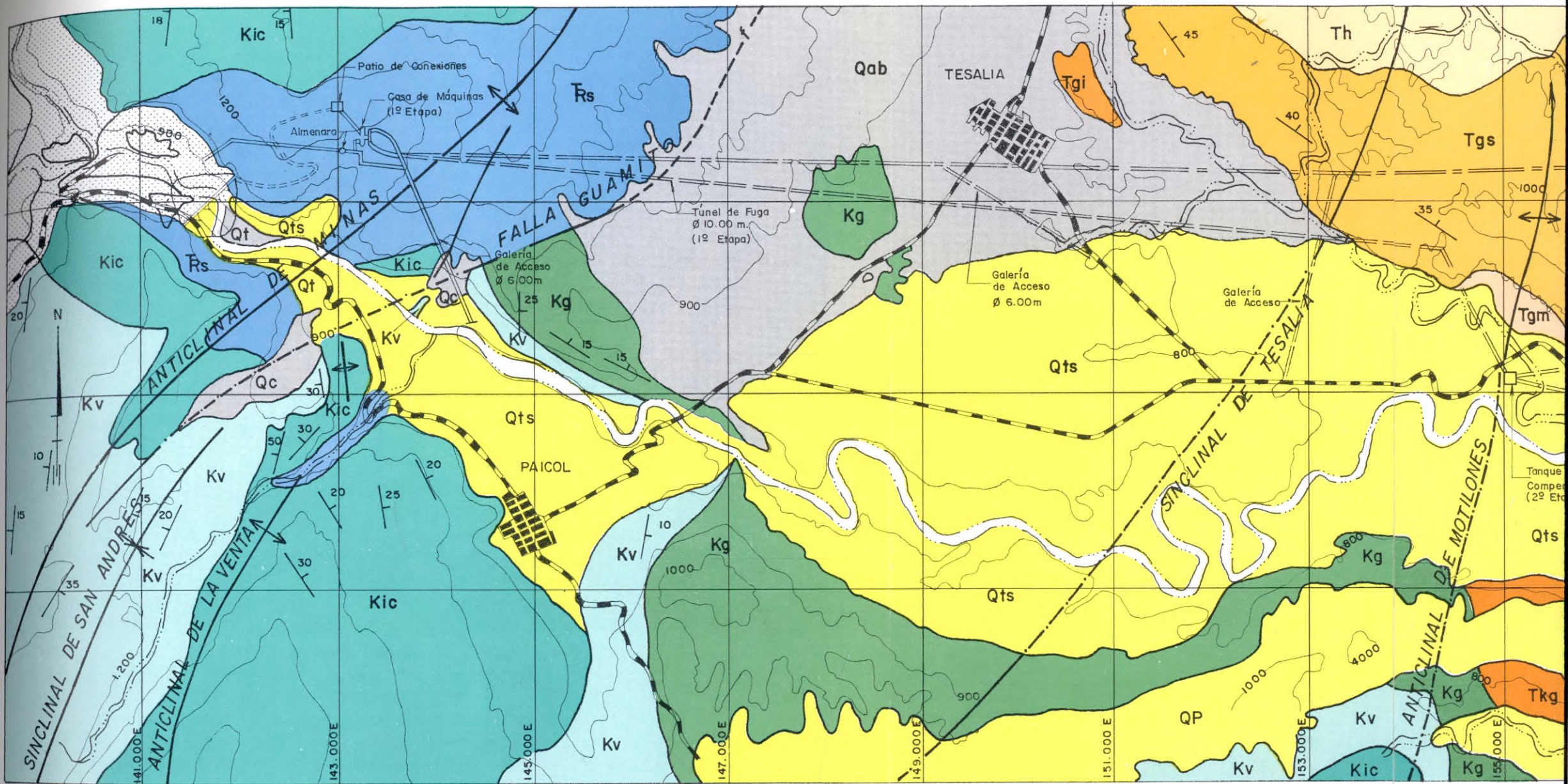
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

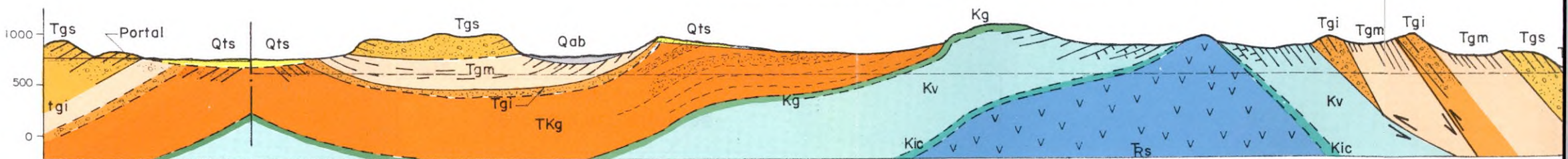
PROYECTO PAICOL

GEOLOGIA DEL SITIO DE PRESA

| | | |
|----------------|----------|-----------------------------------|
| Diseño: | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: R.V.B. | Revisó: | Aprobó: |
| Escala: | | Fecha: Abril - 1983 |
| PLAN No. DE | | CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS |

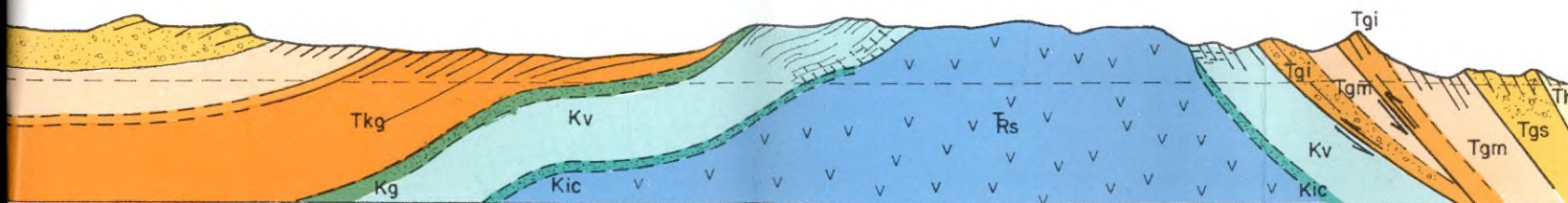
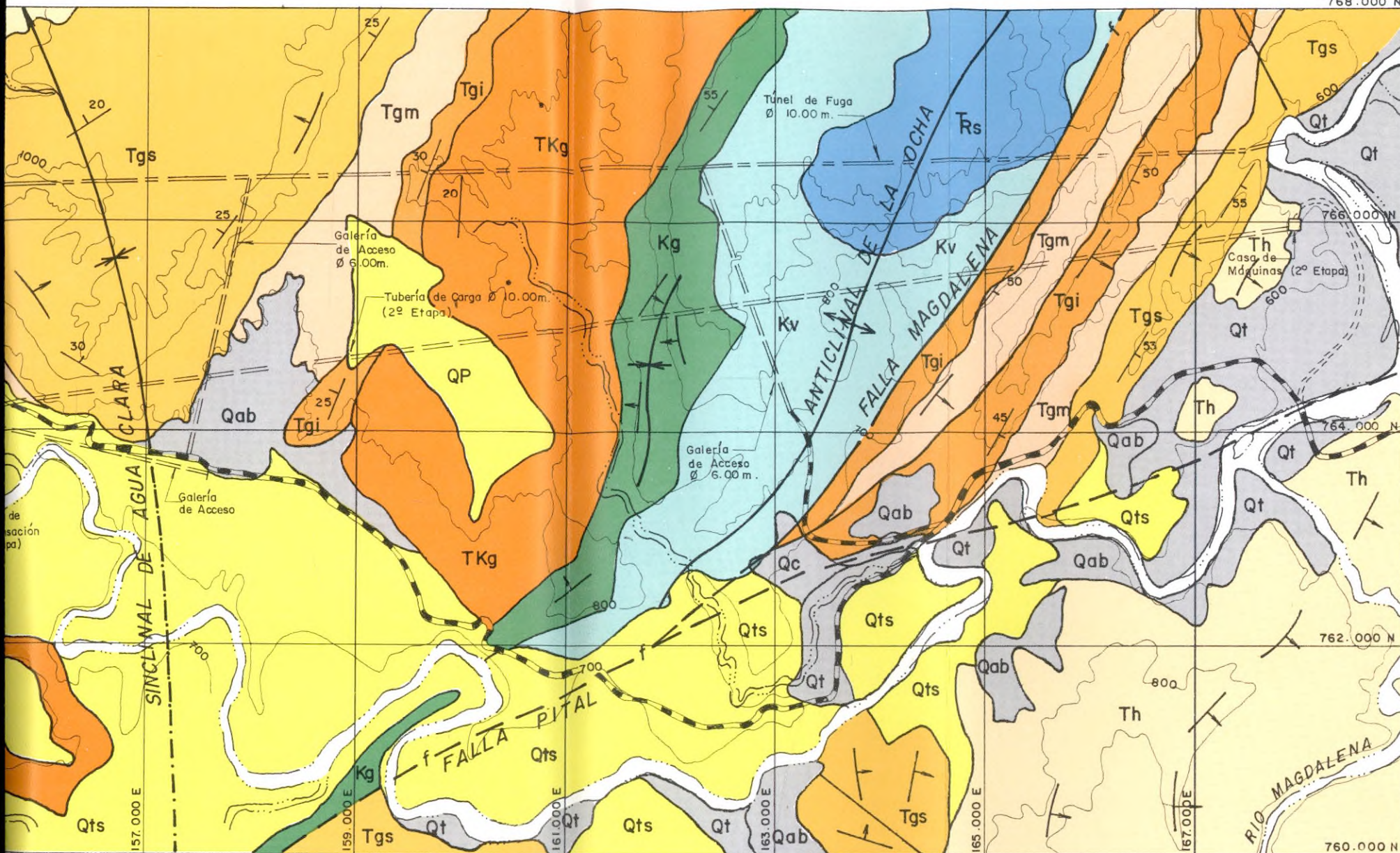


CORTE GEOLOGICO LONGITUDINAL ALTERNATIVA 1



Final de la Primera Etapa Iniciación Segunda Etapa

CORTE GEOLOGICO LONGITUDINAL ALTERNATIVA 2



CONVENCIONES LITOLÓGICAS

| | | | |
|--|---------------------------------------|--|---------------------|
| | Depósitos Coluvión Abanicos aluviales | | Formación Guaduas |
| | Depósito Tobaceo-Sedimentarios | | Formación Guadalupe |
| | Piroclastos | | Formación Villeta |
| | Formación Honda | | Formación Caballos |
| | Formación Gualanday Superior | | Formación Saldaña |
| | Formación Gualanday Medio | | |
| | Formación Gualanday Inferior | | |

CONVENCIONES ESTRUCTURALES

| | |
|--|-----------------------------------|
| | Eje anticlinal |
| | Eje sinclinal |
| | Fallamientos |
| | Falla asumida |
| | Rumbo y buzamiento |
| | Rumbo y buzamiento fotogeológico. |



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

PROYECTO PAICOL

GEOLOGIA ZONA DE TUNELES

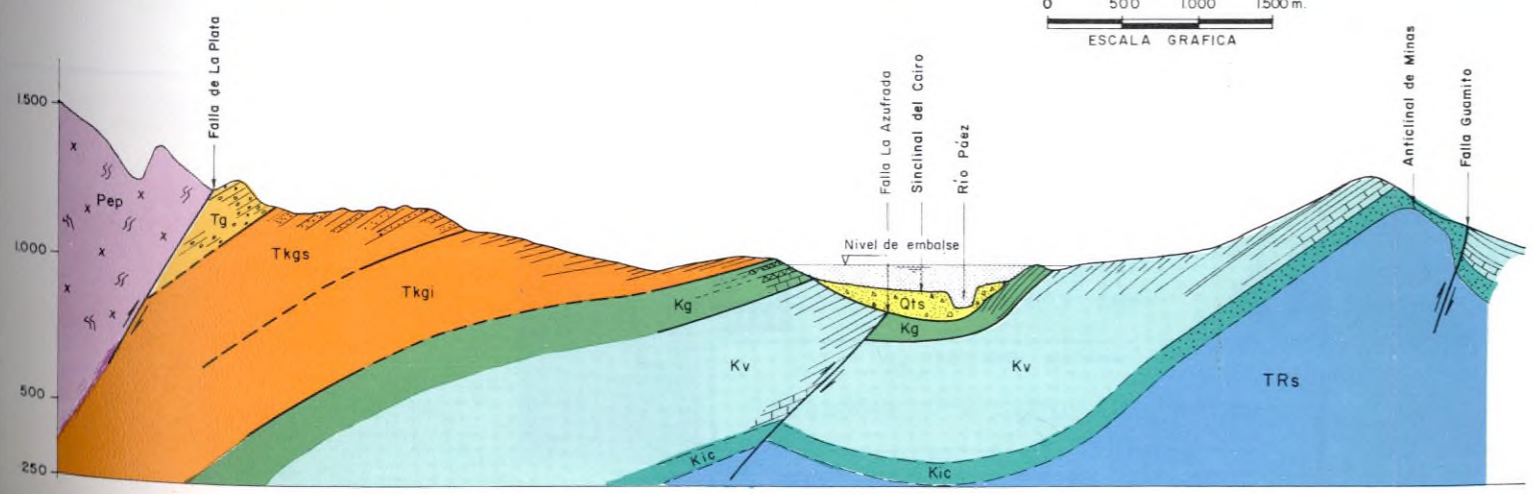
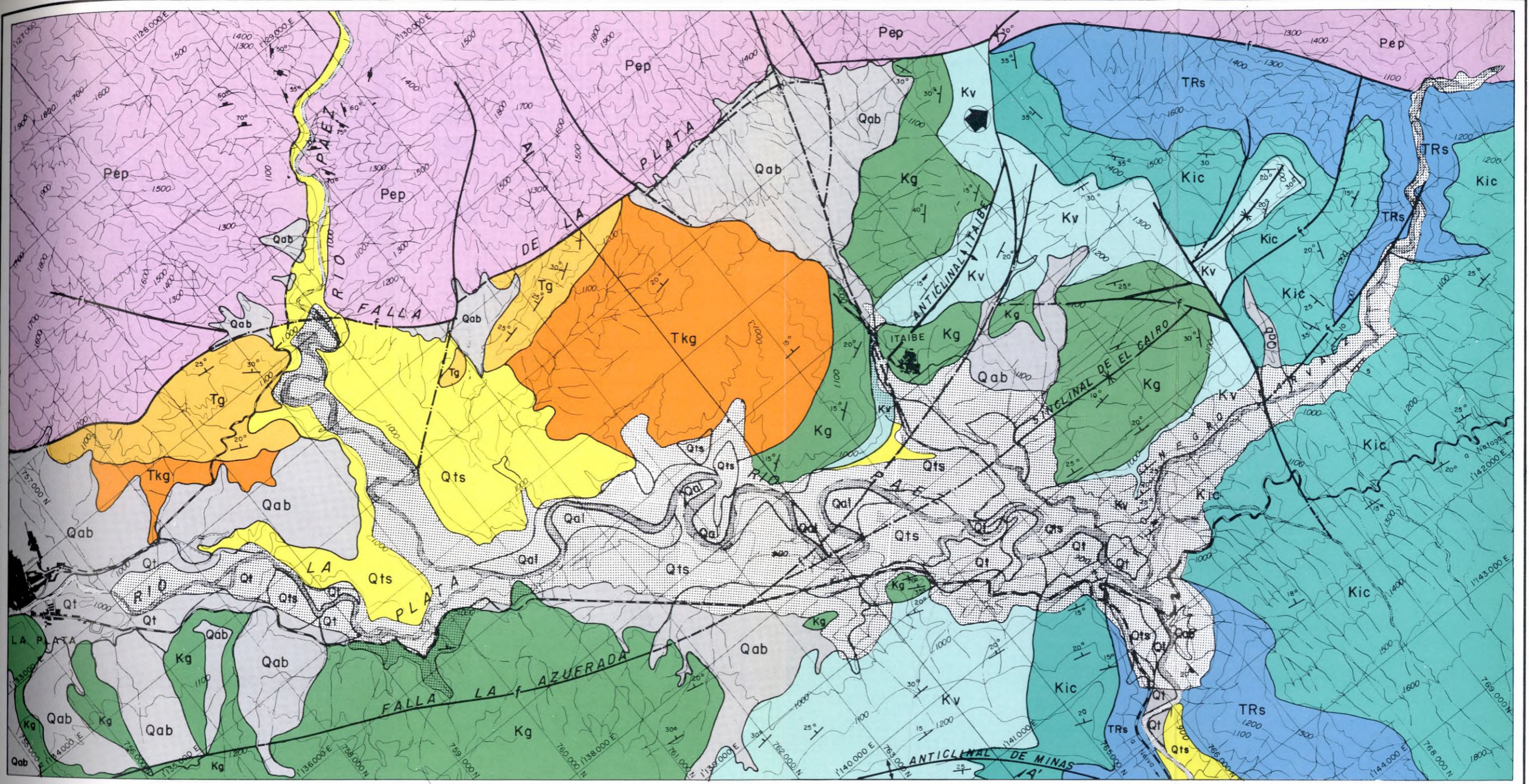
Diseño: _____ Calculó: _____ Presentó: _____

Dibujó: M.C.R. Revisó: _____ Aprobó: _____

consultoría colombiana

Escala: Indicada
Fecha: Abril/83

consultores civiles e hidráulicos



CORTE GEOLOGICO A-A'

CONVENCIONES LITOLÓGICAS

| | |
|--|---|
| | Llanuras de inundación - gravas, arenas limos. |
| | Abanicos aluviales - bloques, cantos, arenas y limos. |
| | Depósitos de terrazo - cantos, arenas. |
| | Depósitos tobaceo - sedimentarios, cantos, gravas, arenas, limos. |
| | Formación Gualanday - conglomerados, arcillolitas, areniscas. |
| | Formación Guaduas - arcillolitas, areniscas. |
| | Formación Guadalupe - calizas, lutitas, chert. |
| | Formación Villeta - calizas, lutitas. |
| | Formación Caballos - areniscas. |
| | Formación Saldaña - ignimbritas. |
| | Macizo de La Plata - granitos, neises. |

CONVENCIONES ESTRUCTURALES

| | | | |
|--|----------------------------------|--|---------------------------------|
| | Límites litológicos. | | Rumbo y buzamiento de estratos. |
| | Fallamiento comprobado. | | Ríos y quebradas. |
| | Fallamiento asumido. | | Zona de embalse. |
| | Plegamiento sinclinal. | | Carreteras. |
| | Plegamiento anclinal. | | Poblaciones. |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasas. | | |

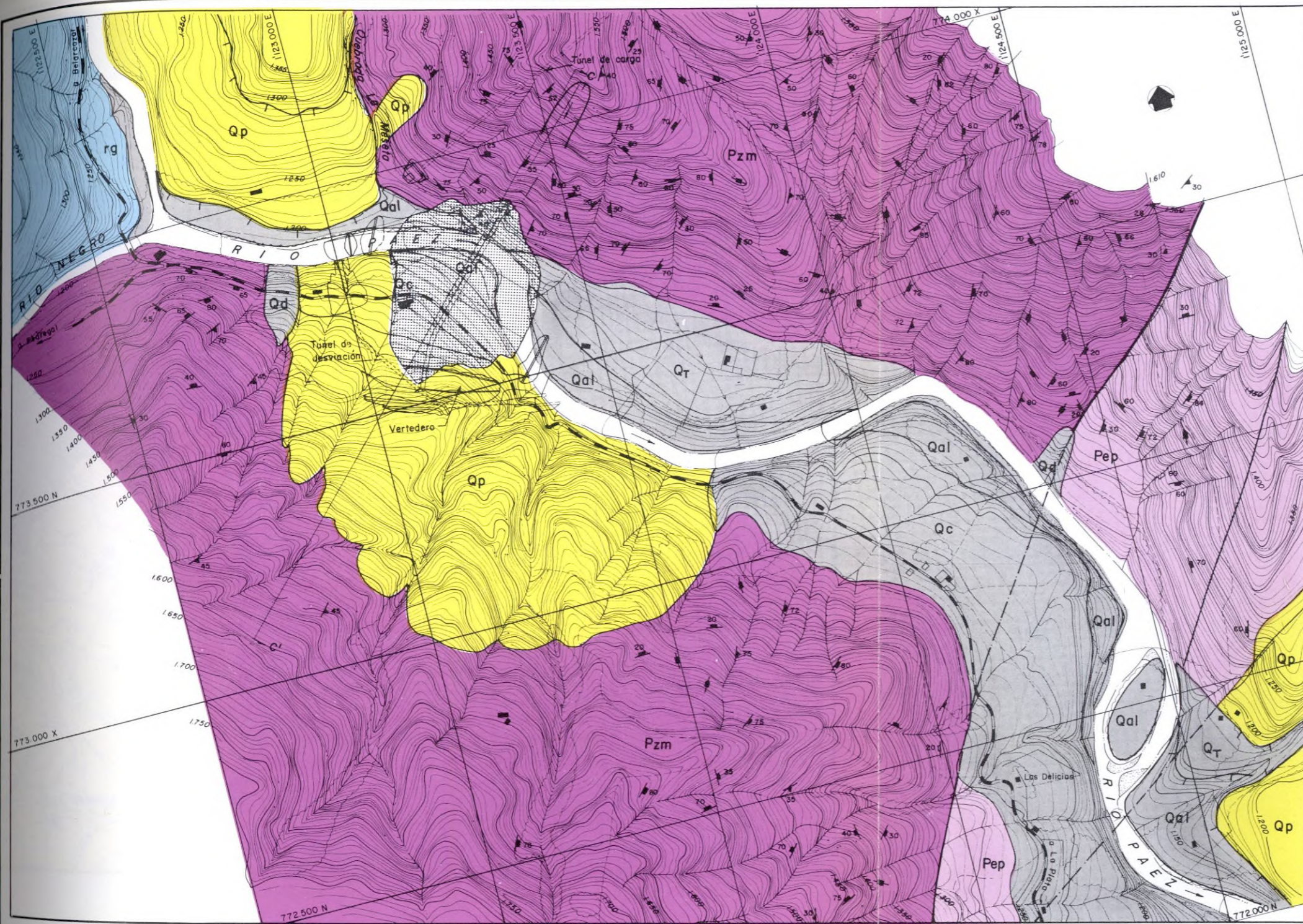
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

PROYECTO PAICOL
GEOLOGIA DEL EMBALSE

| | | |
|------------------|-------------------|----------|
| Diseño | Calculó | Presentó |
| Dibujó: N. B. A. | Revisó: | Aprobó: |
| Escala: Gráfica | Fecha: Abril-1983 | |
| PLANO No. DE | | |

CONSULTORIA COLOMBIANA CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS



- CONVENCIONES LITOLÓGICAS**
- Macizo de La Plata. (Neises - granitos - grabos)
 - Complejo de Macama: (esquistos - cuarcitas - tobas ignimbríticas metabasaltos)
 - Conglomerado del Guámbico
 - Piroclastos del Páez
 - Sedimentos recientes: Terrazas aluviales - derrubios - aluviones - coluviones).
- CONVENCIONES ESTRUCTURALES**
- Contacto geológico definido.
 - Contacto geológico probable.
 - Borde de terraza.
 - Falla direccional (flechas = movimiento. s = bloque que sube ; b = bloque que baja .)
 - Falla cubierta.
 - Rumbo y buzamiento de diaclasa.
 - Diaclasa vertical.
 - Rumbo y buzamiento de foliación.
 - Zona de deslizamiento activo.
 - Zona de influencia cataclástica y milonitas.
 - Ríos y quebradas.

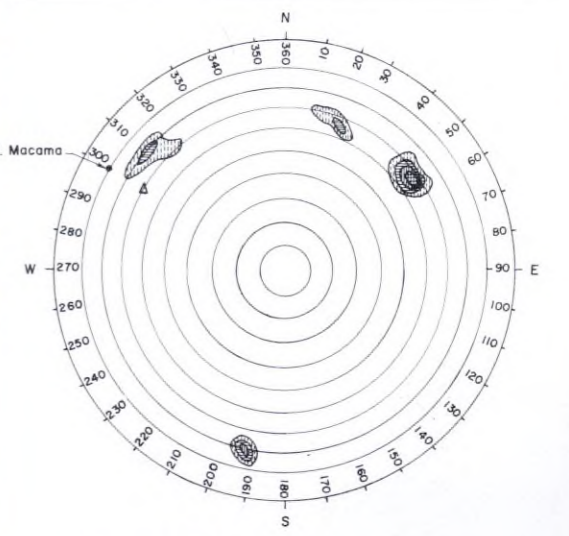
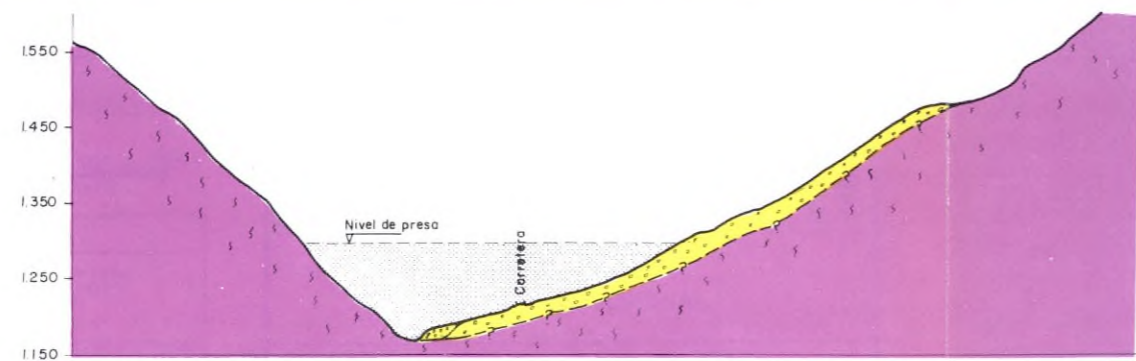
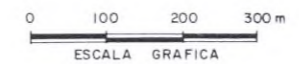


DIAGRAMA POLAR DE DIACLASAS

- 8%
 - 5%
 - 4%
 - 3%
- 266 Polos
 • Falla principal
 Δ Foliación predominante.



CORTE GEOLÓGICO C-C' - EJE DE PRESA



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ELECTRIFICADORA DEL NUILA S.A.

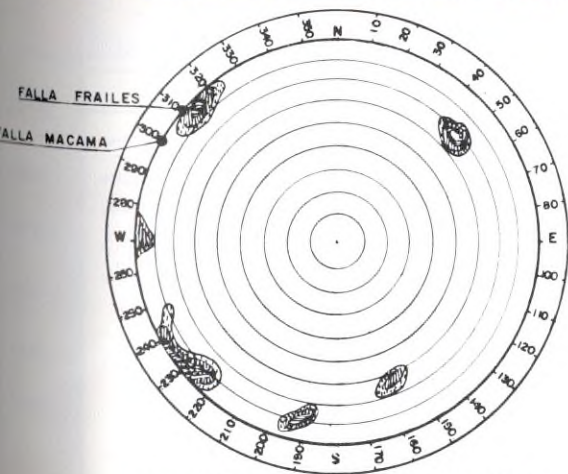
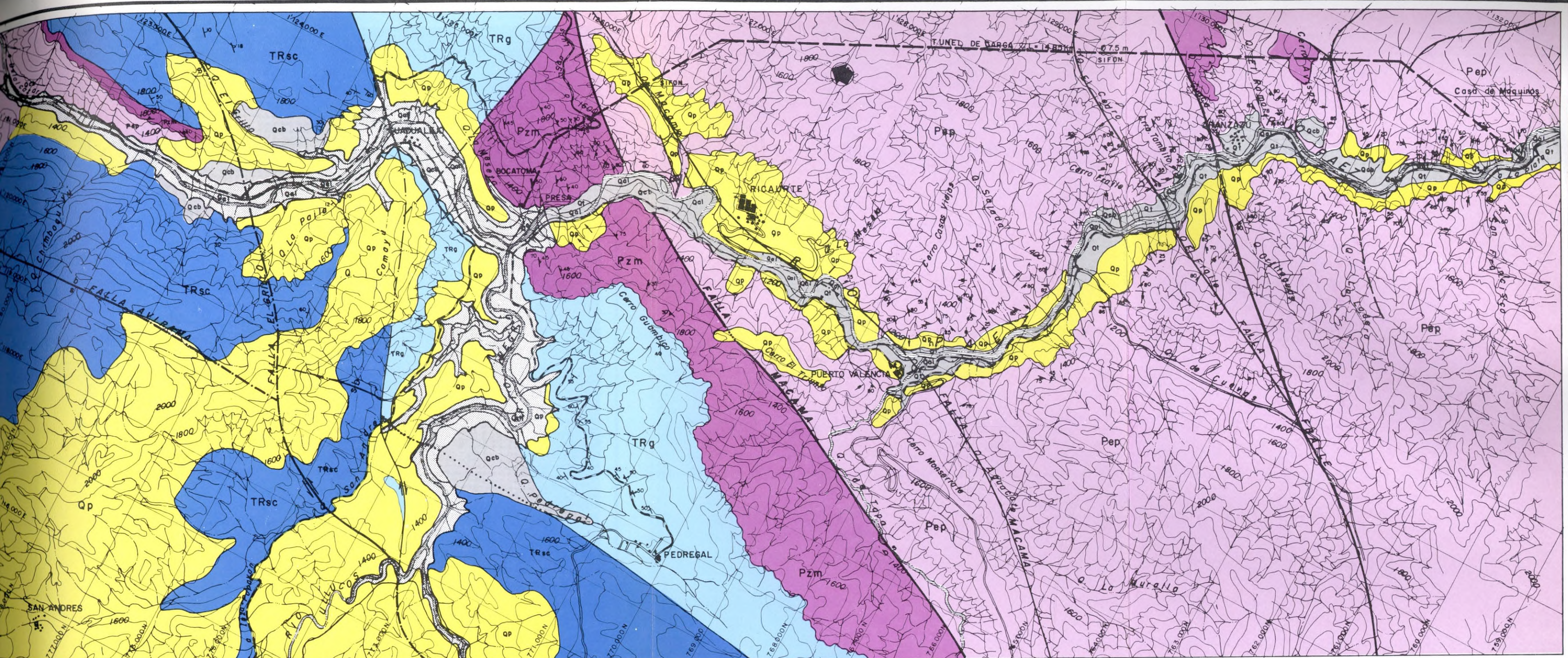
PROYECTO PAEZ - LA PLATA

PROYECTO MACAMA

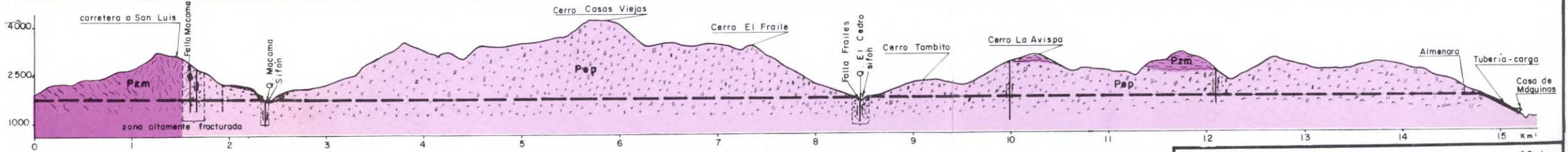
GEOLOGIA DEL SITIO DE PRESA

| | | |
|-----------------|----------|-------------------|
| Diseño: | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: G.R. | Revisó: | Aprobó: |
| Escala: gráfica | | Fecha: Abril-1983 |
| PLANO No. DE | | |

CONSULTORIA COLOMBIANA CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS



420 POLOS



CORTE GEOLOGICO K-K' A TRAVES DEL TUNEL DE CARGA

ESCALA GRAFICA
0 500 1000 1500m.

| CONVENCIONES LITOLOGICAS | |
|--------------------------|---|
| Pep | Macizo de la Plata (neises-granitos-gabros) |
| Pzm | Complejo de Macama (esquistos-cuarcitas-fobas ignimbrificas-metabasaltos) |
| TRg | Conglomerado del Guambico (aglomerado en la base-areniscas-limos intercalado niveles conglomeraticos) |
| TRsc | Formación Coquiú (shale-limos-chert-calizas-areniscas con catclasis fuerte a incipiente) |
| Qp | Piroclastos del Páez |
| Qal, Qd, Qol, Qob | Sedimentos recientes: terrazas aluviales, derrubios, aluviones y coluviones. |

| CONVENCIONES ESTRUCTURALES | |
|----------------------------|--|
| | Contacto geológico definido. |
| | Contacto geológico inferido. |
| | Contacto geológico probable. |
| | Contacto geológico discordante. |
| | Borde de terraza. |
| | Falla geológica cubierta. |
| | Falla direccional (s=sube b=baja) |
| | Fractura por acción de falla. |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasa. |
| | Rumbo y buzamiento de las capas. |
| | Rumbo y buzamiento de foliación. |
| | Diaclasa vertical. |
| | Zona de deslizamiento activo. |
| | Zona de influencia cataclástica y milonitas. |
| | Traza de túnel. |
| | Río o quebrada. |
| | Carretera. |
| | Casero o población. |

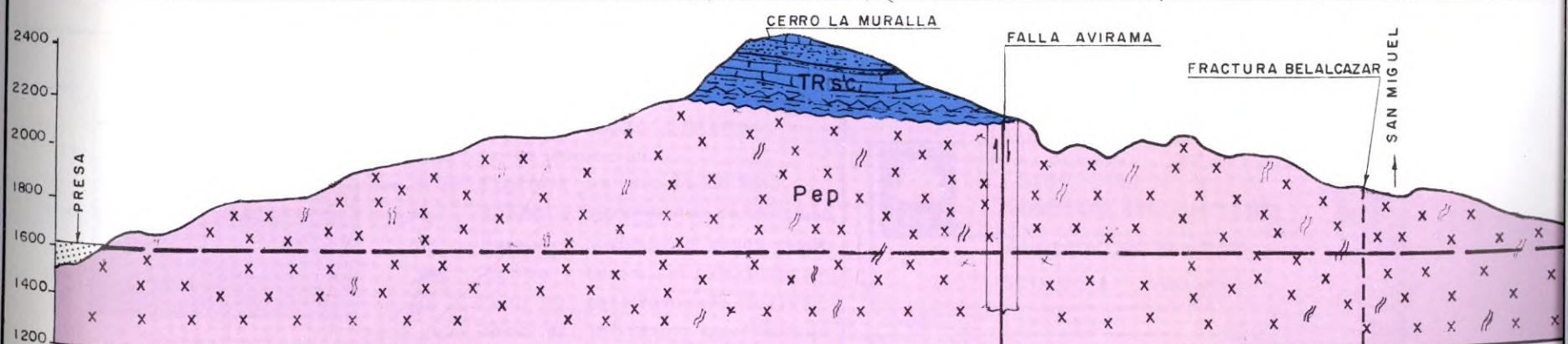
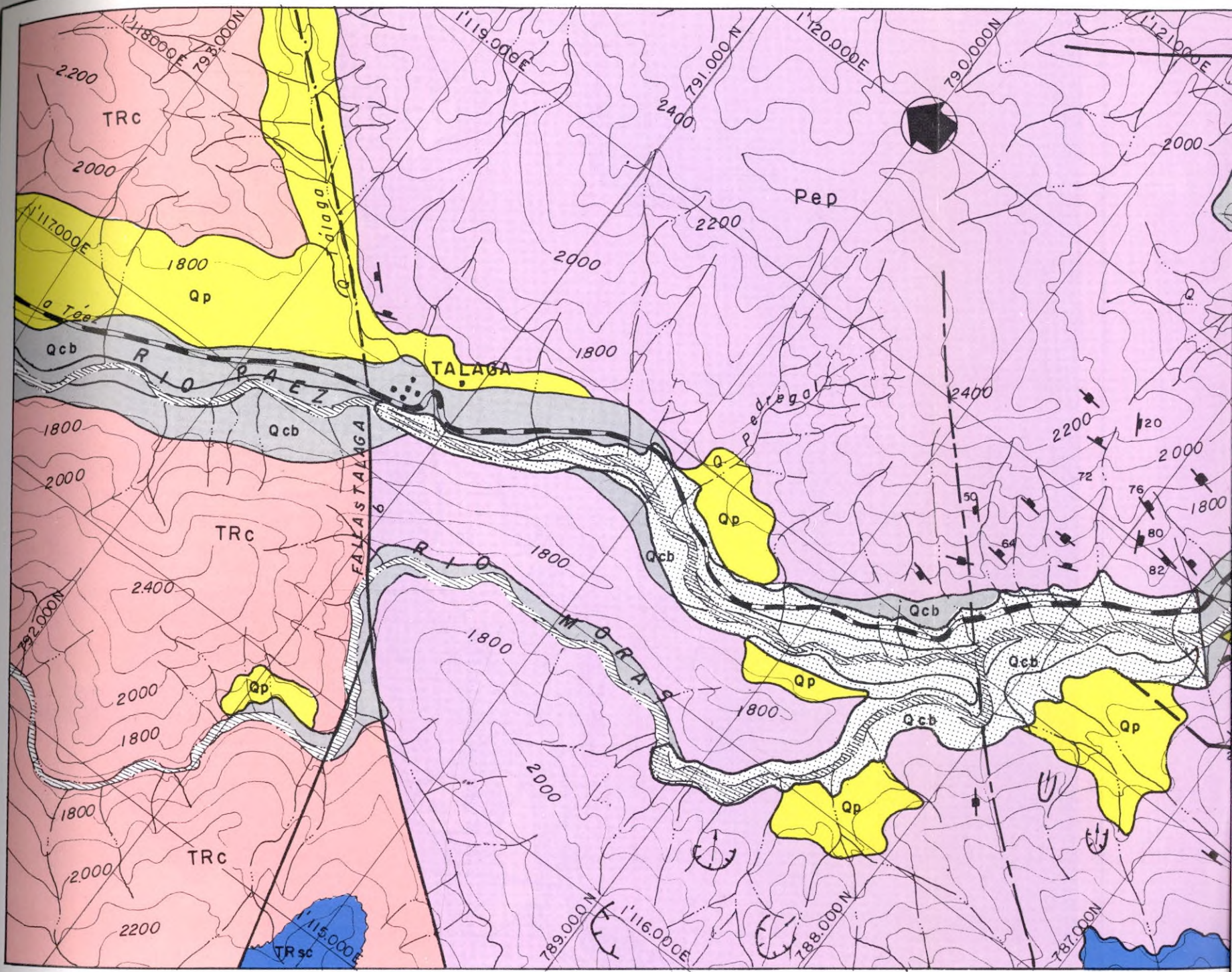
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

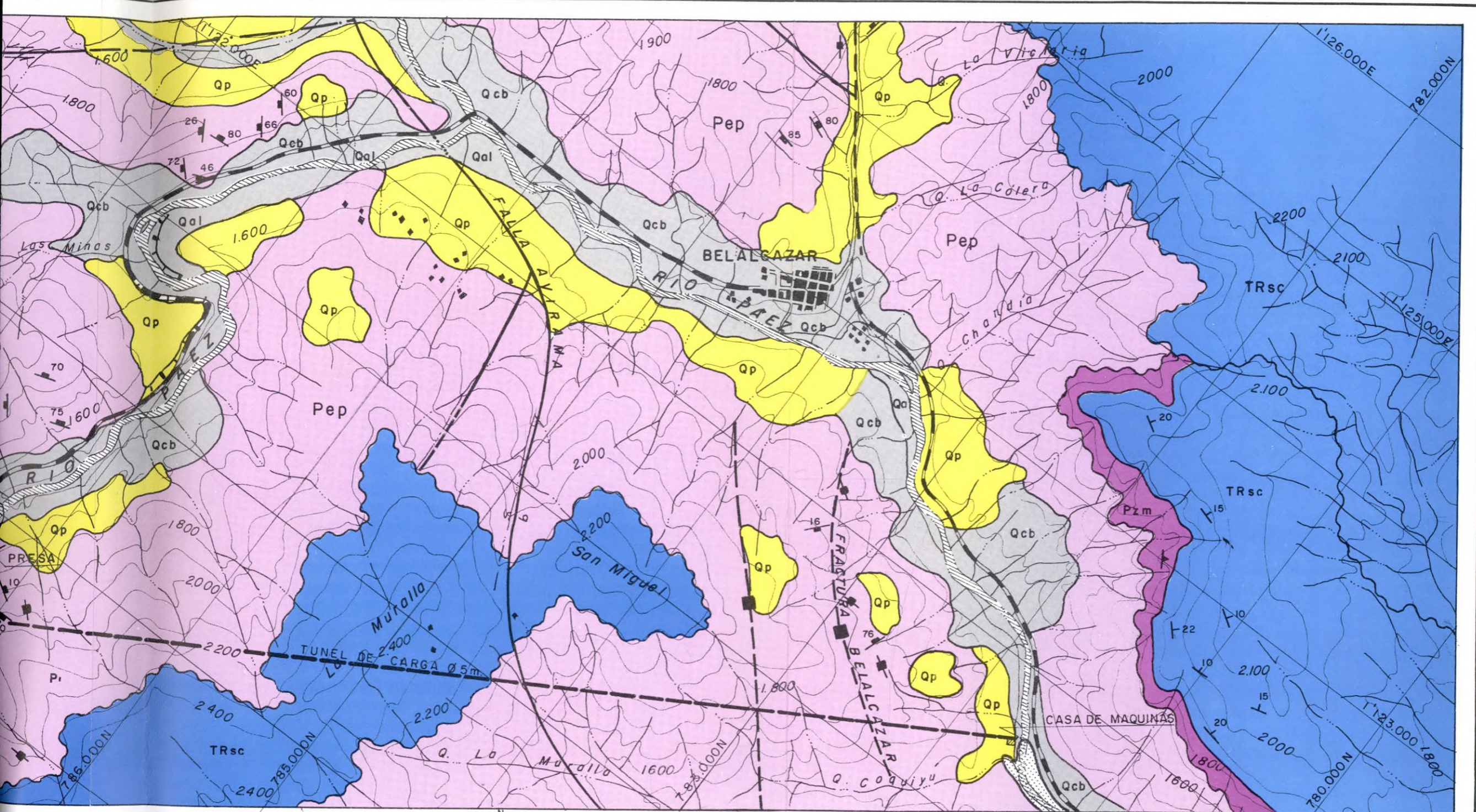
PROYECTO MACAMA
GEOLOGIA REGIONAL

| | | |
|----------------|---------|------------------|
| Diseño | Calculó | Presentó |
| Dibujó N.B.A. | Revisó | Aprobó |
| ESCALA Grafica | | Fecha Febrero-83 |
| PLANO No. DE | | |

CONSULTORIA COLOMBIANA CONSTRUCTORES CIVILES E INDUSTRIALES



CORTE GEOLOGICO A TRAVES DEL TUNEL DE CARGA



CONVENCIONES LITOLÓGICAS

| | |
|--|-------------------------|
| | Macizo de la Plata. |
| | Complejo Macama. |
| | Formación Coquiú. |
| | Granito de Coetandillo. |
| | Formación Saldaña. |
| | Piroclásticos del Paez. |
| | Coluviales y aluviales |



CONVENCIONES ESTRUCTURALES

| | |
|--|--|
| | Contacto geológico definido. |
| | Contacto geológico discordante. |
| | Falla geológica cubierta. |
| | Falla direccional. |
| | Fractura por acción de falla. |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasa. |
| | Rumbo y buzamiento de las copas. |
| | Rumbo y buzamiento de foliación. |
| | Zona de deslizamiento activo. |
| | Zona de influencia cataclástica y milonitas. |
| | Trazo de tunel. |

icel INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

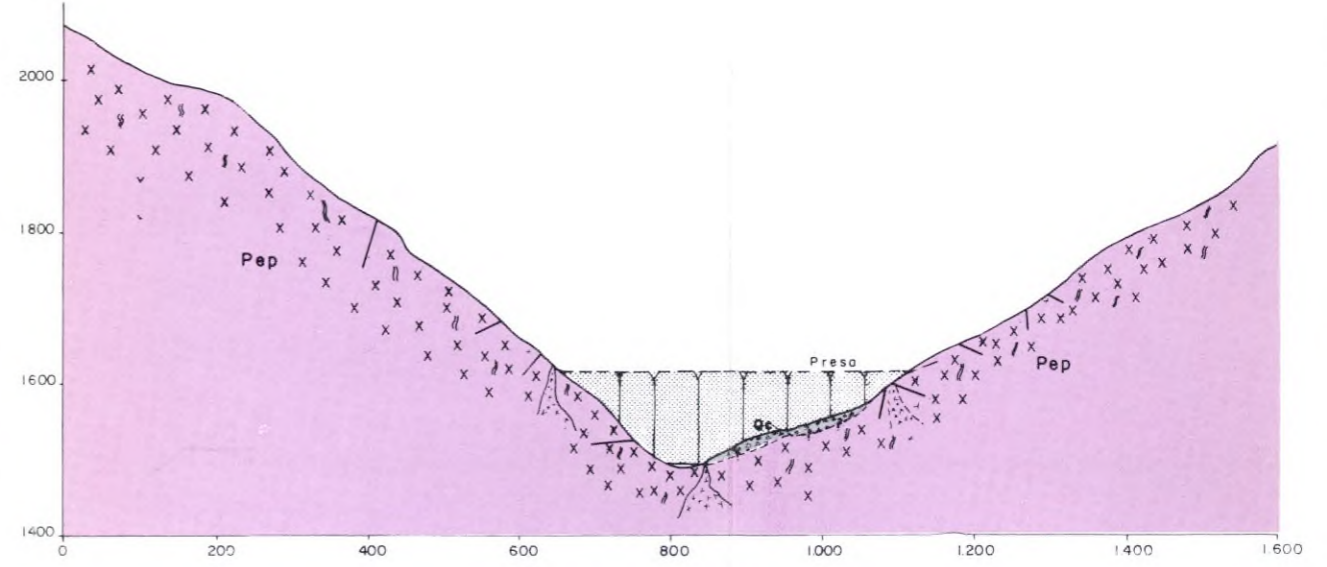
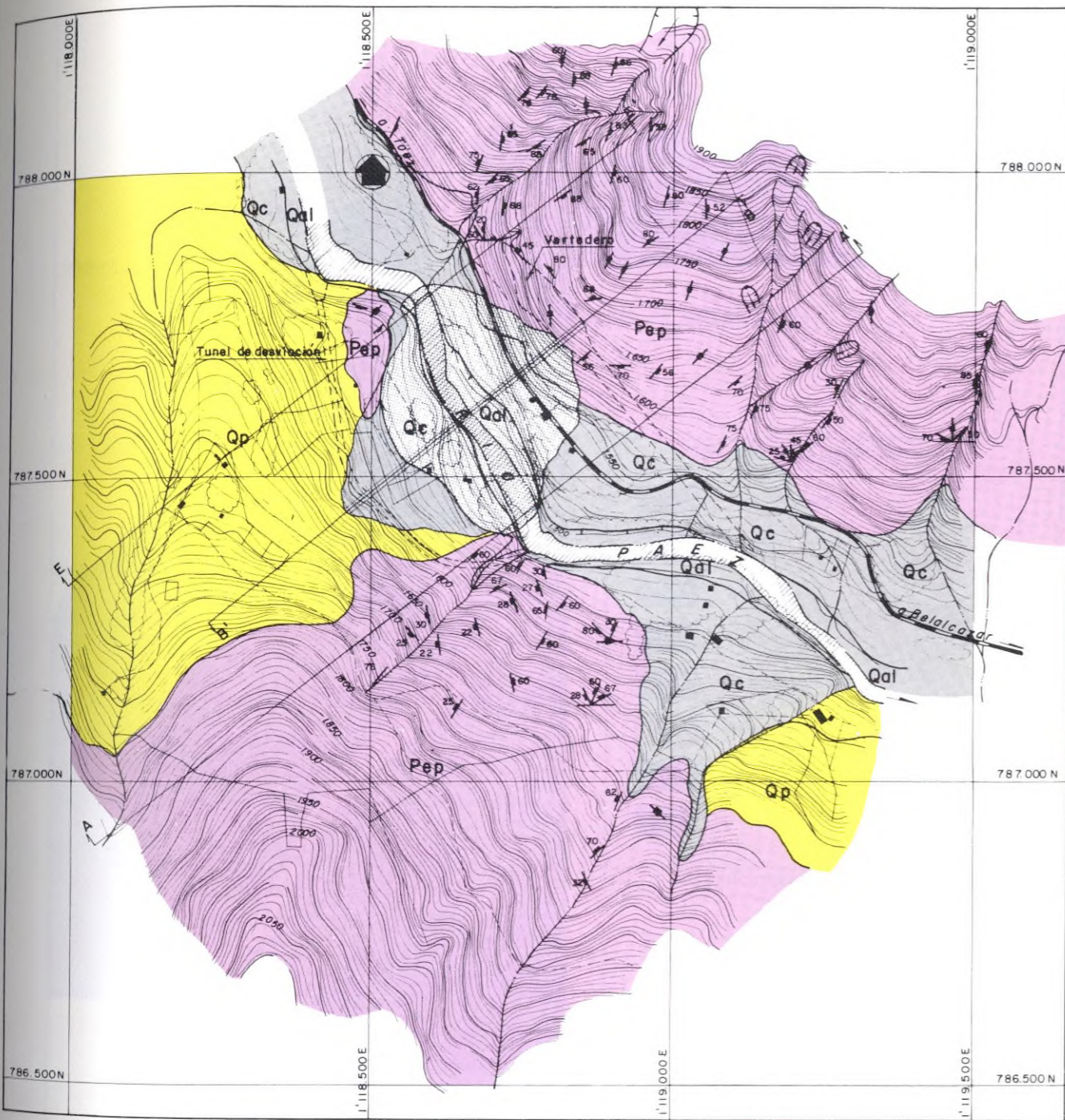
PROYECTO PIEDRA GRANDE

GEOLOGIA REGIONAL

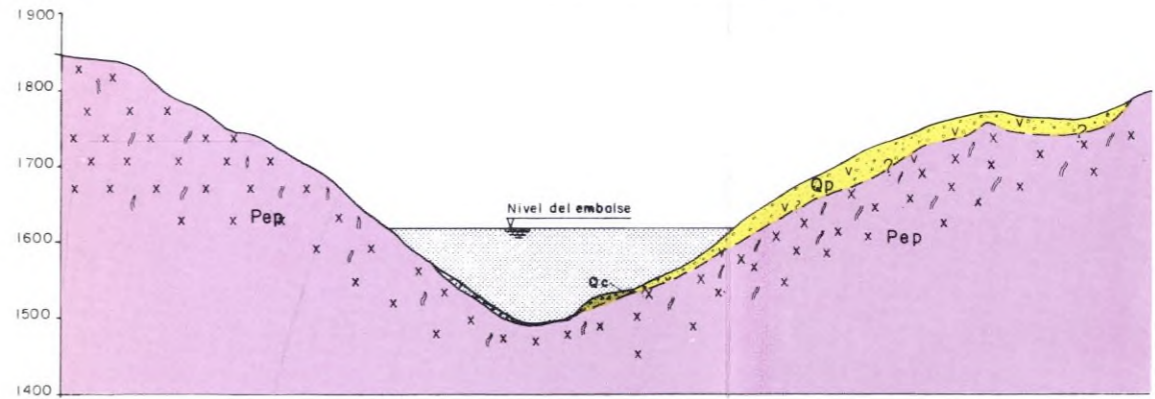
| | | |
|----------------|----------|-----------|
| Diseño: | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: N.B.A. | Revisó: | Aprobó: |

Escala: 1:25,000
Fecha: Abril/83

consultoria colombiana
consultoras civiles e hidráulicas



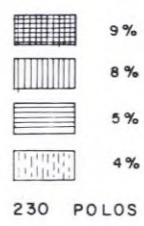
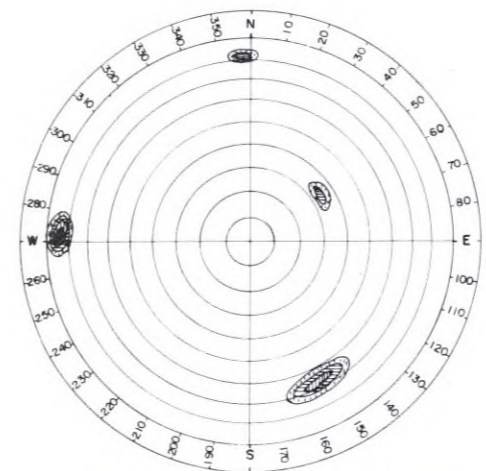
CORTE GEOLOGICO A-A'



CORTE GEOLOGICO B-B'



ESCALA GRAFICA



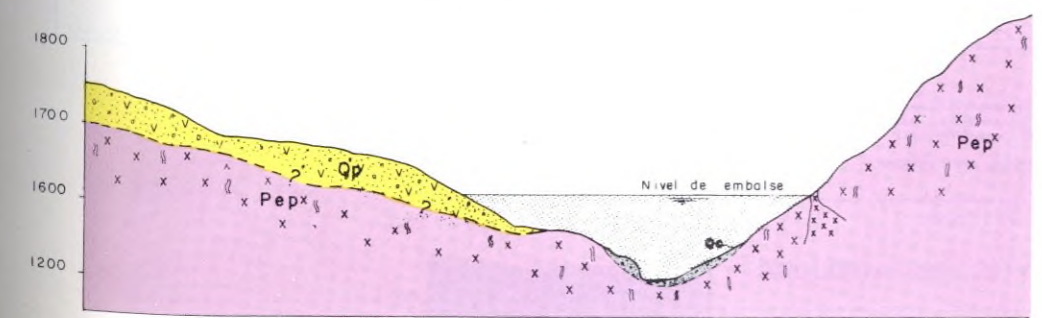
230 POLOS

| CONVENCIONES ESTRUCTURALES | |
|----------------------------|---------------------------------|
| | Contacto geológico definido |
| | Contacto geológico inferido |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasa. |
| | Diaclasa vertical. |
| | Zona de deslizamiento activo. |
| | Río ó quebradas. |
| | Curva de nivel |
| | Carretera. |
| | Embalse |

| CONVENCIONES LITOLÓGICAS | |
|--------------------------|------------------------|
| | Macizo de La Plata |
| | Coluviones |
| | Piroclásticos del Páez |
| | Aluviones |

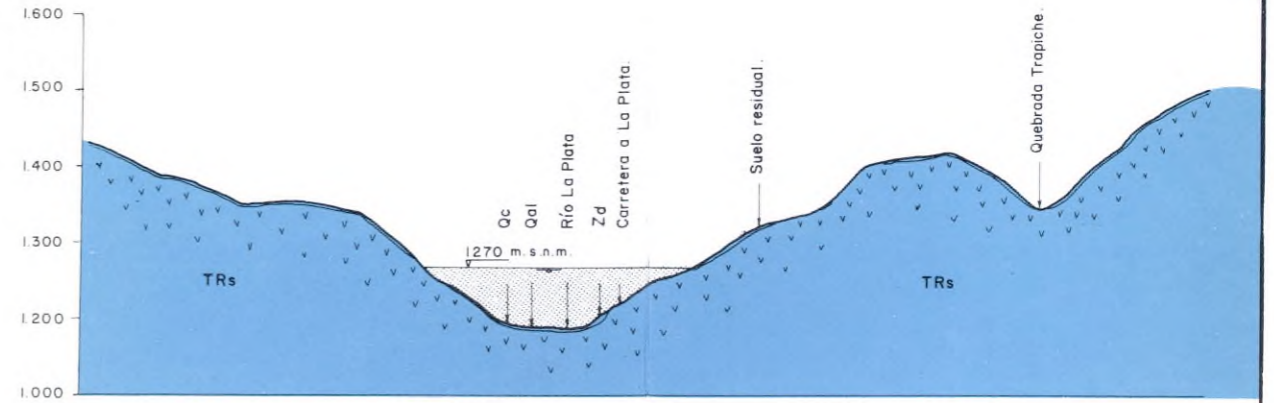
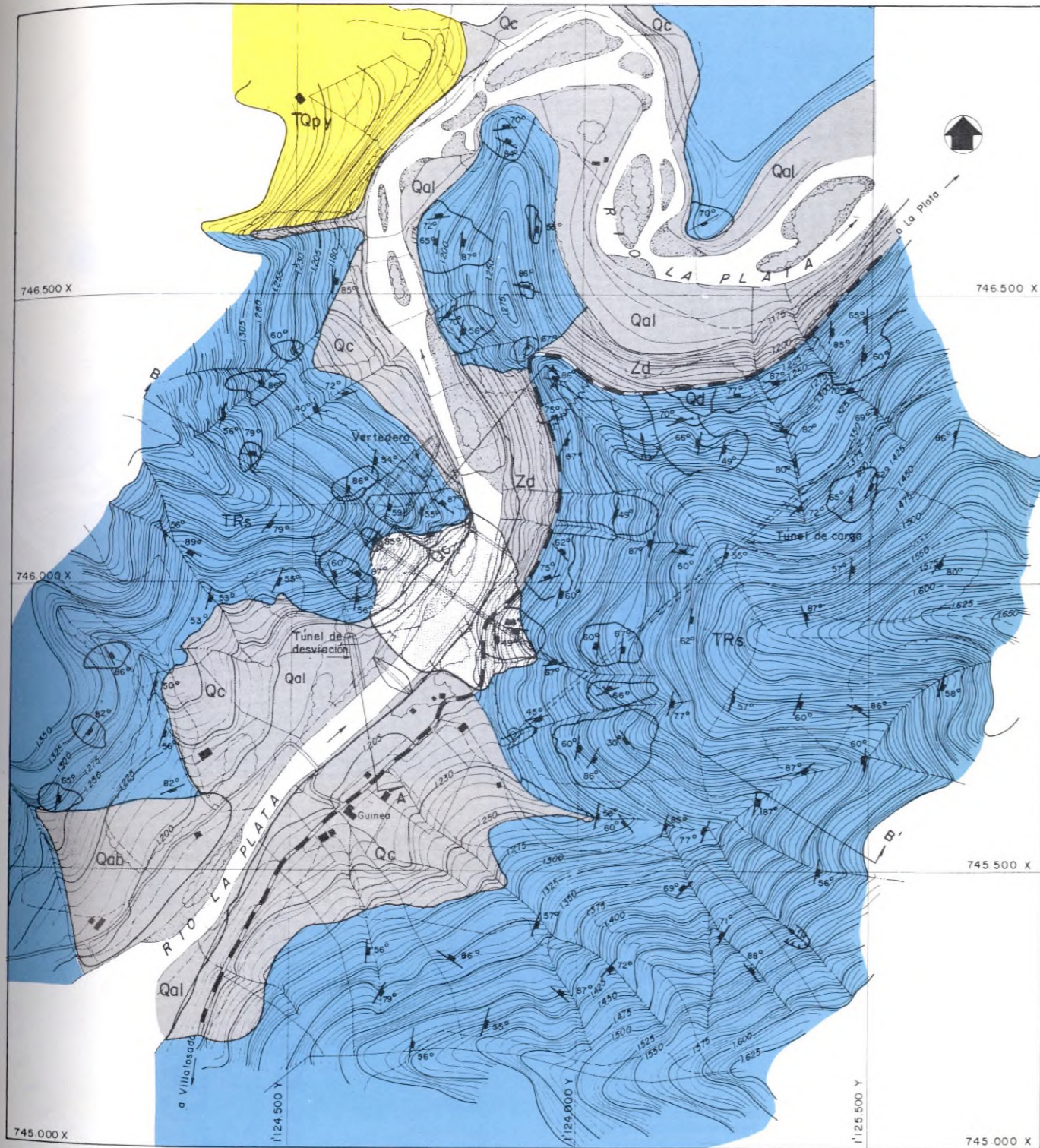
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRICIDADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ-LA PLATA
PROYECTO PIEDRA GRANDE
GEOLOGIA DEL SITIO DE PRESA

| | | |
|------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Diseño | Calculó | Presentó |
| Dibujó N.B.A. de J. | Revisó | Aprobó |
| CONSULTORIA COLOMBIANA | ESCALA grafica | Fecha Abril-1983 |
| PLANO No. DE | | CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS |



CORTE GEOLOGICO E-E'

DIAGRAMA POLAR DE DIACLASAS



CORTE GEOLOGICO B-B' LONGITUDINAL AL EJE DE PRESA

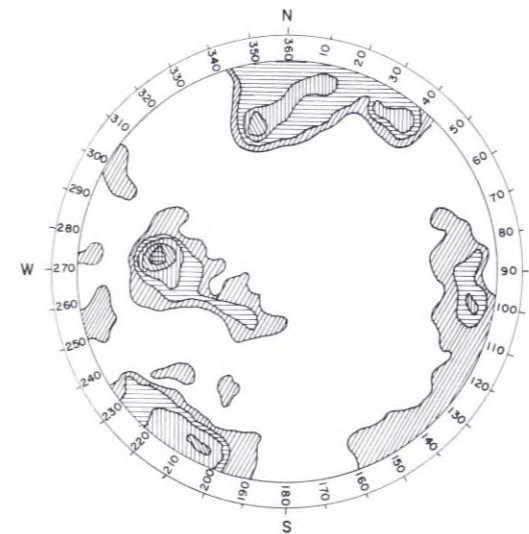
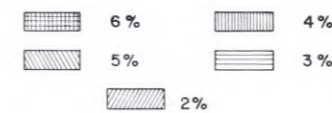
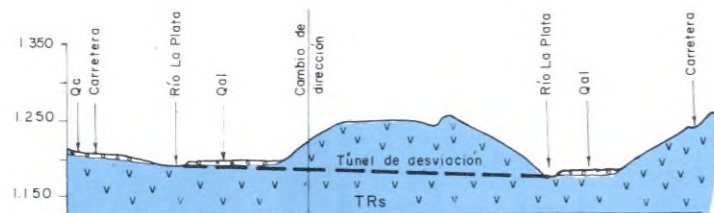


DIAGRAMA POLAR DE DIACLASAS



385 Polos

| CONVENCIONES LITOLÓGICAS | |
|------------------------------|--------------------------------|
| | Zona de desechos |
| | Aluvión |
| | Derrubios |
| | Coluvión |
| | Abanicos aluviales |
| | Formación Popayán |
| | Formación Saldaña |
| | Roca desnuda |
| Cubierta por suelo residual. | |
| CONVENCIONES ESTRUCTURALES | |
| | Contacto geológico |
| | Zona de cizalla |
| | Zona de deslizamiento activo |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasa |
| | Zona de embalse |
| | Ríos y quebradas |
| | Carretera |



CORTE GEOLOGICO A-A' LONGITUDINAL AL TUNEL DE DESVIACION



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

PROYECTO GUINEA

GEOLOGIA DEL SITIO DE PRESA

| | | |
|-----------------|-------------------|-----------|
| Diseñó: L. C. | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: | Revisó: | Aprobó: |
| ESCALA: Gráfica | Fecha: Abril - 83 | |
| PLANO N.º DE | | |

CONSULTORIA COLOMBIANA CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

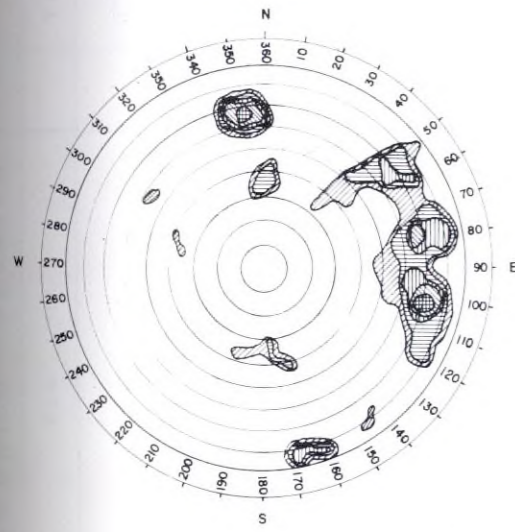
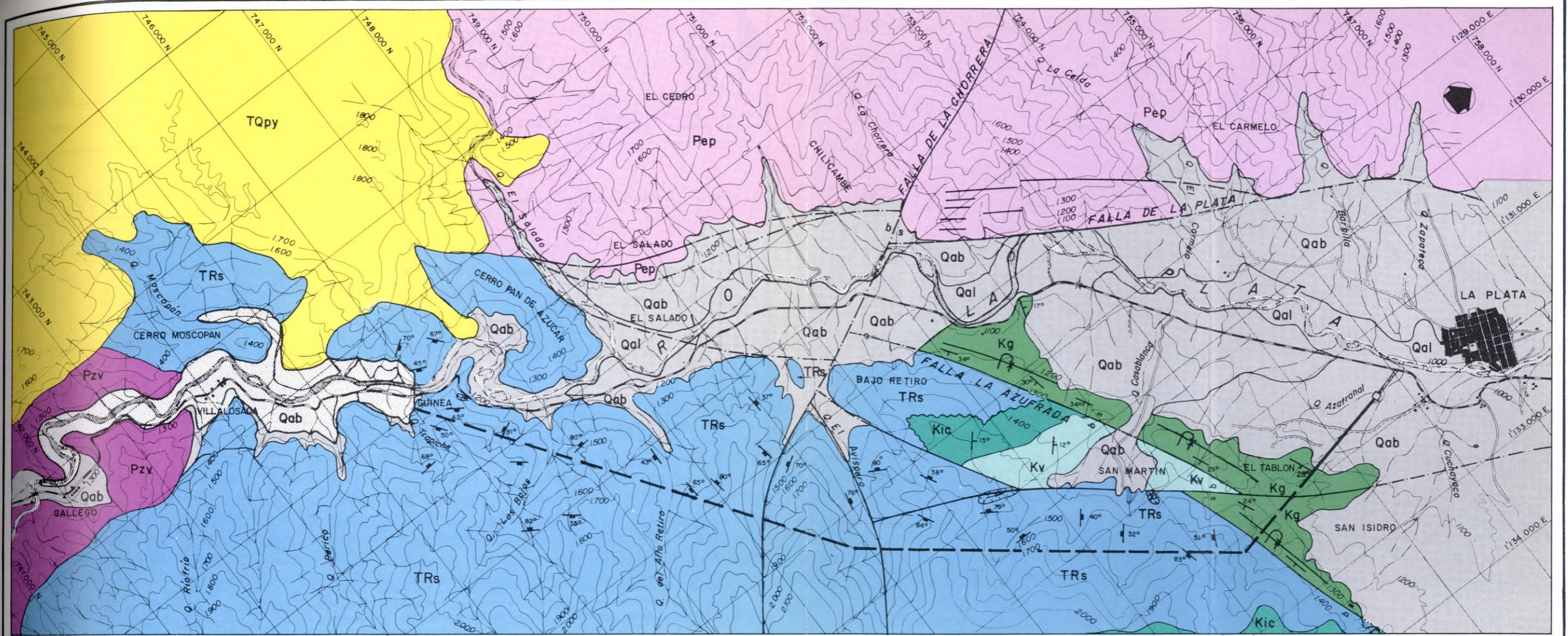
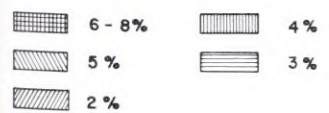
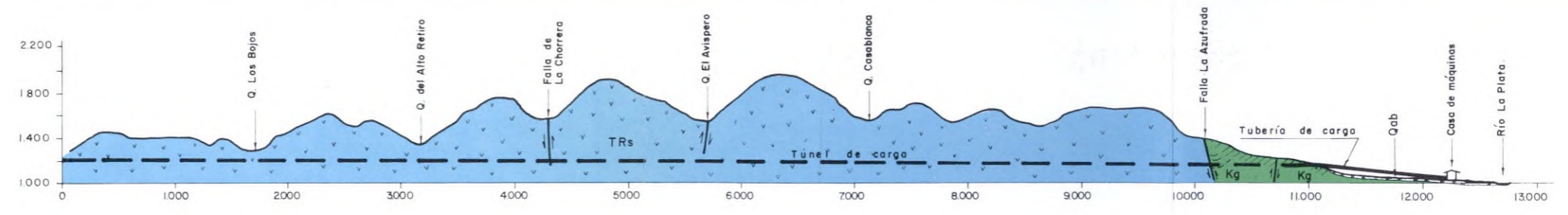


DIAGRAMA POLAR DE DIACLASAS



250 polos



CORTE GEOLOGICO LONGITUDINAL DEL TUNEL Y TUBERIA DE CARGA

| CONVENCIONES LITOLOGICAS | |
|--------------------------|--|
| | Aluviones - cantos - gravas - arenas. |
| | Abanico aluvial: bloques - cantos - gravas - arenas - limos. |
| | Formación Popayán: flujos de lavas - aglomerados. |
| | Formación Guadalupe: Calizas - lutitas - chert. |
| | Formación Villeta: Calizas - lutitas. |
| | Formación Caballos Areniscas. |
| | Formación Saldaña: ignimbritas. |
| | Granito gráfico de Villalosa. |
| | Complejo Migmatítico de La Plata. Granitos - neises. |

| CONVENCIONES ESTRUCTURALES | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| | Contacto geológico definido |
| | Discordancia. |
| | Falla direccional (s = Sube b = Baja) |
| | Falla asumida |
| | Sinclinal invertido |
| | Rumbo y buzamiento de diaclasa. |
| | Rumbo y buzamiento de las capas |
| | Zona de deslizamiento activo. |
| | Trazo de túnel |



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ LA PLATA

PROYECTO GUINEA

GEOLOGIA REGIONAL

| | | |
|------------------------|----------|-----------------------------------|
| Diseñó: H. P. | Calculó: | Presentó: |
| Dibujó: G.R. | Revisó: | Aprobó: |
| Escala: gráfica | | Fecha: Abril - 83 |
| CONSULTORIA COLOMBIANA | | CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS |
| PLANO No. DE | | |

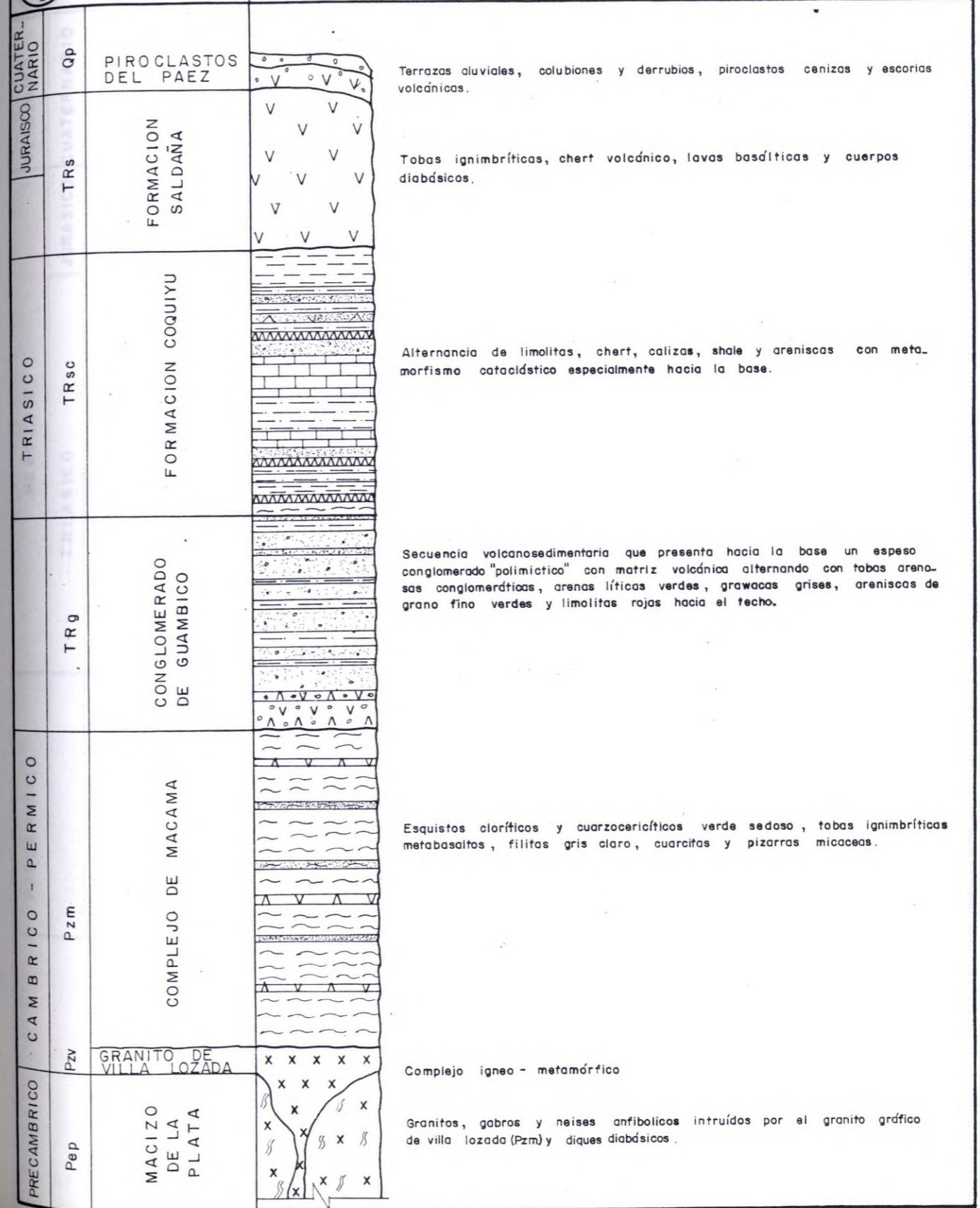
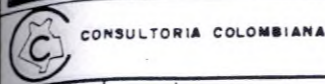


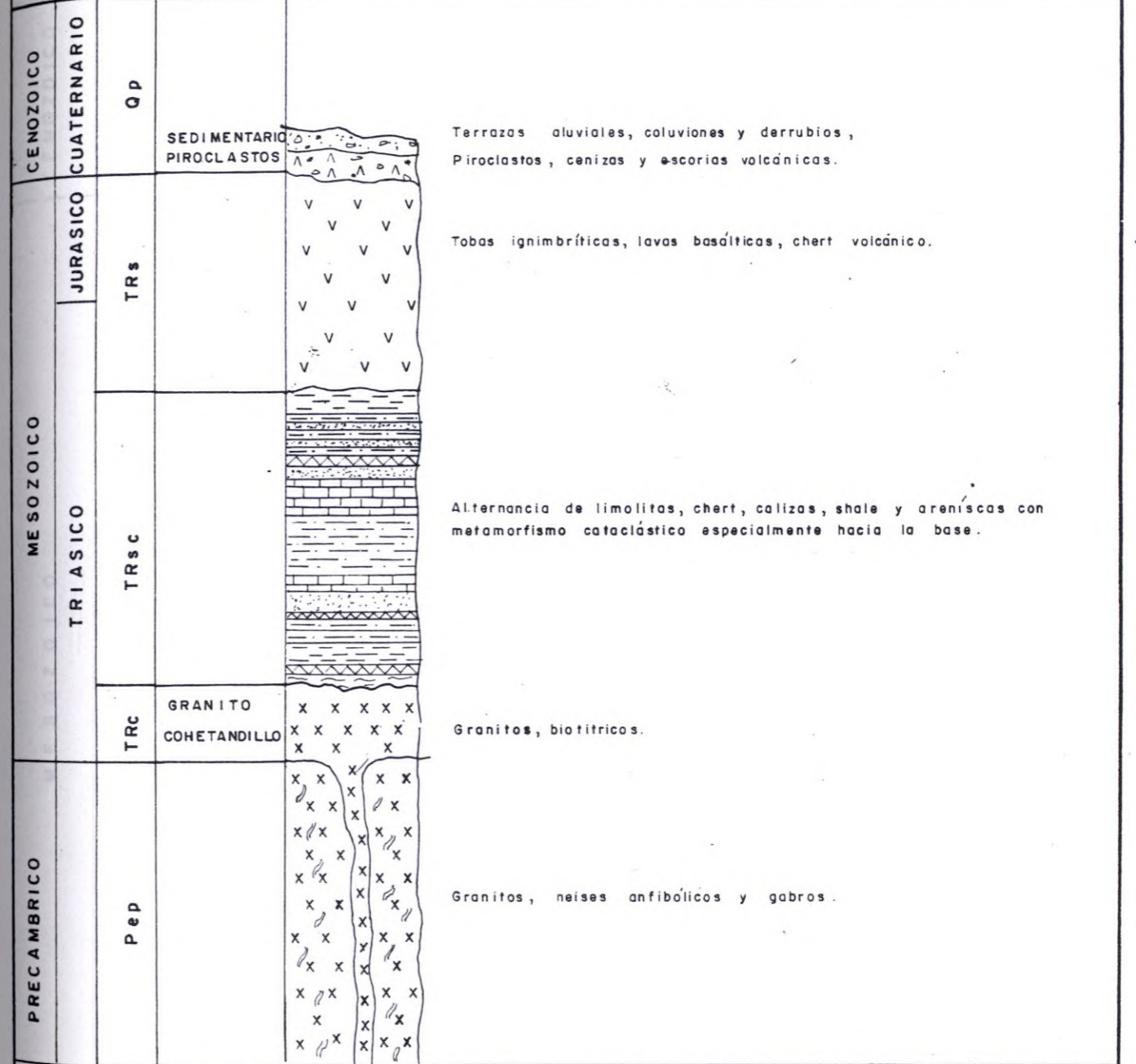
FIGURA 12



PROYECTO PAEZ - LA PLATA



PROYECTO PIEDRA GRANDE
COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA



Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA



CONSULTORIA COLOMBIANA

PROYECTO GUINEA
COLUMNA ESTATIGRAFICA GENERALIZADA

CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HULLA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA

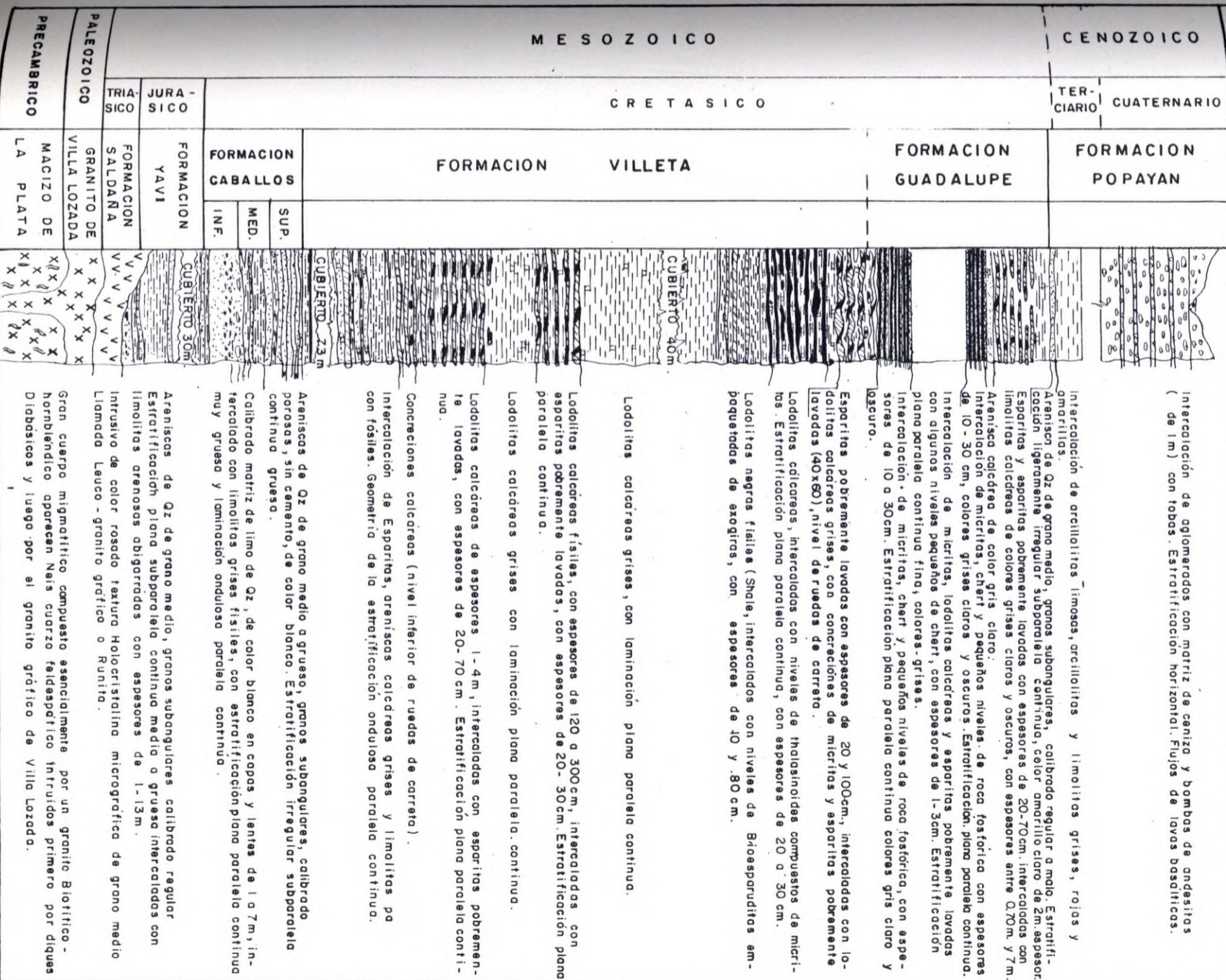


FIGURA 14

INDICE

MEZOSÓICO

CENOZOICO



FOTOGRAFÍAS

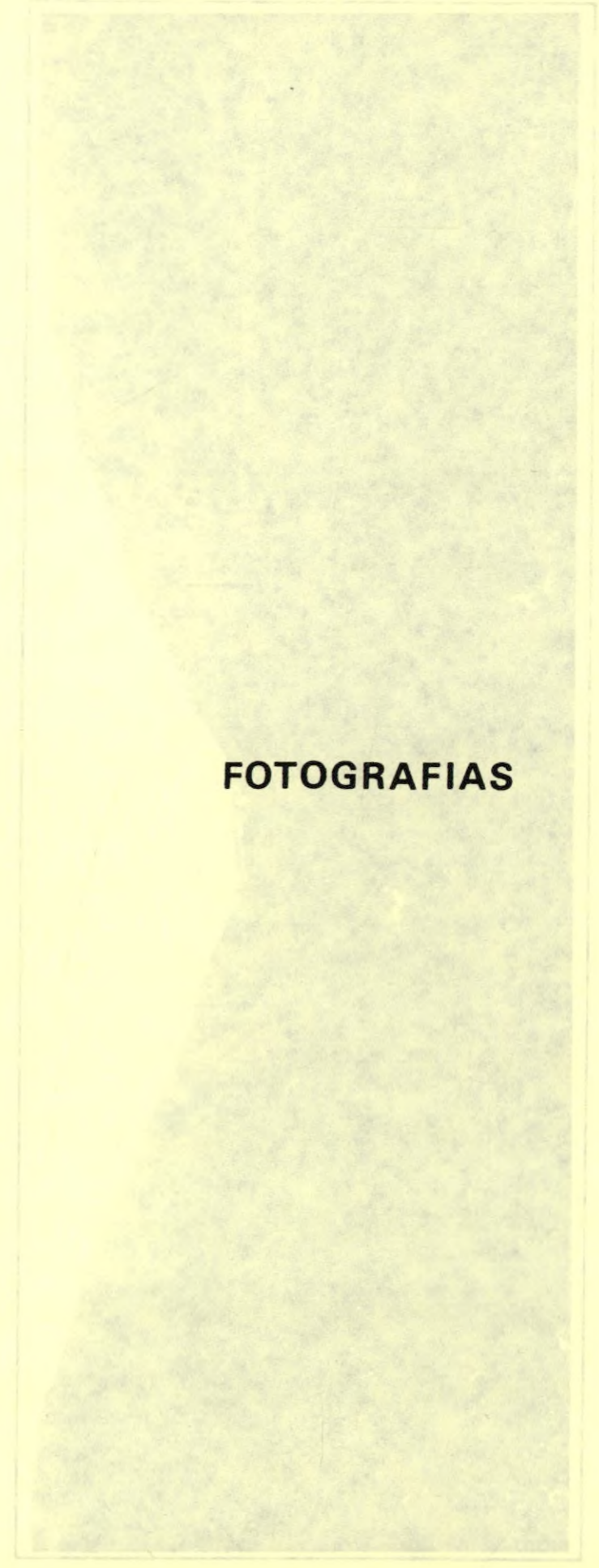


FOTO 1. Muestra sitio de cristo proyecta. Poicoi (A) visto desde aguda abajo. Formación Sancha (Tf) Formación Sancha (Tf).
Depósitos: Fobaco sedimentarios (QTs).

FOTODRAPHIS

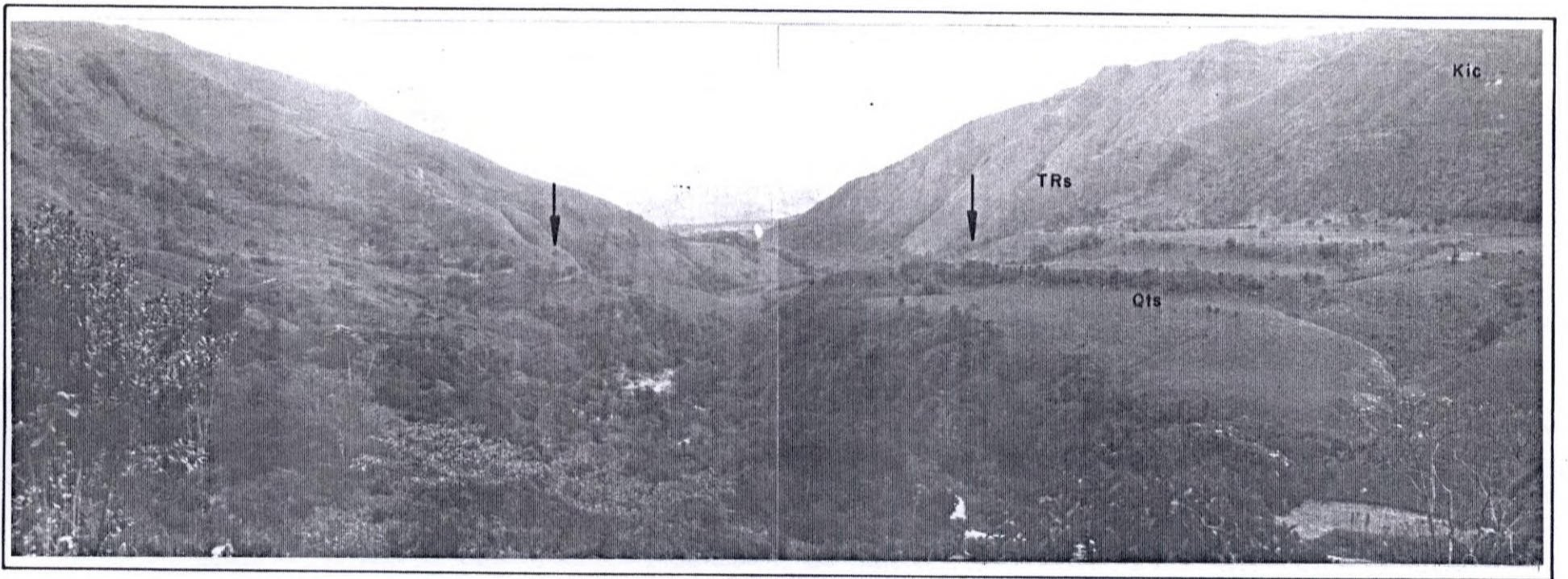


FOTO - 1. Muestra sitio de presa proyecto Paicol (↙) vista hacia aguas abajo Formación Saldaña (TRs), Formación Caballos (Kic), Depósitos tobáceo-sedimentarios (Qts).

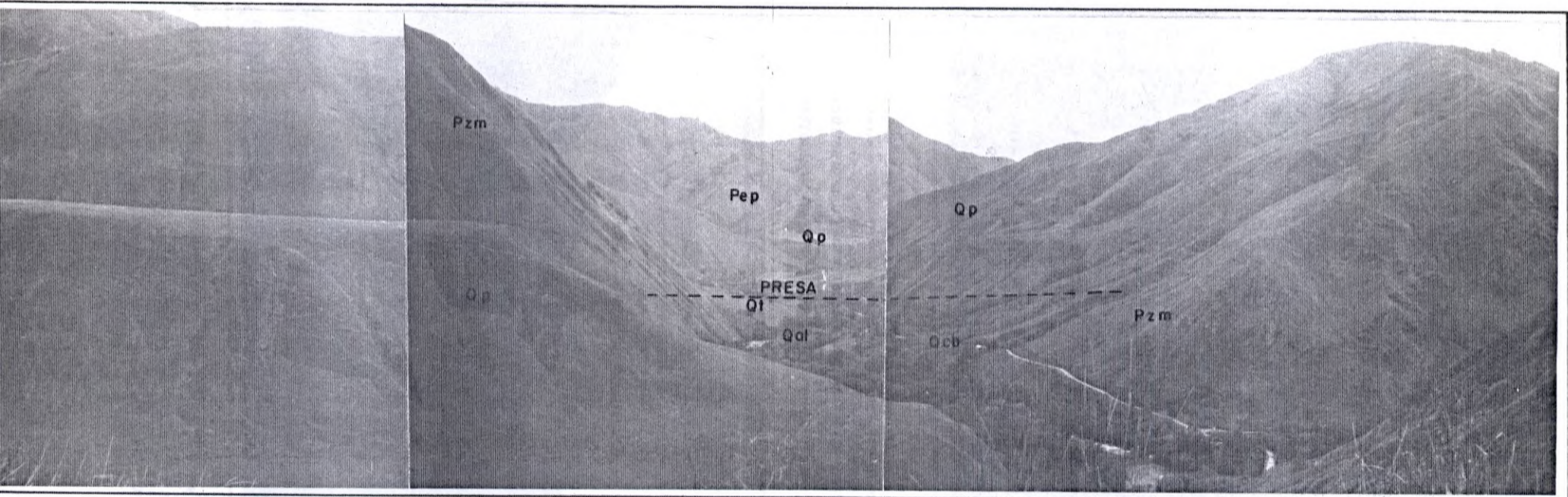


FOTO - 2. Muestra sitio de presa Proyecto Macama . Vista hacia aguas abajo . Qal = Aluvión . Qcb = Coluvión . Qt = Terrazas . Pzm = Complejo de Macama - Pep = Macizo de La Plata . Qp = Piroclastos . del Páez .

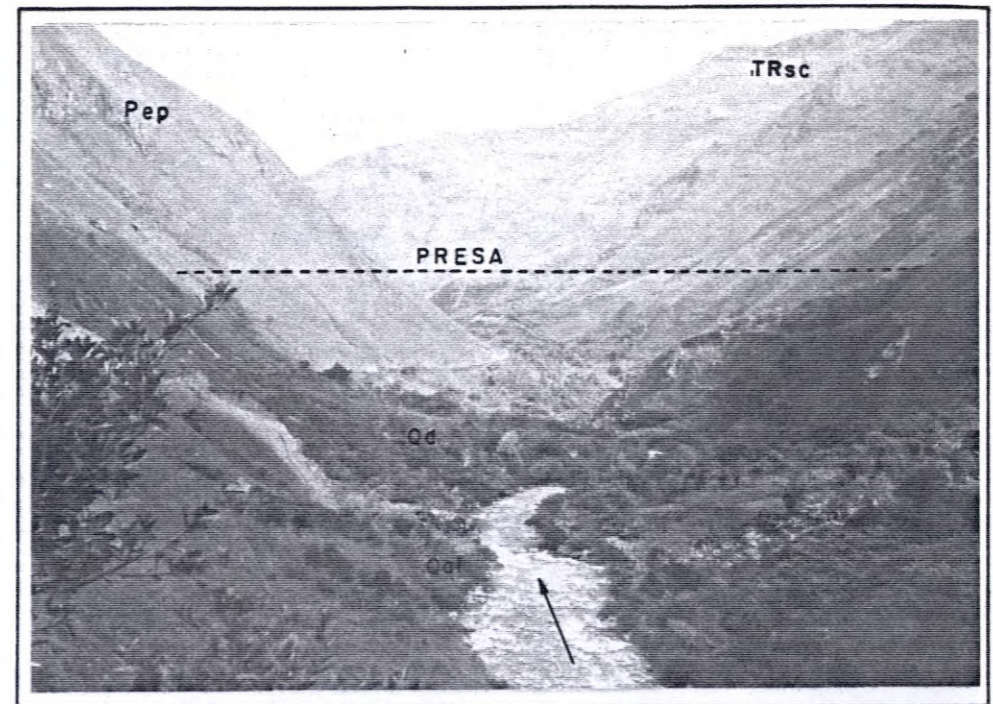


FOTO-3.- Tomada de NW-SE. Muestra el sitio de presa Piedra Grande, donde se observa el estado de la roca (Pep), la cobertura sedimentaria; formación Coquiú (TRsc) y los depósitos recientes de derrubios (Qd), piroclastos (Qp) y aluviones (Qal).

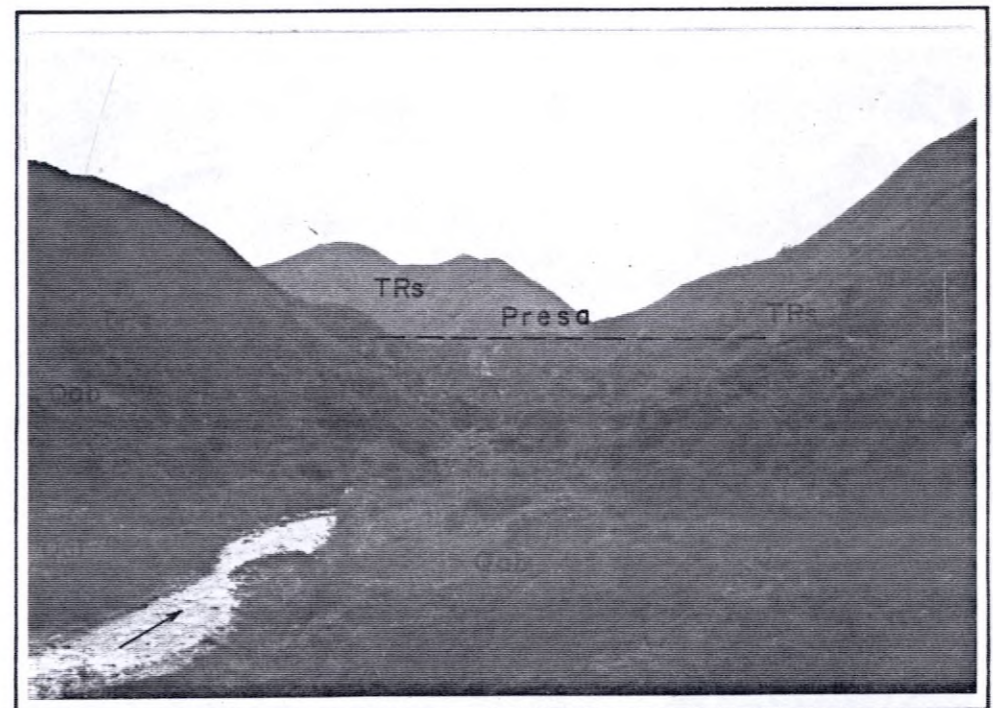


FOTO 4.-Muestra sitio de presa Proyecto Guinea tomada hacia aguas abajo. Formación Saldaña (TRs) depósitos de abanico aluvial (Qab) y aluviales.(Qal).

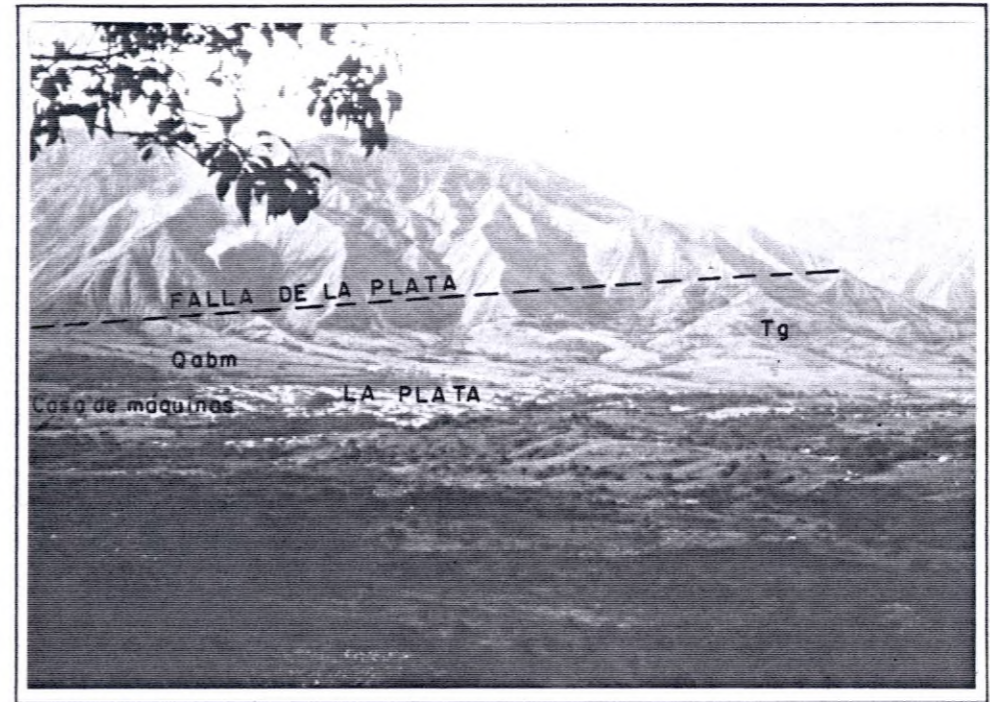


FOTO 5.- Lineamiento de falla de La Plata, que pone en contacto el macizo de La Plata (Pep) con la Formación Gualanday (Tg), se observan depósitos de abanico aluvial (Qab), la población de La Plata y sitio de Casa de Máquinas.



FOTO 6.- Estructura flebitica; venas graníticas (Neosomas) cortando irregularmente los neises anfibólicos (Paleosomas) observables en el Macizo de La Plata (Pep).



FOTO 7._ Estructura "boudinage". Paleosomas de roca neisica (oscuro) que han sufrido ruptura especialmente por dilatación y sus espacios rellenos de material nuevo Neosoma granítico observables en el Macizo de La Plata.



FOTO 8._ Estructura "Estromática" de Paleosomas oscuros anfibolicos y Neosomas Graníticos de espesores irregulares. Observables en el Macizo de La Plata (Pep).

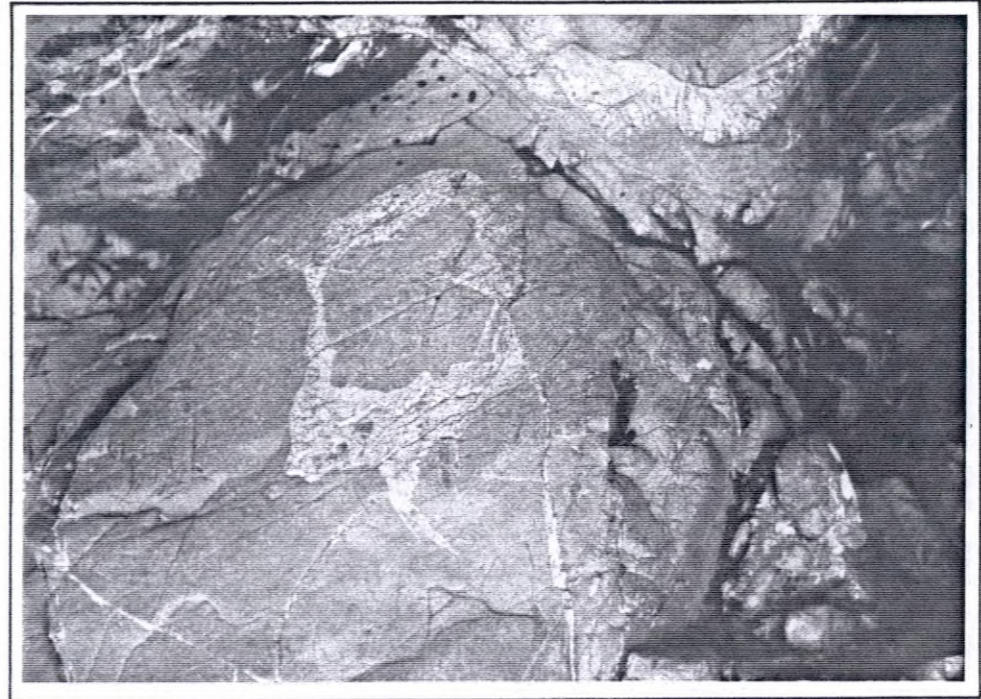


FOTO 9. _ Muestra estructura migmatítica "agmática", en un neis gabbroideo con un fragmento redondeado por un neosoma granítico.

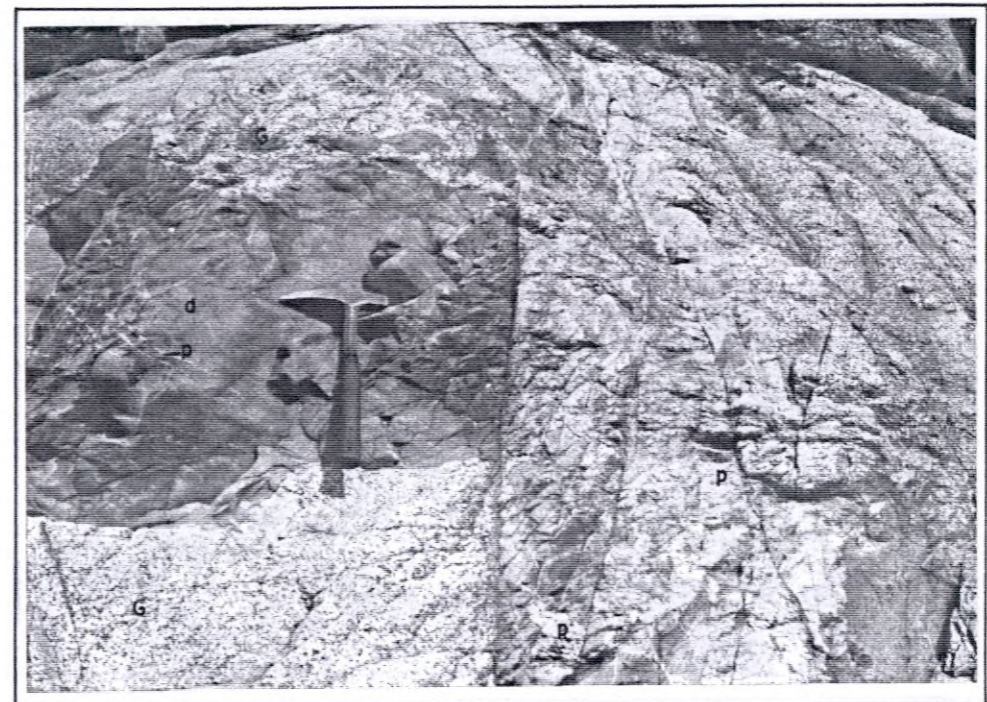


FOTO 10. _ Muestra rocas graníticas (G) del Macizo de La Plata (Pep) cortado por diques diabásicos (d) y pegmatíticos, observables en la Quebrada El Salado.

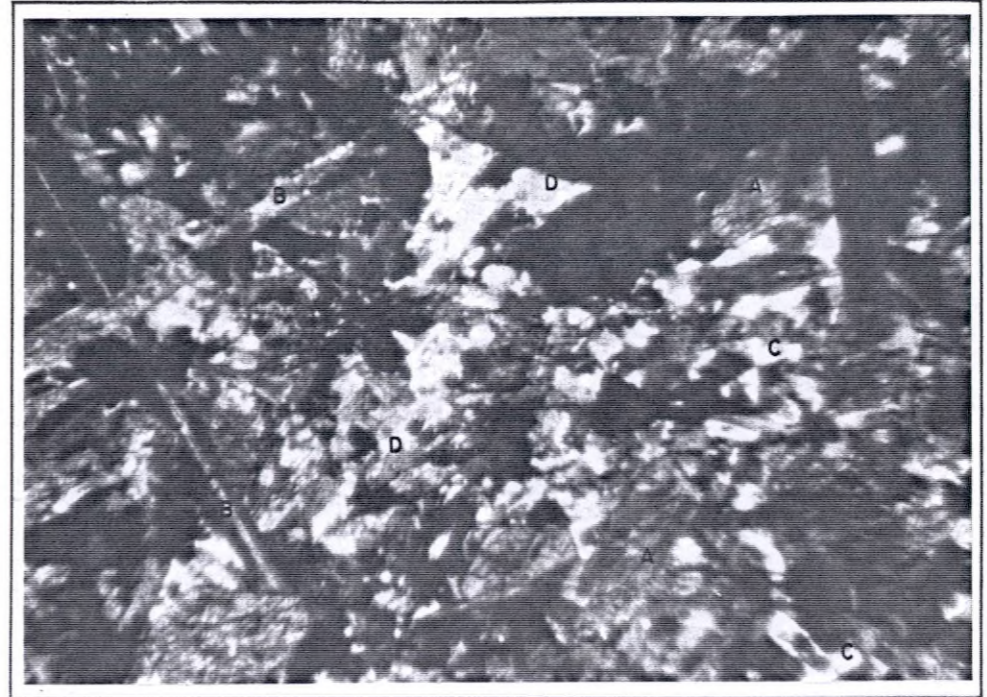


FOTO 11.- Muestra detalle foto 10.

Diabasa. A = 3.5 x Nx prismas gruesos (A) (B) de hornblendas asociadas con cuarzo intersticial (C), feldespatos maclados (D), y epidotas pequeñas (E).

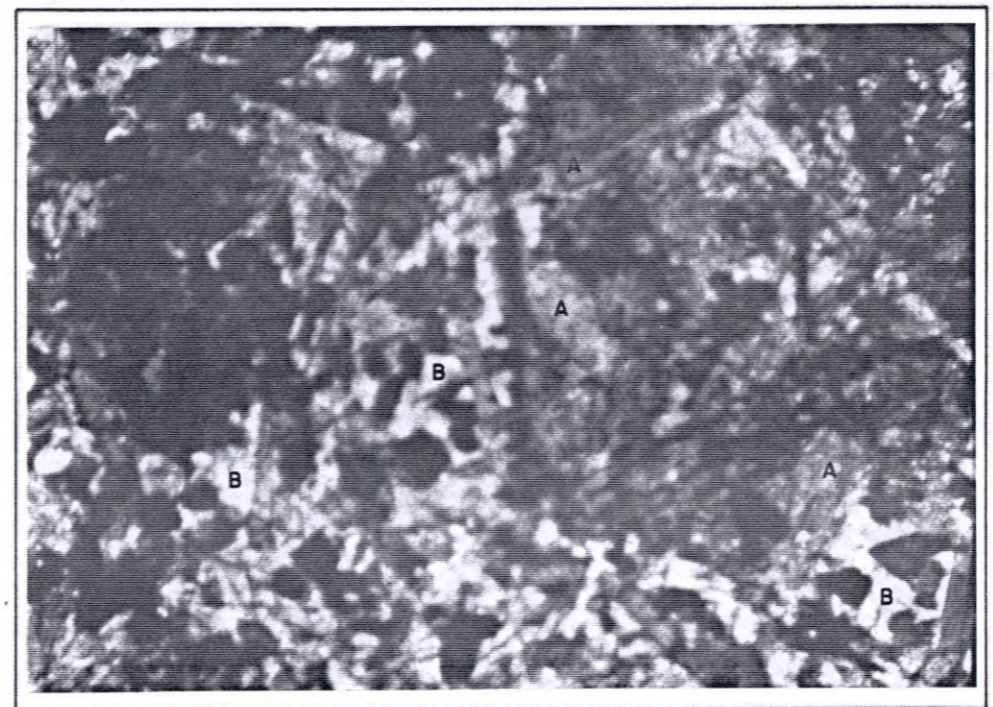


FOTO 12.- Muestra detalle.

Lamprofiro variedad vogesita que corta el Macizo de La Plata
A = 10 x Nx. (A) Kersusita = Hornblenda basáltica. (B) Feldespatos.

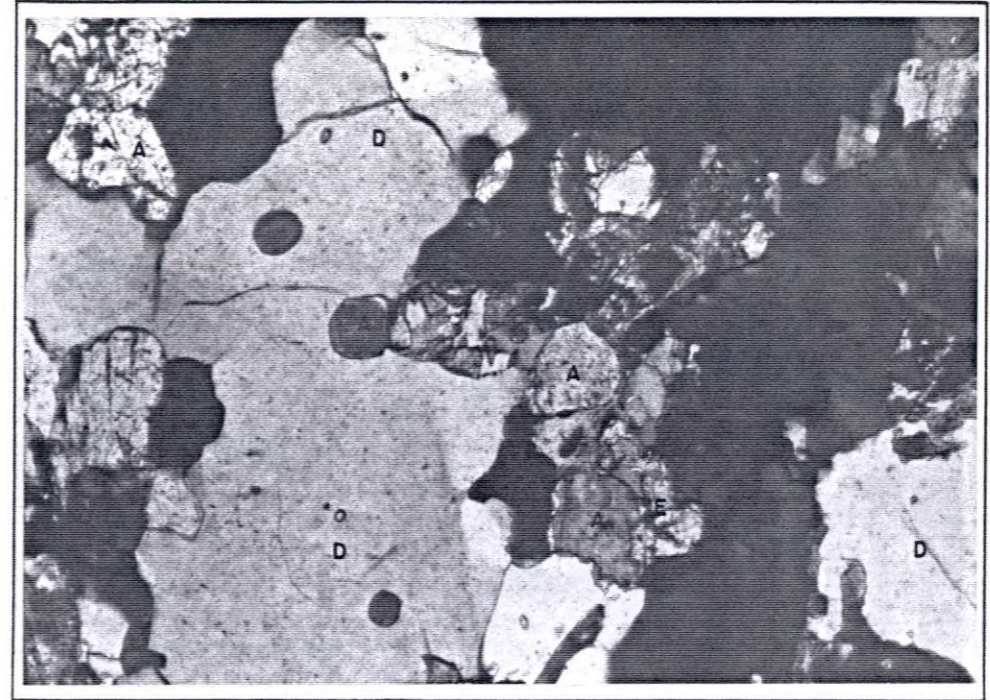


FOTO 13. — Muestra detalle.

Neis cuarzo feldespático "facie granulita". A = 10x Nx = típica asociación granulita. (A) Piroxeno tipo diopsida, (B) Granate, (C) Feldespato, (D) Cuarzo, (E) Calcita.



FOTO 14. — Tomada de NW - Se muestra diaclasamiento de rumbo 234/86 en neises del Macizo de La Plata. Márgen derecha del río Pdez.

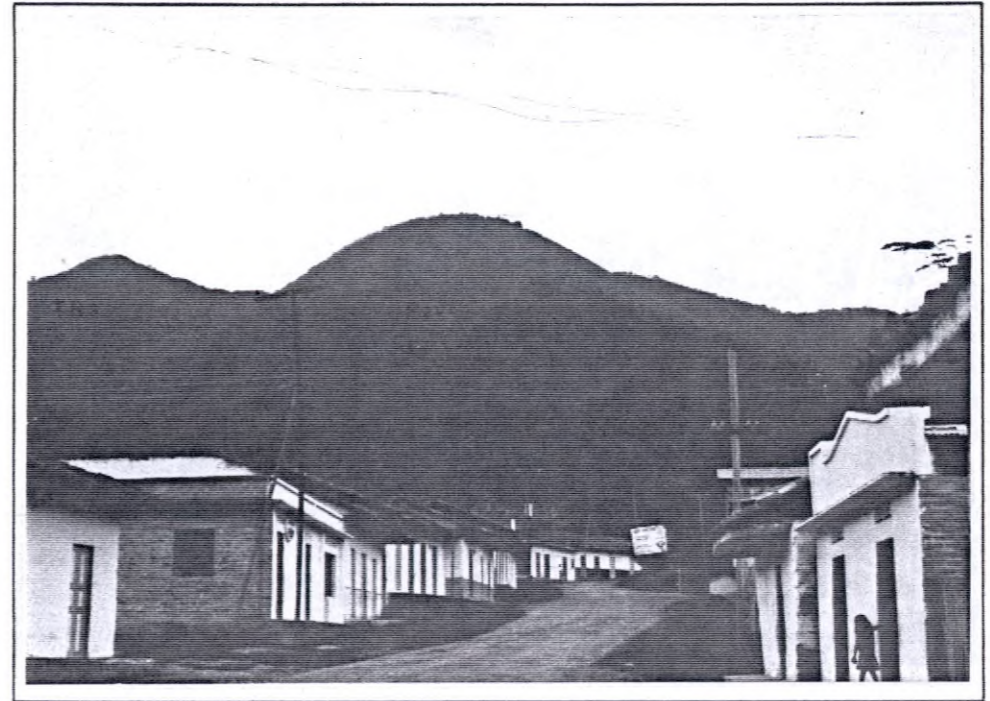


FOTO 15.- Muestra afloramientos, Formación Saldaña (TRs), Granito Gráfico (Pzv), en los alrededores de Villalosada.

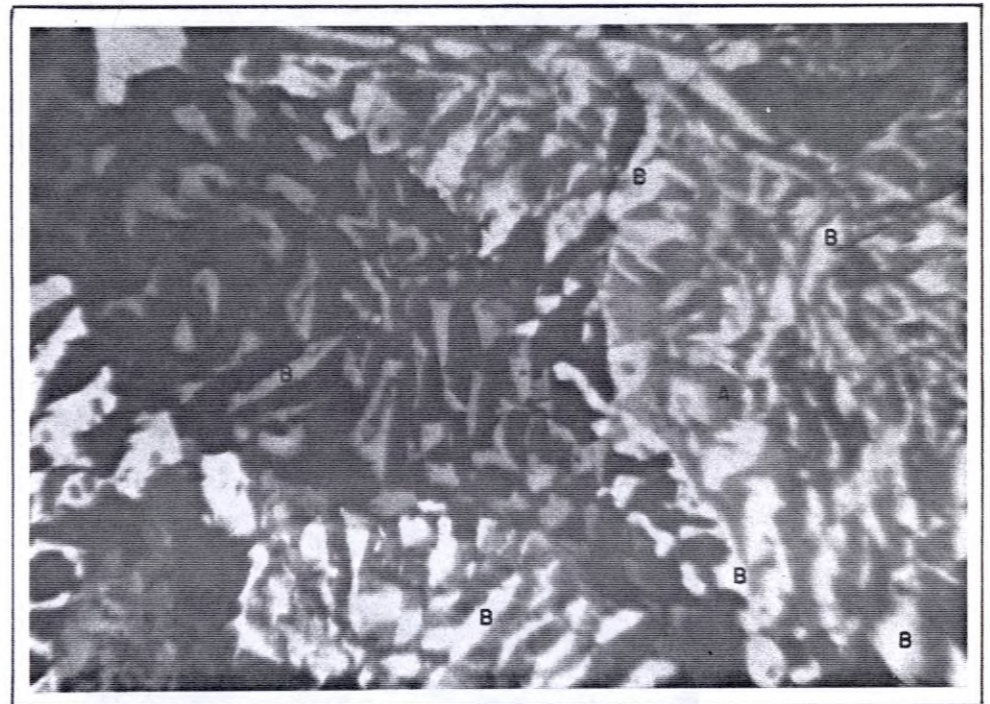


FOTO 16.- A 3.5 X NX
Muestra Granito Gráfico de Villalosada.
(A) Intercrecimiento nítido de feld. K con Qz.
(B) Dando la sensación de escritura rúnica, de allí el nombre de runita.



FOTO 17.- Muestra detalle del contacto entre el Granito de Villasoda (Pzv), parte inferior, suprayacido por rocas volcánicas de la Formación Saldaña (TRs).

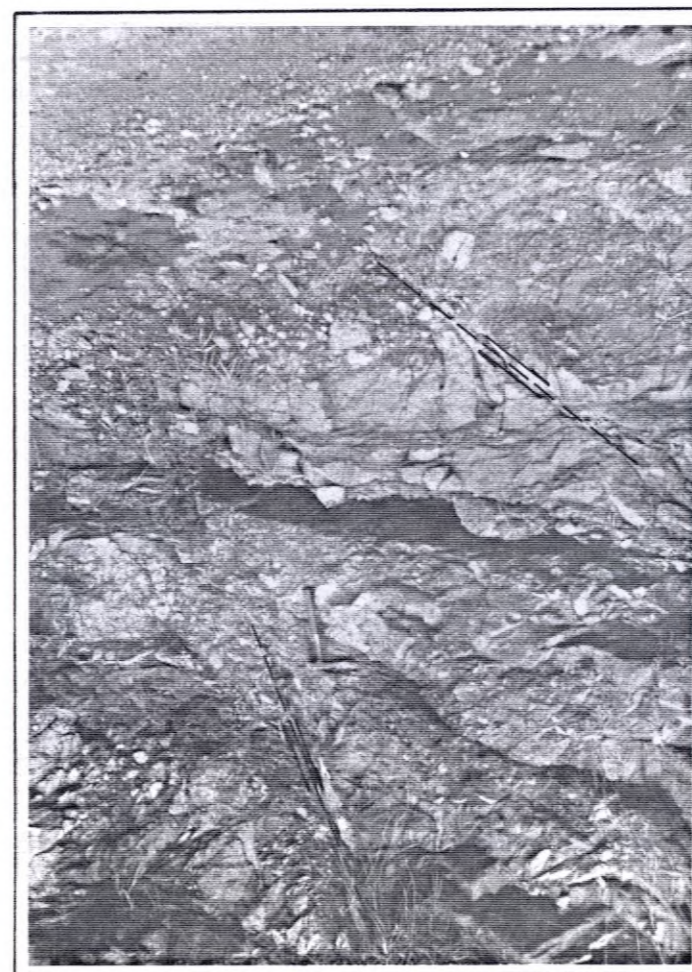


FOTO 18.- Muestra conglomerado del Guámbico afectado por fallas menores.



FOTO 19. _ Muestra Conglomerado del Guámbico. A = 3.5x NX.
Matriz volcánica que envuelve fragmentos líticos de diferente composición. (A) fragmentos de porfido, (B) fragmentos de esquistos, (C) cristal de feldespato, (D) matriz volcánica.



FOTO 20. _ Muestra afloramiento de la Formación Coquiayú (TRsc) cubierta en su parte superior por cenizas volcánicas recientes.

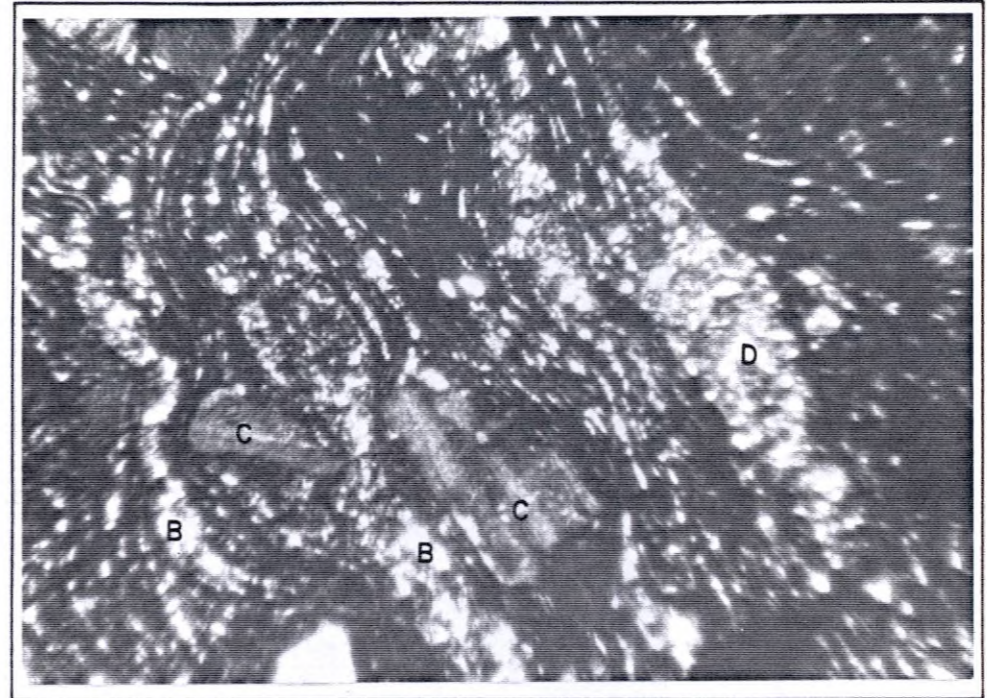


FOTO 21.- Ignimbrita de cenizas y polvo. Típica estructura de flujo piroclástico claramente orientada de (A) matriz constituida por ceniza y polvo volcánico vitreo color negro en láminas paralelas a las de vidrio devitrificado en Qz de color Blanco B, encerrando cristales de feldespato C y un fragmento lítico de sedimentita D.

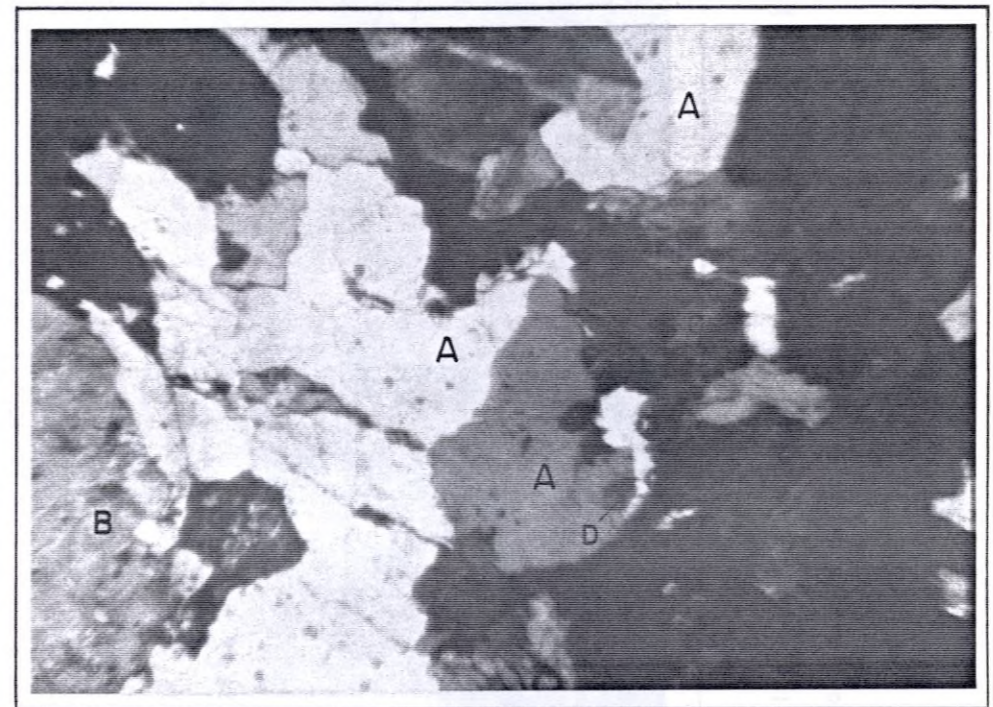


FOTO 22.- Granito biotítico de Cuetandillo. A=3.5x Nx. (A) cristales anhedrales de cuarzo asociados a perfitas (B) y hojas de biotitas (C), pequeño cristal de circón (D).

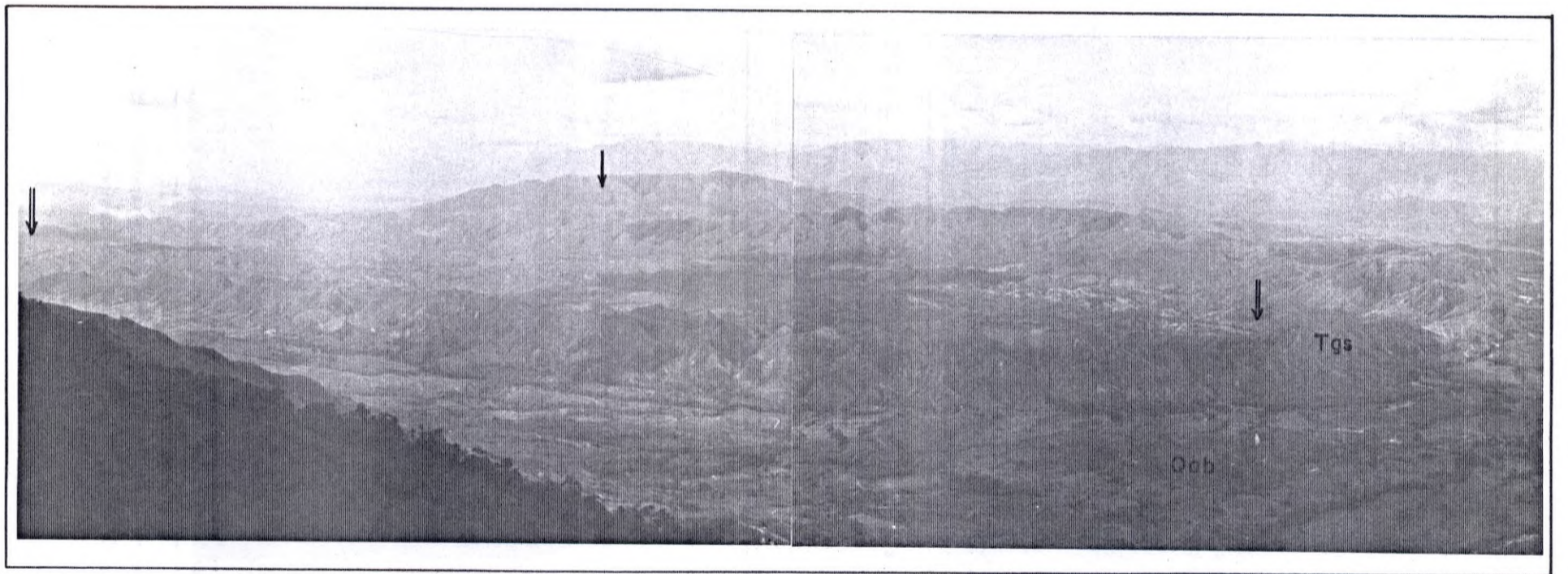


FOTO -23. Muestra sinclinal de Tesalia (↯), anticlinal de la Ocha (↓), formación Gualanday superior (Tgs), abanico de Tesalia (Qab), zona de alineamiento de túneles del proyecto Paicol.

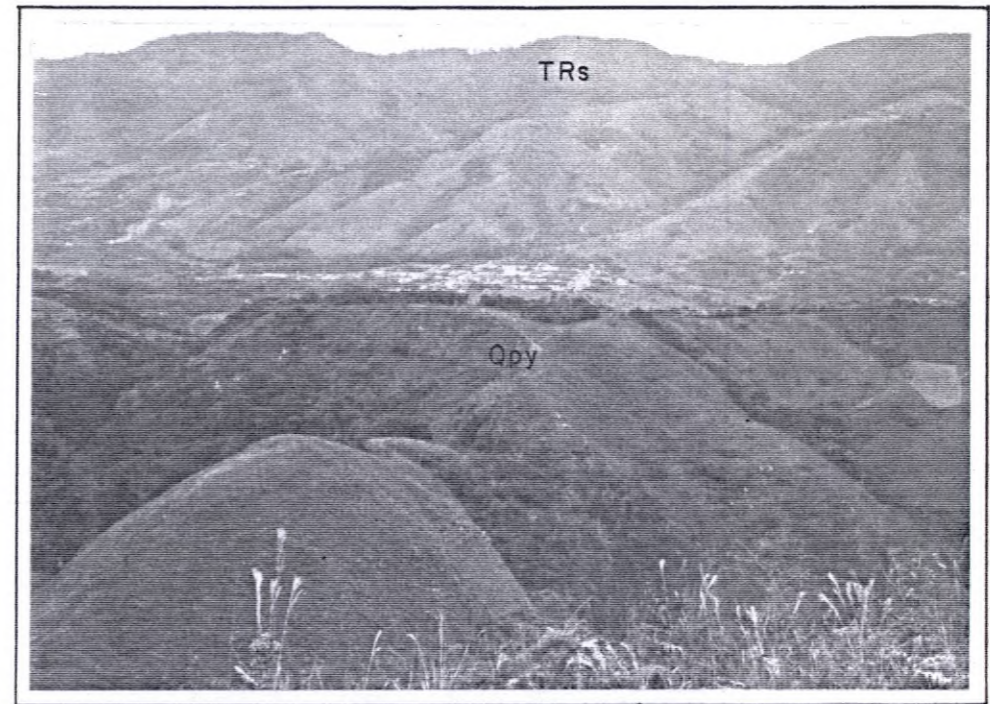


FOTO 24._ La población de Argentina construída sobre sedimentos piroclásticos de la Formación Popayán Qpy, al fondo rocas de la Formación Saldaña TRs , lineamiento de la falla Pital.

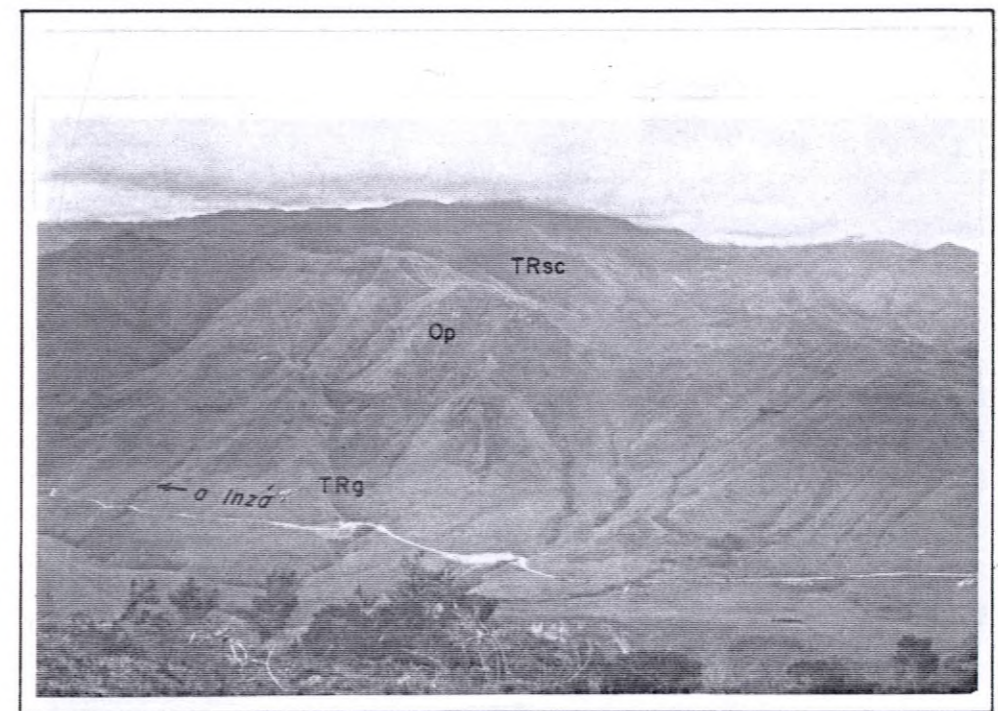


FOTO 25._ Cenizas y escorias volcánicas recientes enmascarando rocas del conglomerado del Guámbico y la Formación Coquiyú (TRsc).

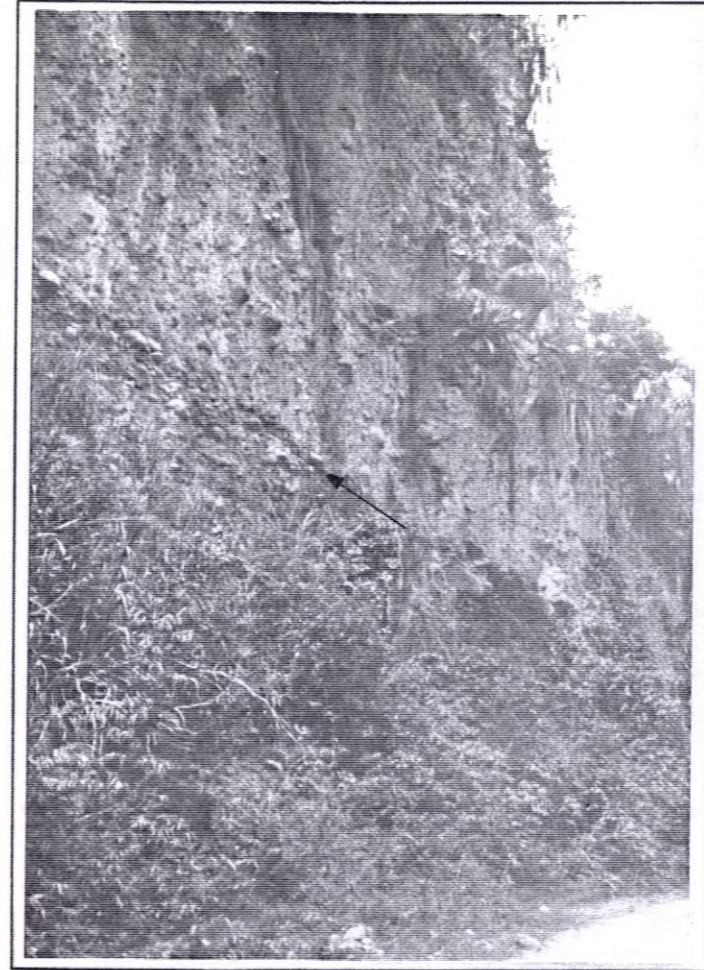


FOTO 26.-
Muestra sedimentos
piroclásticos enmarcando
una antigua terraza aluvial. (/)

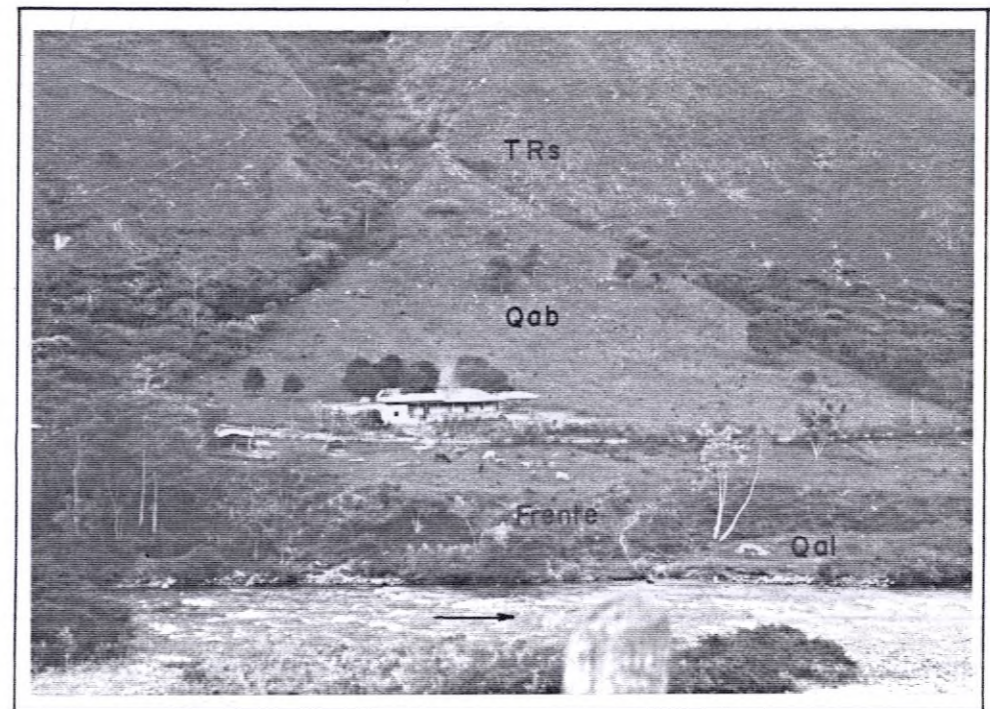


FOTO 27.- Proyecto Guinea.
Muestra abanico aluvial aflorando en la margen izquierda del río de
La Plata. Sitio de Guinea.

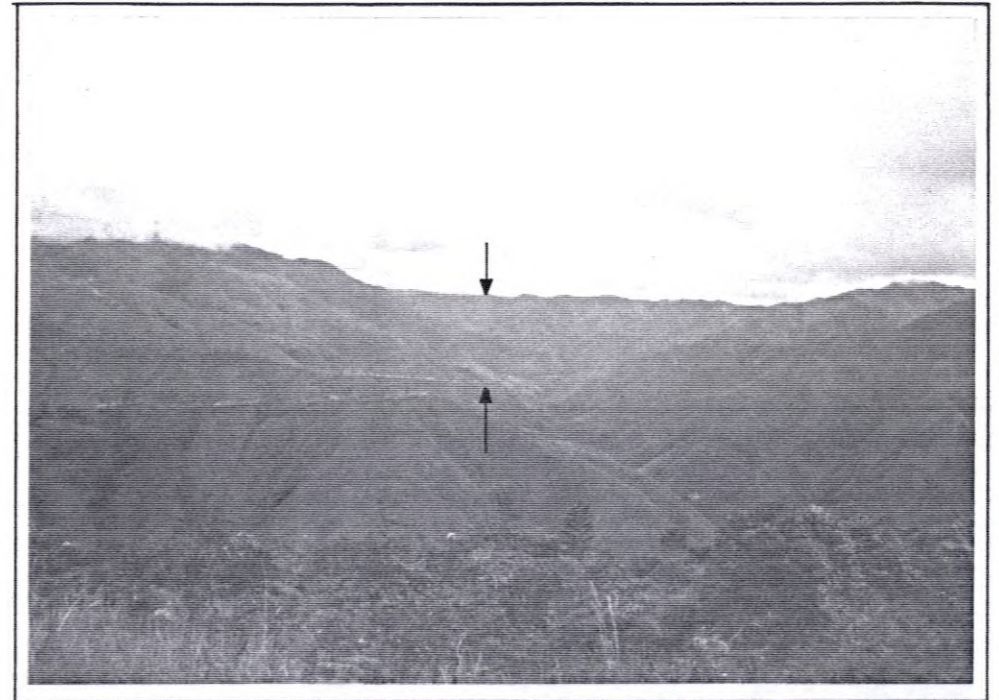


FOTO 28.- Muestra lineamiento de la falla Macama (↓) en el cañón de la Quebrada "Macama".

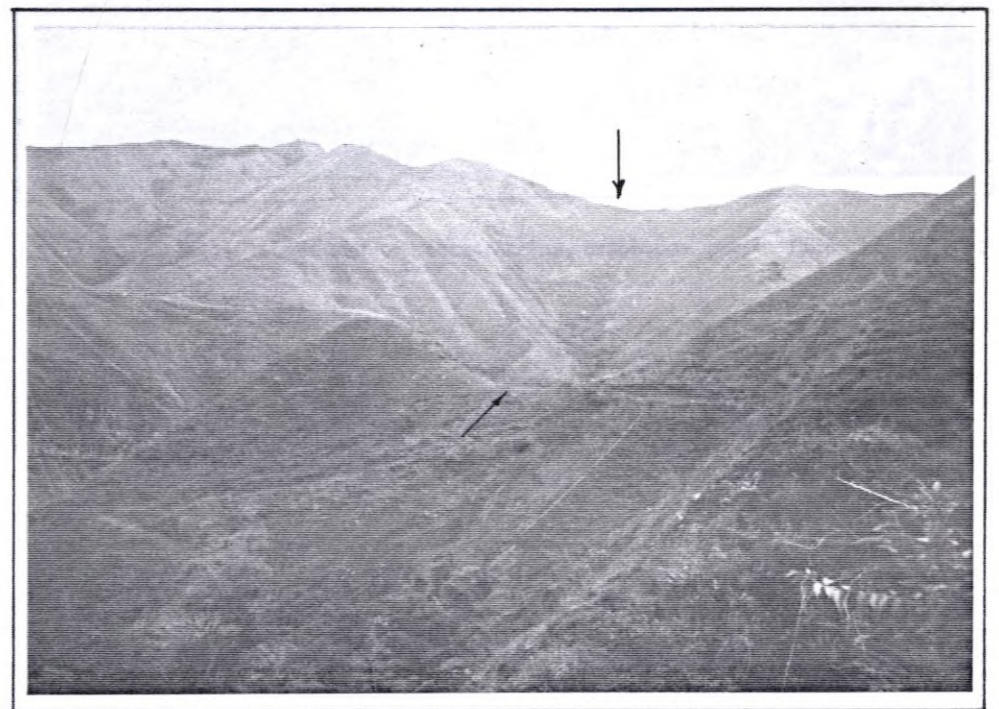


FOTO 29.- Lineamientos de la falla Frailes (↓) en el cañón de la Quebrada Honda.

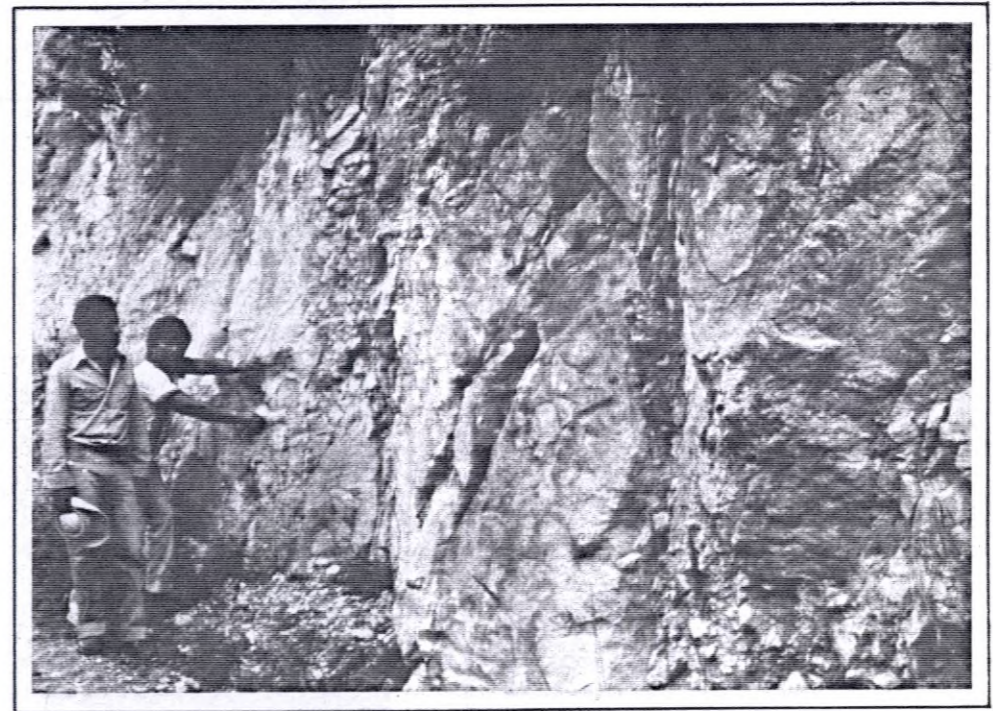


FOTO 30.- Muestra sedimentos cuaternarios, afectados por la falla La Chorrera.

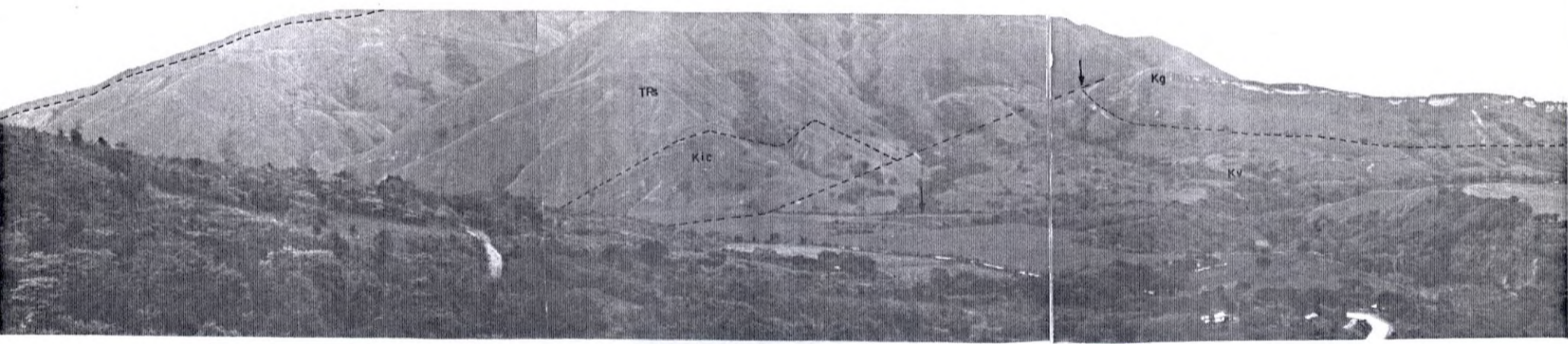


FOTO- 31. Margen izquierda Río Páez (cerro Potrerillos) donde se observa la localización de la almenara, la falla Guamito, la totalidad de las rocas de la formación Saldaña (TRs), remanentes de la formación Caballos (Kic) y parte de las formaciones Villeta (Kv) y Guadalupe (Kg) .

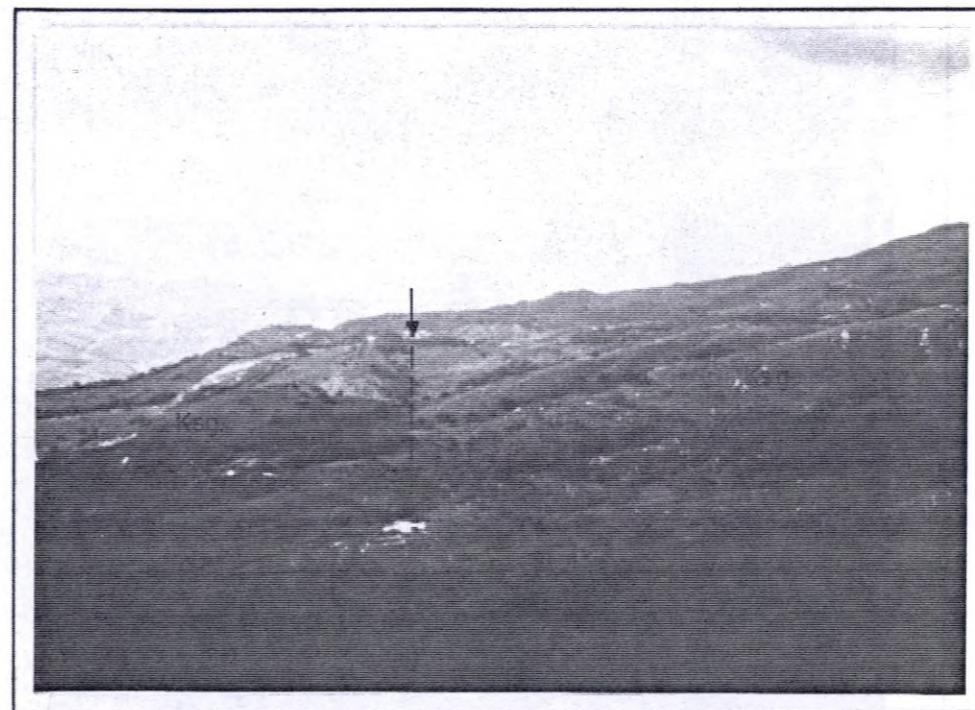


FOTO 32.- Muestra lineamiento falla de la Azufrada (↓) afectando rocas de la formación Guadalupe (Ksg).

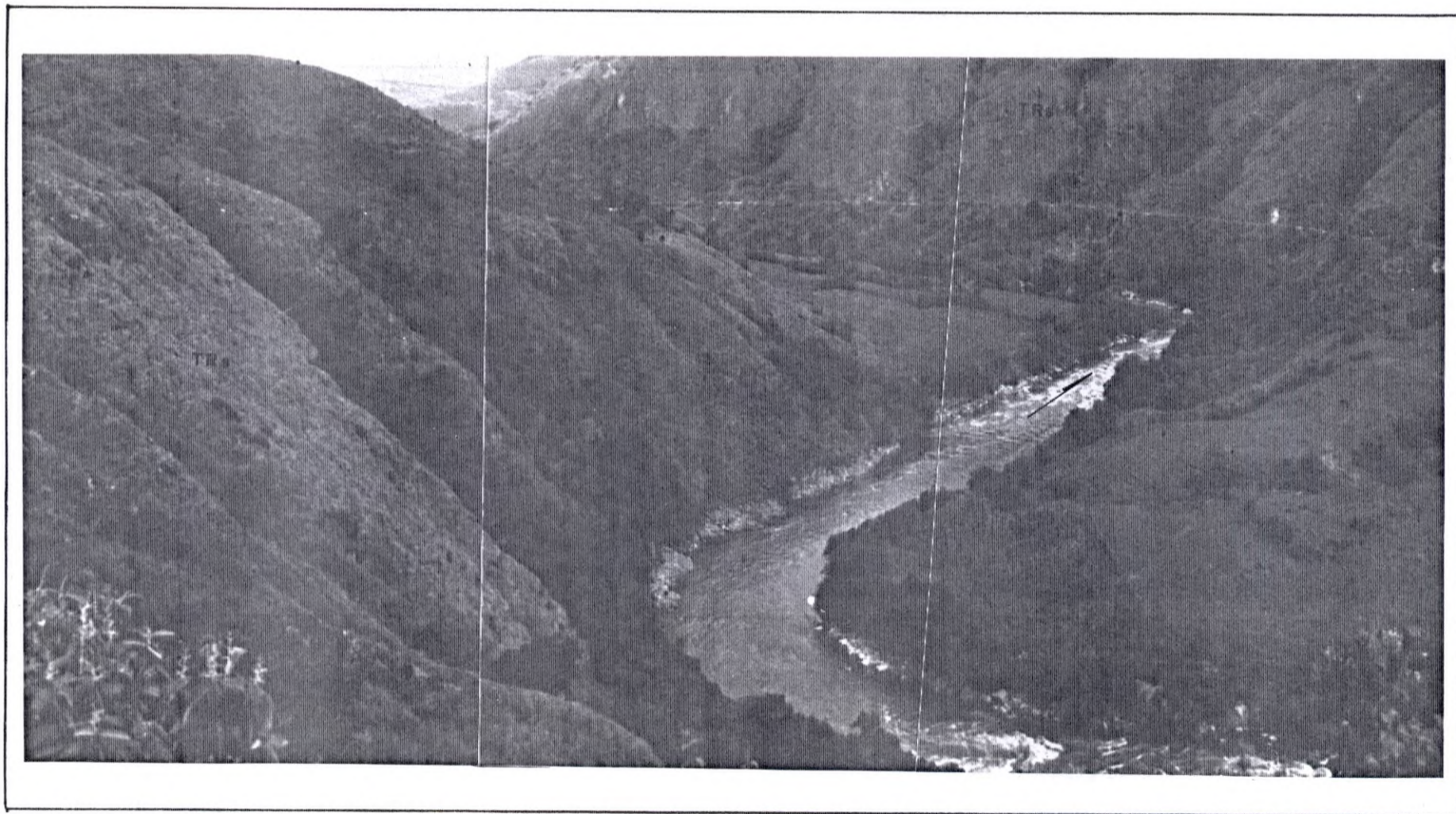


FOTO -33. Estado de las rocas de la formación Saldaña (TRs), en el estribo izquierdo y niveles de terrazas en el estribo derecho del proyecto Paicol.

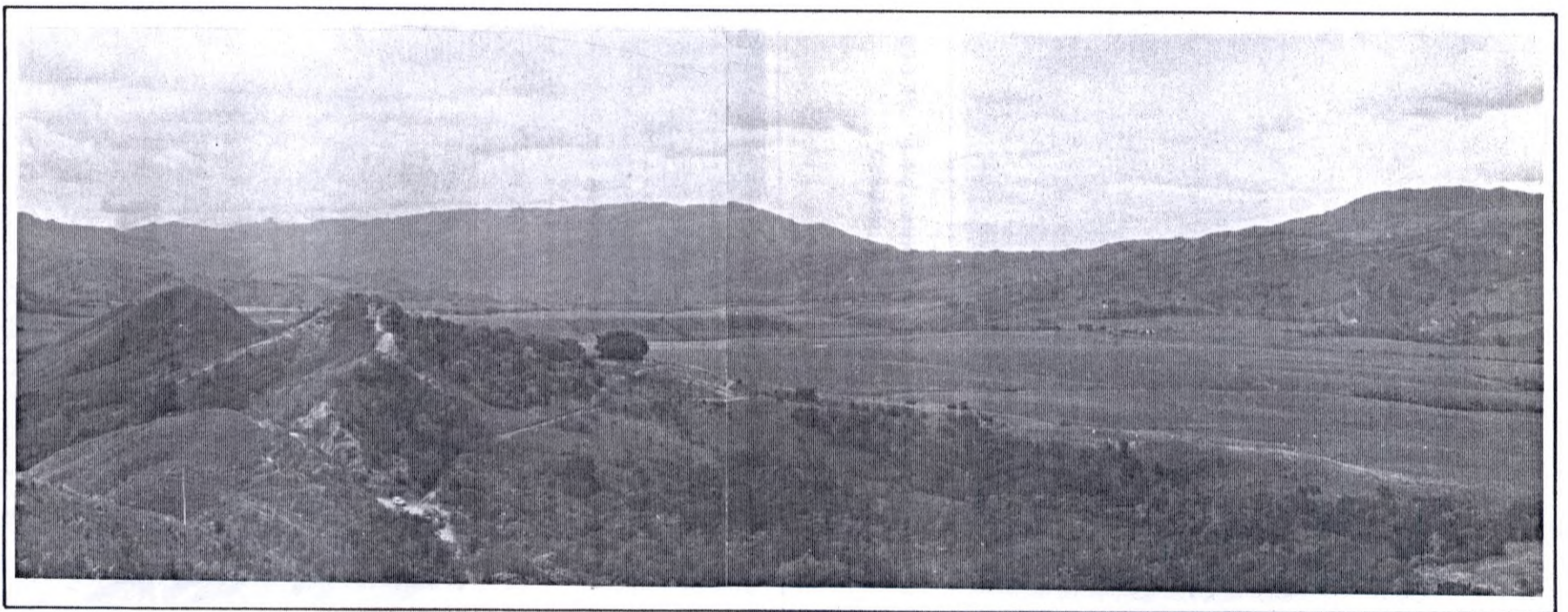


FOTO - 34. Valle de La Plata , embalse del proyecto Paicol . Al fondo se observa el anticlinal de Minas .



FOTO 35._ Afloramiento de roca en el estribo izquierdo de la presa (Pzm).
Complejo de Macama.



FOTO 36._
Muestra fracturas de des-
garramiento por la pérdida
de soporte hacia la base
de los piroclastos del Páez;
330/90, 310/70.

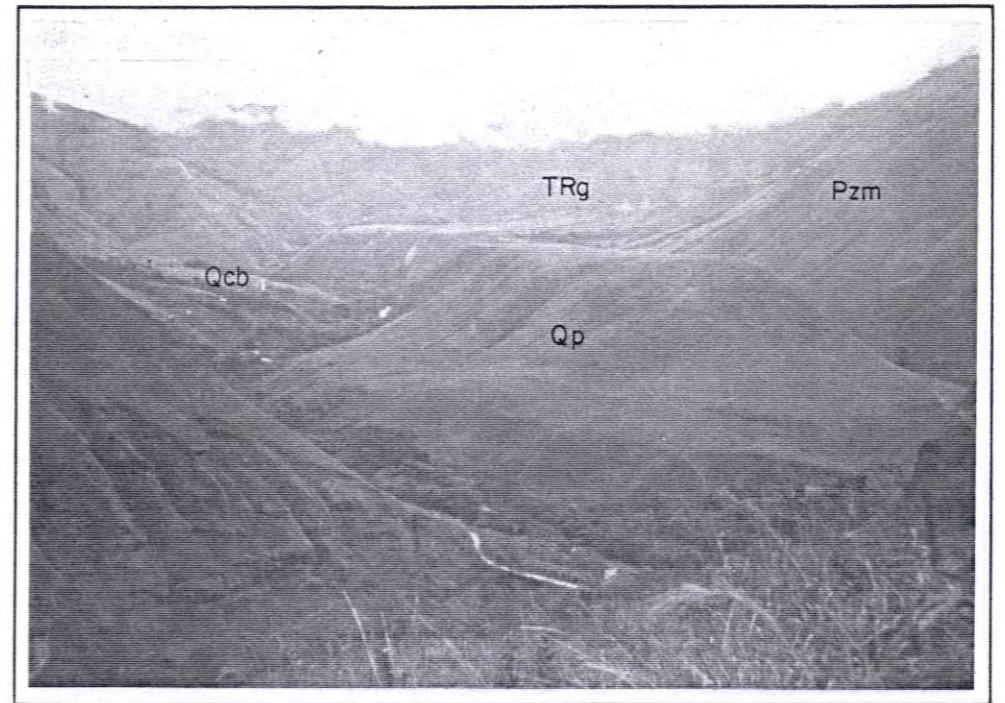


FOTO 37._ Muestra mesetas aflorantes en el embalse del proyecto Macama

Qp = Piroclastos del Páez.

Pzm = Complejo Macama.

TRg = Conglomerado del Guámbico.

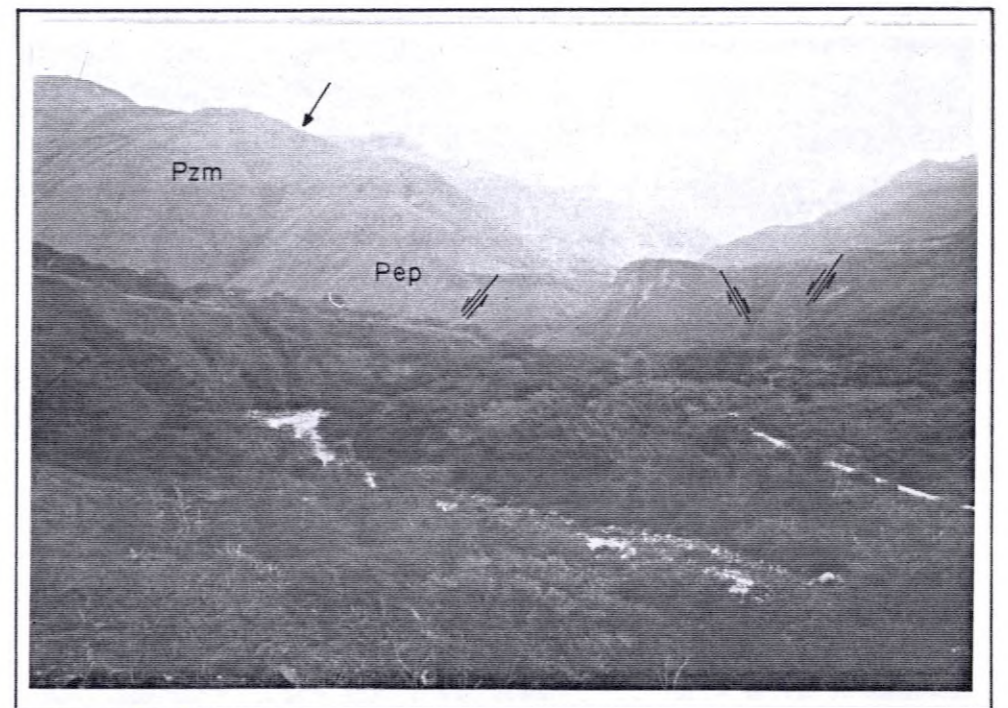


FOTO 38._ Falla Macama (↓). Muestra desplazamiento de las mesetas piroclásticas del Páez.

Pem = Macizo de La Plata.

Pzm = Complejo de Macama.

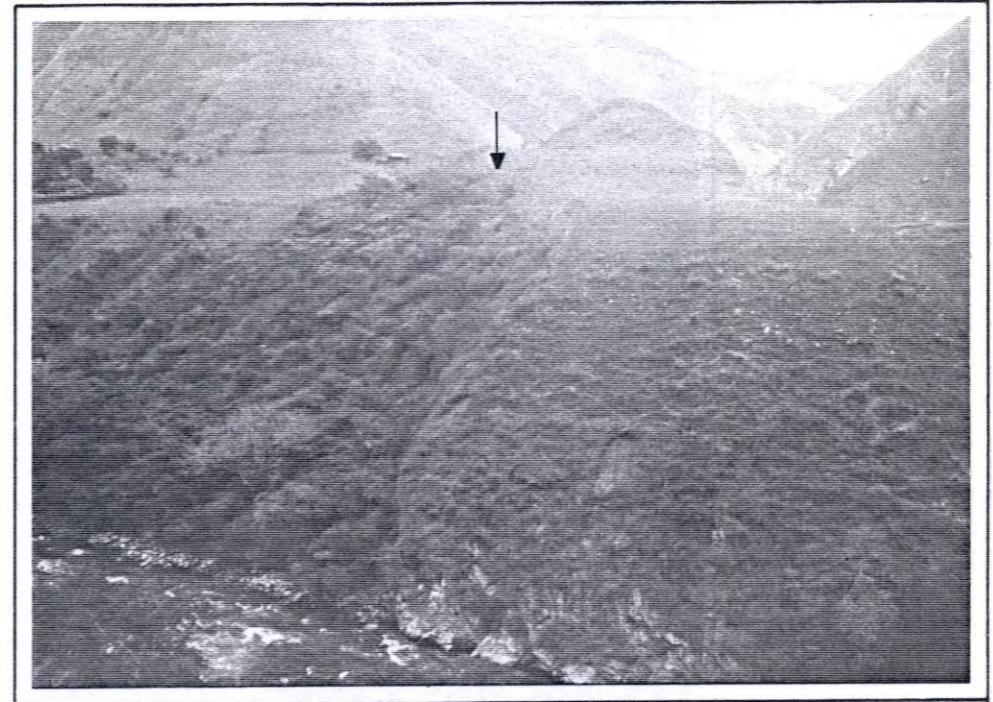


FOTO 39._ Muestra lineamiento de la falla Frailes con desplazamiento de depósitos recientes.



FOTO 40._ Desplazamiento de suelos a lo largo de la falla Frailes.

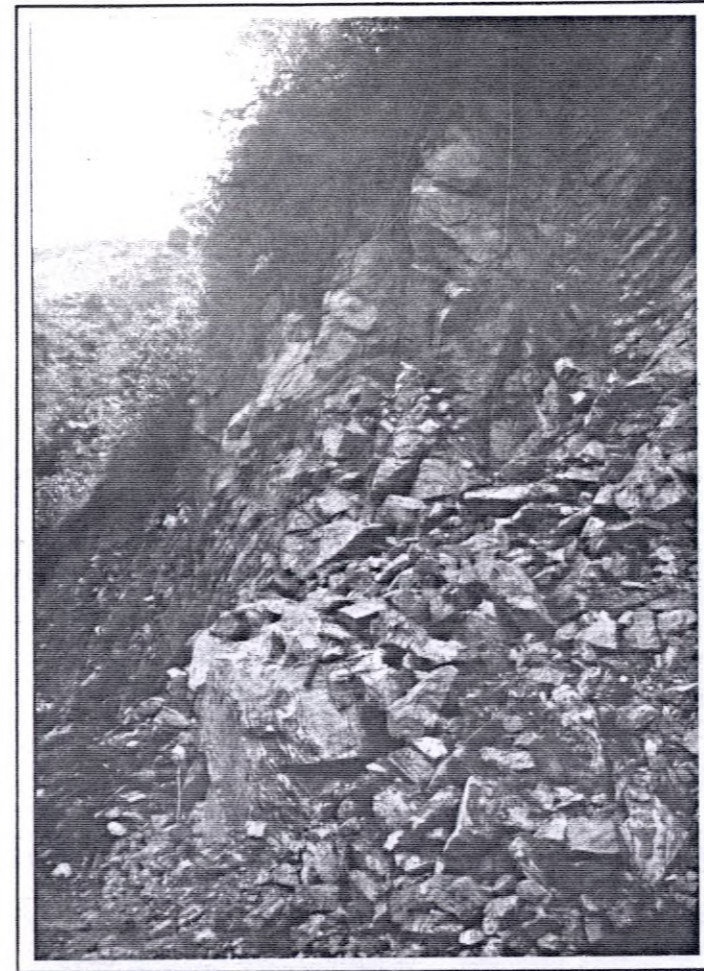


FOTO 41.
Muestra zona de brechas
siguiendo al lineamiento de
la falla Frailes en los már.
genes de la Quebrada Cuevas.

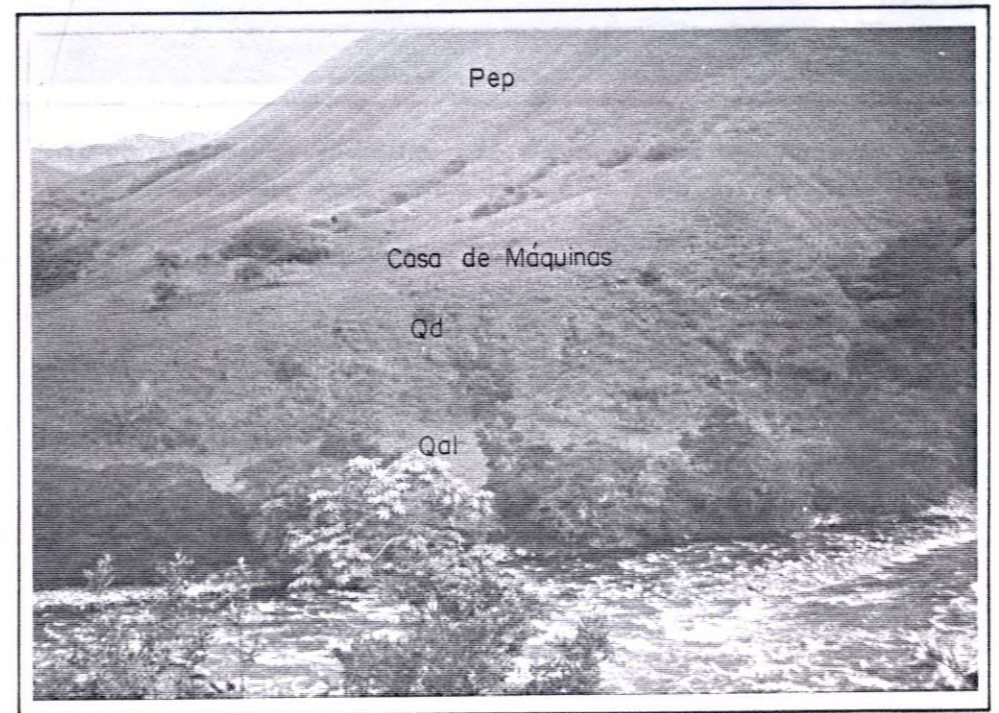


FOTO 42.- Sitio de Casa de Máquinas. Proyecto Macama.
Qd (derrubios). Qal (aluvial). Pep (Macizo de La Plata).

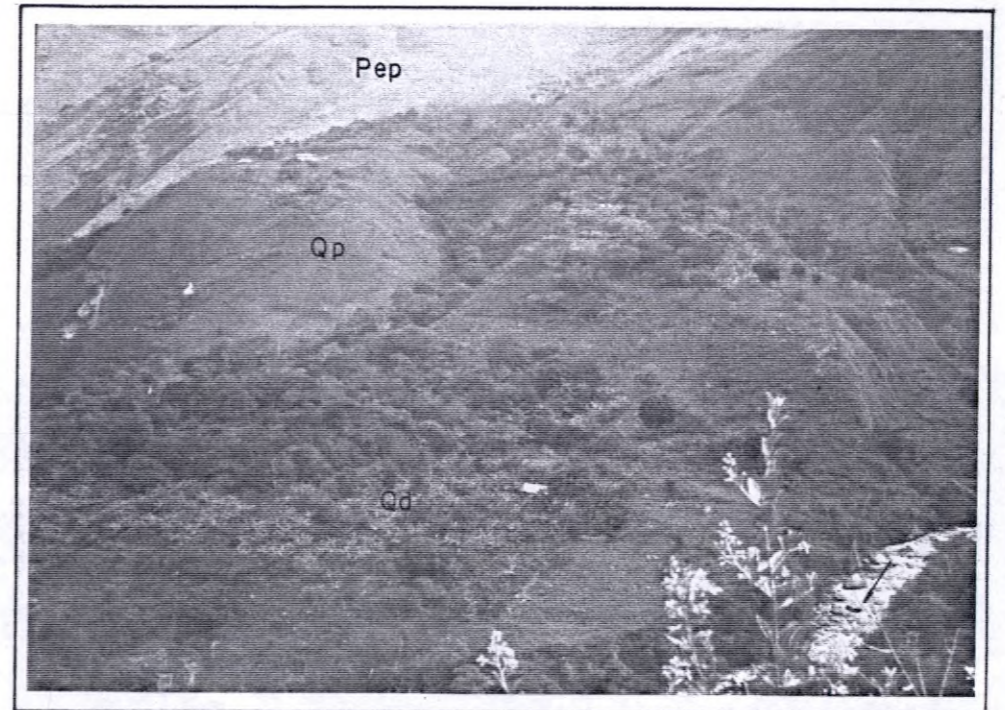


FOTO 43.- Sedimentos piroclásticos en margen derecha del río Páez, inmediatamente aguas arriba del eje de presa del proyecto Piedra Grande.

FOTO 43

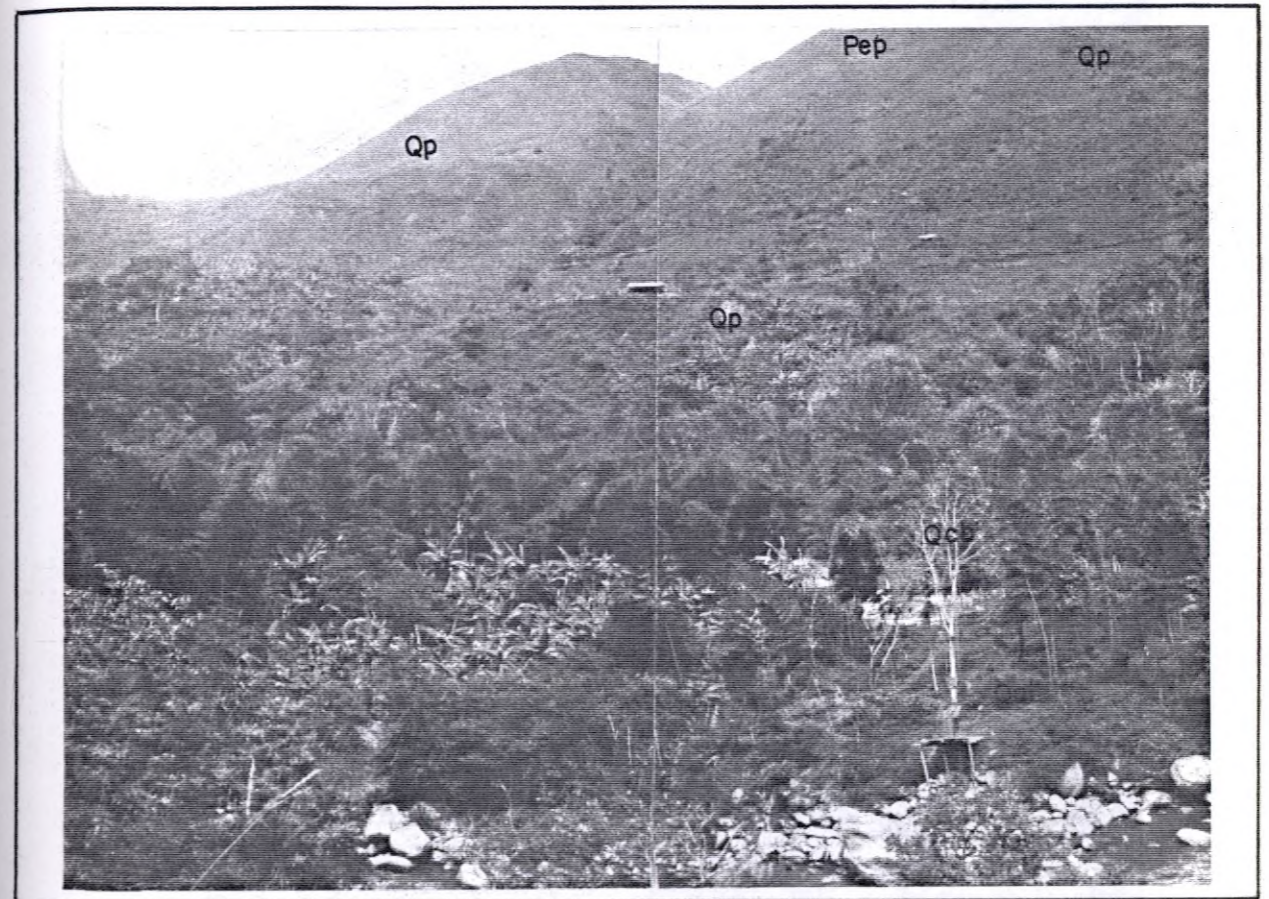


FOTO-44. Depósitos piroclásticos (Qp), coluviales (Qc) y aluviales (Qal) en el portal de la salida del túnel de carga y casa de máquinas. Proyecto Piedra Grande (Río Páez).

Pep = Macizo de La Plata.

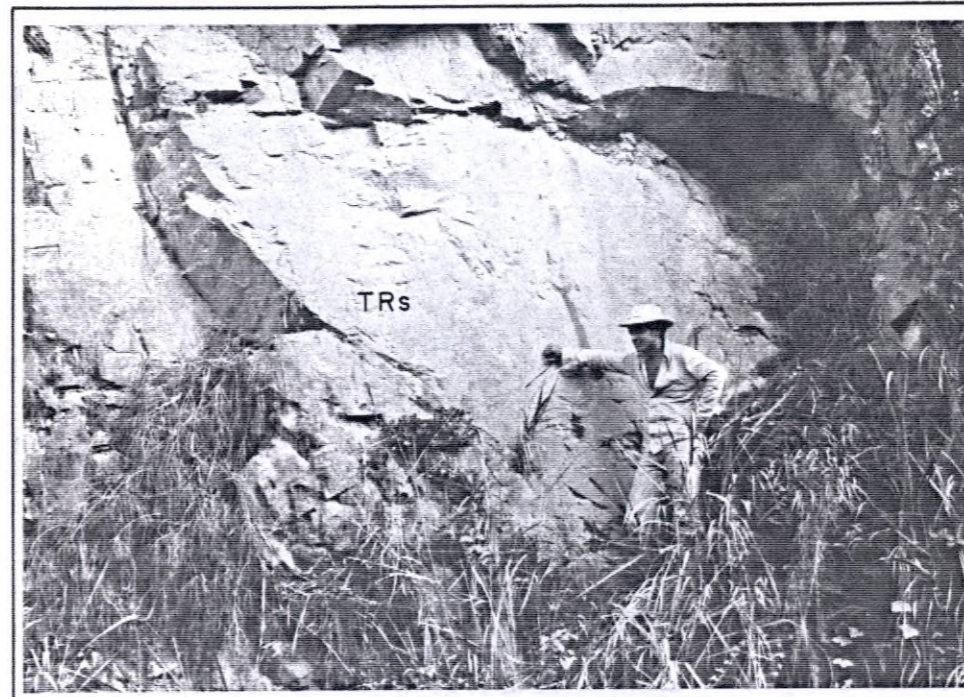


FOTO 45._ Muestra diaclasamiento de las rocas de la Formación Saldaña en estribo izquierdo del proyecto Guinea.



FOTO 46._ Muestra zona de cizallamiento, 200m. al norte del sitio presa de Guinea, afectando rocas volcánicas (Formación Saldaña) TRs.

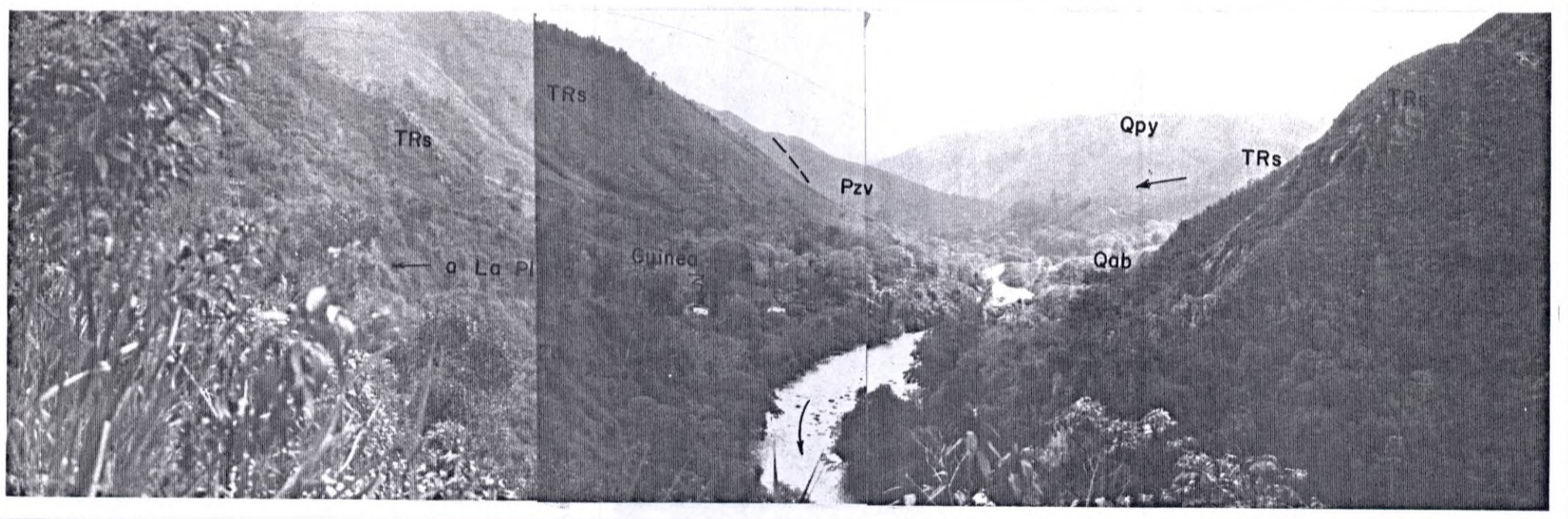


FOTO - 47. Sitio de presa del proyecto Guinea, donde se puede observar parte del área de embalse.

- Pzv. Granito gráfico de Villalosada
- TRs. Formación Saldaña.
- TQpy. Formación Popayán.
- Qab. Abanicos aluviales.
- Zd. Zona de desechos.

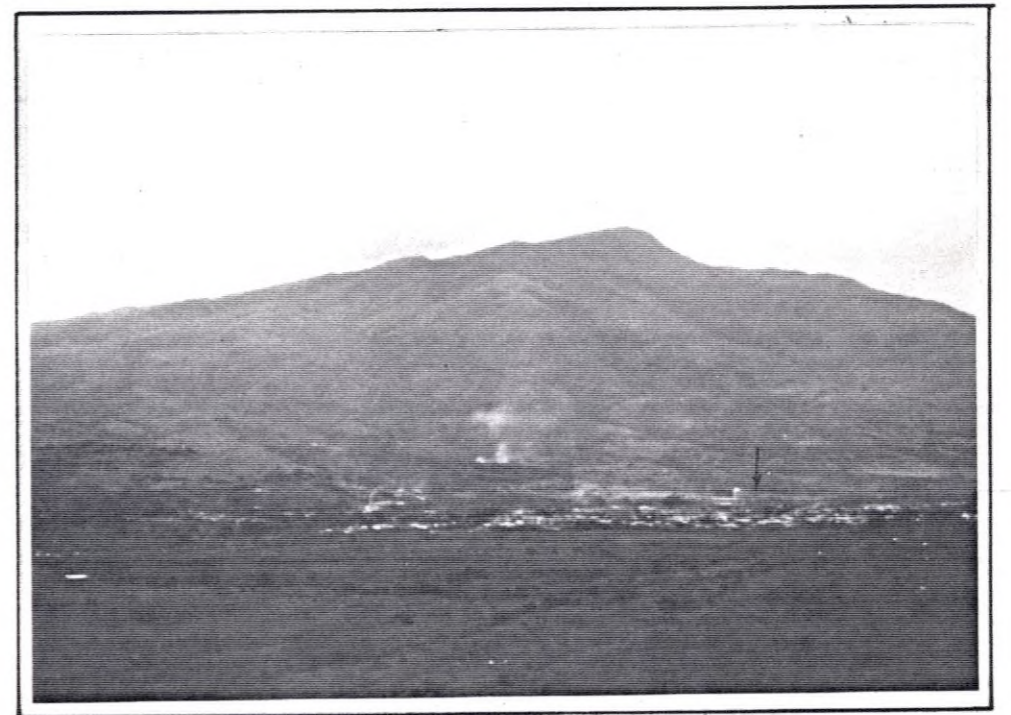


FOTO-48. Zona del portal de salida del túnel del proyecto Guinea, en las cercanías de la población de La Plata (✓).

| | | |
|-----|---|---|
| 1.1 | LIBRO DE TEXTO | 1 |
| 1.2 | LIBRO DE CÁLCULOS | 1 |
| 1.3 | INDICE GENERAL | 1 |
| 1.4 | MAXIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | 1 |
| 1.5 | SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 1 |
| 1.1 | <u>Área de influencia de las plantas de generación</u> | 1 |
| 1.2 | <u>FUENTES SISMOGÉNICAS</u> | 1 |
| 1.1 | <u>Fuente Sismogénica : falla de Santa Catalina (cordillera Oriental)</u> | 1 |
| | <u>y su zona de influencia local en la falda Aitapara</u> | 1 |
| 1.2 | <u>Fuente Sismogénica : SISMOLOGIA</u> | 1 |
| 1.3 | <u>Fuente Sismogénica : Zona de Subducción</u> | 1 |
| 1.4 | <u>Otras Fuentes Sismogénicas Locales</u> | 1 |
| 1.5 | LIBERACIÓN DE ENERGÍA DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA | 1 |
| 1.6 | RECURRENCIA DE LAS MAGNITUDES | 1 |
| 1.7 | ACELERACIÓN MÁXIMA SOBRE LA "LÍNEA BASE" | 1 |
| 1.1 | <u>Aspectos Generales</u> | 1 |
| 1.2 | <u>El Modelo "Línea Base"</u> | 1 |
| 1.3 | <u>Atenuación de la aceleración</u> | 1 |
| 1.4 | <u>Incertidumbres asociadas a la determinación del riesgo sísmico</u> | 1 |
| 1.5 | <u>Datos para el Modelo de Riesgo Sísmico</u> | 1 |
| 1.6 | <u>Resultados para el valor de la aceleración</u> | 1 |

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | |
| LISTA DE APENDICES | |
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- MARCO TECTONICO REGIONAL | 2 |
| 3.- SISMICIDAD DEL SUR-OCCIDENTE DE COLOMBIA | 10 |
| 3.1. <u>Area de influencia sísmica para el proyecto</u> | 13 |
| 4.- FUENTES SISMOGENICAS | 18 |
| 4.1. <u>Fuente Sismogénica : Falla frontal de la Cordillera Oriental y su manifestación local en la falla Altamira</u> | 19 |
| 4.2. <u>Fuente Sismogénica : Falla Romeral</u> | 21 |
| 4.3. <u>Fuente Sismogénica : Zona de Subducción</u> | 23 |
| 4.4. <u>Otras Fuentes Sismogénicas Locales</u> | 25 |
| 5.- LIBERACION DE ENERGIA DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA | 28 |
| 6.- RECURRENCIA DE LAS MAGNITUDES | 29 |
| 7.- ACELERACION MAXIMA SOBRE LA "ROCA BASE" | 32 |
| 7.1. <u>Aspectos Generales</u> | 32 |
| 7.2. <u>El Modelo "Línea Fuente"</u> | 32 |
| 7.3. <u>Atenuación de la Aceleración</u> | 34 |
| 7.4. <u>Incertidumbres asociadas a la determinación del riesgo sísmico</u> | 35 |
| 7.5. <u>Datos para el Modelo de Riesgo Sísmico</u> | 37 |
| 7.6. <u>Resultados para el valor de la aceleración</u> | 39 |

./.

SISMOLOGIA

BIBLIOTECA
Ministerio de Minas y Energía

| | Pág. |
|---|------|
| 8.- RED DE MICROSISMO | 40 |
| 8.1. <u>Objetivos de la Red de Microsismo</u> | 40 |
| 8.2. <u>Numero de Instrumentos de la Red</u> | 41 |
| 8.3. <u>Ubicación de los Instrumentos</u> | 42 |
| 8.4. <u>Operación de la Red</u> | 43 |
| 9.- TRABAJOS FUTUROS | 44 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------|----|--|
| Figura | 1 | Epicentro de los sismos. |
| Figura | 2 | Mecanismos focales. |
| Figura | 3 | Zonas de Benioff. |
| Figura | 4 | Dirección de los campos de esfuerzos. |
| Figura | 5 | Rasgos Sismotectónicos principales al Noroccidente de - Sur América. |
| Figura | 6 | Area de influencia de sismicidad total. |
| Figura | 7 | Area de influencia de focos cuya profundidad es igual o inferior a 60 Km. |
| Figura | 8 | Area de influencia de focos cuya profundidad está entre 61 y 120 Km. |
| Figura | 9 | Area de influencia con focos cuya profundidad es infe - rior a 121 Km. |
| Figura | 10 | Sección transversal 4° N. |
| Figura | 11 | Sección transversal 3°30' N. |
| Figura | 12 | Sección transversal 3° N. |
| Figura | 13 | Sección transversal 2°30' N. |
| Figura | 14 | Sección transversal 2° N. |
| Figura | 15 | Sección transversal 1°30' N. |
| Figura | 16 | Sección transversal 1° N. |
| Figura | 17 | Densidad de liberación de la energía. |
| Figura | 18 | Aceleración del terreno. |

LISTA DE APENDICES

- | | | |
|----------|---|---|
| Apendice | 1 | Listado de eventos sísmicos dentro del área de influencia. |
| Apendice | 2 | Graficación de la liberación de energía dentro del área de influencia. |
| Apendice | 3 | Resultados del modelo de línea fuente al considerar la actividad sísmica estimada para el proyecto. |
| Apendice | 4 | Informe de sismología, William D. Page. |

1.

INTRODUCCION

En las hoyas hidrográficas de los ríos Páez y La Plata, el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, adelanta el estudio de una serie de aprovechamientos hidroeléctricos, para los cuales el presente estudio muestra - las condiciones sismológicas regionales.

El estudio se inicia con algunas consideraciones tendientes a establecer un área de influencia sísmica. Se plantea posteriormente el marco técnico general dentro del territorio nacional de Colombia para posteriormente estudiar la sismicidad regional, principalmente dentro del área de influencia; el estudio de la sismicidad conduce a una serie de razonamientos de tipo cualitativo y cuantitativo que tienen transcendencia en el estudio de riesgo sísmico que se adelanta posteriormente.

Dentro del estudio se analiza la necesidad, conveniencia y características de una red de microsismo de tipo local; se concluye el estudio mediante la generación de curvas de aceleración contra período de retorno generadas teniendo en cuenta las condiciones de sismicidad y tectónica regionales.

2.

MARCO TECTONICO REGIONAL.

Para poder establecer un marco de referencia con respecto a las futuras condiciones sísmológicas de los proyectos Páez - La Plata, es necesario hacer algunas consideraciones sobre la tectónica regional del nor-occidente de América del Sur, puesto que a estas condiciones estará ligada la futura actividad sísmica al sur-occidente de Colombia.

La geología estructural de Colombia ha sido objeto de algunos estudios, los cuales, a pesar de ser incompletos, permiten una visión panorámica de las manifestaciones estructurales que el tectonismo ha dejado en el territorio nacional. Dentro de los que han estudiado la geología estructural con cubrimiento de orden regional, debe mencionarse muy principalmente a Irving - (1.972) y Barreno (1.977). Estos autores describen la acción tectónica y postulan una antigua zona de subducción a lo largo del río Cauca; esta zona de subducción se desactivó para reactivarse a lo largo de la actual falla Atrato. Desactivada esta zona de subducción, el fenómeno se reinició más al occidente donde en la actualidad actúa.

La actual sismicidad colombiana debe indicar las zonas o franjas donde hay liberación de energía sísmica. Donde hay liberación de energía sísmica han existido en el pasado, o existen en la actualidad, desplazamientos relativos originados por el tectonismo. La orogenia está íntimamente ligada al tectonismo, de tal manera que donde hay montañas relativamente jóvenes, los esfuerzos tectónicos pueden estar sin liberarse, o simplemente pueden estar en el proceso de acumulación y liberación.

En Colombia confluyen tres placas tectónicas: Nazca, Caribe y América del Sur. En la zona del Darién, en los límites de Panamá y Colombia, existe una unión triple que de acuerdo con Pennington (1.981) es de tipo difuso, es decir que difícilmente puede identificarse la unión; de todos modos, este autor hace coincidir la unión triple con una serie de fallas de cabalgamiento que existe en la región del Darién.

Los límites entre las placas son áreas preferenciales de disipación de energía sísmica acumulada debido a los desplazamientos relativos entre las placas. La Figura 1 muestra la ubicación de los epicentros conocidos en el país o en sus vecindades. Debe tenerse en cuenta que muchos de los puntos graficados pueden corresponder a más de un sismo; en algunos casos un punto representa varias decenas de eventos.

En la Figura 1 se aprecia una concentración de sismos en la región del Pacífico, en la vertiente Oriental de la Cordillera Oriental, en la zona de Santander y dentro del territorio andino nacional.

En la Figura 2 la concentración de sismos al norte del Chocó corresponde a la unión triple de tipo difuso anteriormente mencionada. La concentración de sismos mar afuera en la Costa del Pacífico corresponde a la actual zona de subducción de la placa Nazca, la cual penetra por debajo de la placa Sur América, con ángulos que varían; hacia los $7^{\circ} 30'$ u 8° el buzamiento de la placa Nazca es bajo, del tipo 20 a 30 grados, más hacia el sur el ángulo parece aumentar. Es previsible que existan alabeos pronunciados en la placa Nazca, los cuales pueden deducirse de un desalineamiento de los volcanes del sur del país.

Sarria (1.982), ha resumido así las condiciones tectónicas dominantes en el noroccidente de América del Sur.

"Los estudios de tecnofísica y geología estructural del extremo noroccidental de América del Sur que hay en la actualidad, no son suficientes y quizás nunca lo sean, para formular un modelo tectónico completo sobre la interacción de las placas tectónicas en esta parte del continente americano. No obstante, puede describirse un emplazamiento tectónico aproximado y aceptablemente razonable; a continuación se presentan las bases para un modelo tectónico debidas principalmente a Pennington (1.981).

Si los límites de las placas tectónicas están definidos por la ocurrencia de sismos, el noroccidente de Sur América no muestra claramente dichos límites; en realidad son difusos tal como fácilmente puede deducirse de la figura 1; los límites de las placas parecen adolecer de una cierta indefinición que podría deberse, Page (1.981), a oscilaciones de dichos límites al pasar de una placa a la otra durante el cuaternario. Esta especie de indecisión cubriría la parte norte de los Andes Colombianos, los de Mérida en Venezuela y parte de la zona del Caribe y del oriente de Panamá; es probable que la región haya evolucionado después de la adición de la cuenca de Panamá a la América del Sur.

No hay una unión triple única que separe las placas Caribe, Nazca y Sur América, Pennington (1.981); por el contrario el área circundante al istmo de Panamá se acomoda en la actualidad a lo largo de una serie de fallas de cabalgamiento con rumbo NW a NE debido a la compresión principal EW y a otra menor NS; esto hace que los Andes del Ecuador y Colombia se desplacen en dirección NE con respecto al resto de la placa Sur América a lo largo del sistema de fallas que se extiende por el costado oriental de la Cordillera Oriental. Pennington (referencia citada) ha recopilado los resultados de los mecanismos focales disponibles y ha estudiado adicionalmente los que tienen registro en 10 o más estaciones de la red mundial normalizada WSSN. En la Figura 2 se aprecia el resultado de los mecanismos focales presentado por Pennington para focos con profundidades inferiores o iguales a 80 Km en la parte "a", y focos con profundidades entre 81 y 180 Km en la parte "b" de la figura.

En la parte "a" de la Figura 3 se aprecian las zonas de Benioff planteadas por el mismo autor de acuerdo con las secciones de sismicidad que se presentan en el lado derecho de la misma figura.

La Figura 4 sirve de apoyo adicional al planteamiento de un modelo tectónico para el noroccidente de América del Sur. En la parte "a" de esta figu-

ra se aprecian las direcciones generales de los campos de esfuerzo deduci - dos del estudio de mecanismos focales y además la zona de fallamientos fron - tal de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental de Colombia y al oc - cidente la franja de penetración de la zona de subducción. La figura se ex - plica por su propia leyenda.

Pennington (1.981) ha integrado los rasgos sismotectónicos principales de - la parte noroccidental de América del Sur en las conclusiones que se presen - tan a continuación:

- La zona de fractura de Panamá es límite principal de las placas Cocos - Nazca, el cual parece estar desplazándose hacia el occidente en la ac - tualidad, reactivando brazos extinguidos de la zona de fractura. Por o - tra parte, el istmo de Panamá y las áreas vecinas forman un límite difu - so de placas con cabalgamientos a lo largo de un sistema de fallas, con rumbos NW a NE. Esta zona de deformación hace el efecto de un colchón y facilita el acortamiento EW que resulta de la convergencia de las pla - cas Nazca y Caribe con la Sur América y facilita además la compresión - NS entre las placas Nazca y Caribe.
- La fosa Colombia-Ecuador es el asiento del actual solapamiento de la - placa Nazca bajo Sur América. El término solapamiento se emplea para - indicar que dos placas están en contacto y que no hay material de la es - tenósfera entre ellas.
- El bloque Andino está separado del resto de Sur América por la zona de falla frontal de la Cordillera Oriental, Figuras 3 y 4 y se mueve en la dirección NE con relación al resto de América del Sur.
- En referencia a la litósfera oceánica se tiene: el segmento Bucaramanga contiene el nido sísmico de Bucaramanga y buza 20 a 25 grados en direc - ción N 109° E y aparentemente está unido con la corteza oceánica del -

ra se aprecian las direcciones generales de los campos de esfuerzo deducidos del estudio de mecanismos focales y además la zona de fallamiento frontal de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental de Colombia y al occidente la franja de penetración de la zona de subducción. La figura se explica por su propia leyenda.

Pennington (1.981) ha integrado los rasgos sismotectónicos principales de la parte noroccidental de América del Sur en las conclusiones que se presentan a continuación:

- La zona de fractura de Panamá es límite principal de las placas Cocos - Nazca, el cual parece estar desplazándose hacia el occidente en la actualidad, reactivando brazos extinguidos de la zona de fractura. Por otra parte, el istmo de Panamá y las áreas vecinas forman un límite difuso de placas con cabalgamientos a lo largo de un sistema de fallas, con rumbos NW a NE. Esta zona de deformación hace el efecto de un colchón y facilita el acortamiento EW que resulta de la convergencia de las placas Nazca y Caribe con la Sur América y facilita además la compresión - NS entre las placas Nazca y Caribe.
- La fosa Colombia-Ecuador es el asiento del actual solapamiento de la placa Nazca bajo Sur América. El término solapamiento se emplea para indicar que dos placas están en contacto y que no hay material de la estratósfera entre ellas.
- El bloque Andino está separado del resto de Sur América por la zona de falla frontal de la Cordillera Oriental, Figuras 3 y 4 y se mueve en la dirección NE con relación al resto de América del Sur.
- En referencia a la litósfera oceánica se tiene: el segmento Bucaramanga contiene el nido sísmico de Bucaramanga y buza 20 a 25 grados en dirección N 109° E y aparentemente está unido con la corteza oceánica del -

fondo del Mar Caribe al noroeste de Colombia y con la zona de deformación de Panamá. El segmento Cauca está separado del Bucaramanga por una ruptura en la placa y buza 35° en la dirección N 120° E y está unido en la placa Nazca que actualmente se sumerge en la fosa Colombia-Ecuador. El segmento Ecuador buza 35° en dirección N 35° E y está separado del segmento Cauca por una zona de sismicidad muy dispersa. El segmento Ecuador parece ser el extremo norte de la placa norte del Perú.

El origen de algunos de estos rasgos es materia de especulación, Pennington (1.981), en especial la naturaleza segmentada de la litósfera subducida. Algunos autores citados por Pennington han postulado que la flotación de ciertos rasgos batimétricos tienden a inhibir el proceso de subducción; si estas hipótesis se cumplieran se podría postular que muy probablemente el segmento Bucaramanga contiene la porción de una estructura volcánica, tal vez un antiguo arco insular que también existe en Panamá, además de una dorsal asísmica localizada al norte de Panamá. Estas estructuras se opondrían a la subducción y darían origen al ángulo de penetración de este segmento y al límite difuso de la placa localizado en Panamá y sus áreas vecinas. Por otra parte, el segmento Cauca tiene una subducción normal debido a que no contiene ninguna dorsal asísmica ni tampoco arco insular alguno. El segmento Ecuador contiene un vestigio de punto caliente subducido que es el resultado de la actividad del punto caliente de Galápagos, anterior a la fragmentación de la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca. Por último, la placa Perú está sostenida por dos dorsales asísmicas, una debajo del Ecuador y la dorsal Nazca ubicada a los 10° S aproximadamente.

Postula Pennington, por último, que existió una zona de debilidad entre unos 200 a 400 kilómetros al norte de la dorsal asísmica subducida debajo del Ecuador en donde todavía se están subduciendo centros de expansión extintos; esto proporcionó una línea de separación entre los segmentos Ecuador y Cauca de la placa Nazca.

Las anteriores consideraciones pueden complementarse con datos que indican que la Costa Atlántica Colombiana ha tenido unas deformaciones que varían - entre leves al noroeste del río Sinú hasta notables en la zona de Urabá; no hay sismos asociables a esta deformación notable ocurrida en la zona de Urabá, Page (1.981). Por otra parte, las zonas bajas de la región norte de Colombia se caracterizan por plegamientos y levantamientos que se han presentado durante el cuaternario reciente; un caso pronunciado es el hundimiento de la cuenca del río Cauca a una tasa que se estima entre 2 y 4 milímetros por año.

Entre las Cordilleras Central y Occidental ha habido actividad durante el terciario y el cuaternario a lo largo de las fallas: Palestina, Romeral, Cauca, Montería, Tucura, Espíritu Santo y Murrí-Mutatá. La mayoría de estas fallas se prolongan a lo largo de amplias zonas de cizallamiento, debidas a subducciones antiguas que atraviezan la corteza terrestre, Page "(referencia citada)". Termina Sarria (1.982).

Todas las consideraciones anteriores sobre la geotectónica regional del noroccidente de Sur América, tienen implicaciones trascendentales en el riesgo sísmico del área de los proyectos Páez - La Plata.

Las fuentes sismogénicas que se discuten más adelante en este estudio están ligadas a los procesos tectónicos atrás presentados, así:

- Fuente Zona de Subducción.

Se debe a la penetración de la placa Nazca debajo de la placa Sur América y produce sismos con profundidades y ubicaciones variables, pero aceptablemente definidas al menos en términos relativos a las grandes incertidumbres siempre presentes en ambientes geotectónicos tan complejos como el colombiano.

- Fuente Sismogénica Falla Romeral.
Tiene origen en la combinación entre el movimiento sur-norte del bloque andino nacional y la compresión en el sentido este-oeste a que se ve sometido el bloque andino. La falla Romeral tiene características de rumbo y cabalgamiento.

- Fuente Sismogénica Falla Frontal de la Cordillera Oriental y su manifestación local en la Falla Altamira.
Tiene el mismo origen, aunque no necesariamente las mismas características que la falla Romeral. Esta fuente sismogénica ha dado origen a fuertes sismos en el pasado.

- Otras fuentes sismogénicas.
En el estudio se presentan otras fuentes sismogénicas de importancia, o de importancia menor en referencia al proyecto Páez - La Plata.
La génesis de estas fuentes se explica dentro del modelo tectónico regional planteado en forma resumida.

3. SISMICIDAD DEL SUR-OCCIDENTE DE COLOMBIA.

El suroccidente de Colombia ha sido escenario de grandes catástrofes sísmicas en un pasado muy reciente.

La actividad sísmica del suroccidente de Colombia se debe a la acción de la compresión general en la dirección Este-Oeste desarrolladas por las placas Nazca y Sur América. Esta compresión posiblemente en combinación con la acción del segmento Ecuador, genera sobre el territorio andino nacional un fenómeno que podría asimilarse a un proceso de extrusión, puesto que la cordillera de los Andes penetra dentro del territorio nacional relativamente angosta; al sur del país su bifurcación genera una acción de cuña que a su vez podría conducir al proceso de extrusión mencionado, al cual corresponde un movimiento hacia el norte de la zona Andina del país.

Los movimientos descritos originan la falla frontal de la Cordillera Oriental, a lo largo de la cual Pennington postula un desacoplamiento de la zona Andina del país, la cual se desplaza hacia el norte. La falla frontal de la Cordillera Oriental debe considerarse entonces como de tipo mixto, rumbo y cabalgamiento.

La actividad sísmica en la zona de subducción es generada por la placa Nazca; es presumible que regionalmente desempeñe un papel de solapamiento del segmento Ecuador mencionado por Pennington (1.981).

La actividad anteriormente presentada corresponde a la sismicidad del suroccidente del país.

De acuerdo con Ramírez (1.975) al suroccidente del país se ha presentado muchos sismos en el pasado, principalmente en la región aledaña a Popayán. Es necesario mencionar con algún detalle tres sismos, dos de ellos ocurridos en el siglo pasado en los años 1.827, 1.834 y el tercero en 1.967.

- Estos sismos están relativamente cercanos entre sí, en especial consideración que el sismo de 1.827 ocurrió en la zona intermedia entre la ocurrencia

cia de los otros dos.

Es importante observar que el epicentro localizado más hacia el sur corresponde al sismo de 1.834, el de latitud intermedia corresponde al año 1.827 y el más al norte corresponde al de 1.967. Conviene preguntarse si ha habido algún tipo de migración de focos a lo largo de la falla frontal de la Cordillera oriental; las informaciones de tipo instrumental disponibles (extremadamente cortas) han permitido a Sarria (1.982) deducir que con base en dichas informaciones no es posible detectar ningún proceso de migración de focos. Si bien la poca información disponible no permite detectar una migración de los focos, es posible que efectivamente este proceso exista y que en la actualidad sea dado presumir que en el futuro tiendan a presentarse sismos intensos preferiblemente de la Sierra de la Macarena hacia el norte. Esta hipótesis bajo ninguna circunstancia está negando que lo que antes fué activo no siga siéndolo. Las intensidades epicentrales de los sismos de 1.827 y 1834 fueron del tipo XI o tal vez XII puesto que la destrucción fué total en algunas partes; además se debe hacer notar que las áreas de alta intensidad fueron bastante extensas.

De los trozos de historia tomados textualmente de Ramírez, puede deducirse que:

- Los sismos debieron tener un foco con profundidad del orden de 50 a 70 kilómetros puesto que el área de alta intensidad fué bastante grande y el área dentro de la cual se sintieron los sismos fué así mismo extensa. Si el foco es superficial el área de intensidad máxima y el área dentro de la cual se siente el sismo son pequeñas, en términos relativos. Si el foco es muy profundo y de gran magnitud, se siente en una gran área, pero la intensidad epicentral generalmente no adquiere las características de catastrófica. Aquí debe anotarse que la intensidad de los sismos provenientes de falla de cabalgamiento es más extendida que la correspondiente a las fallas de rumbo y que la noción de profundidad del

foco no es lo mismo en ambos tipos de falla.

- La magnitud de los sismos de 1.827 y 1.834 debió ser necesariamente bastante alta. Esto se deduce por comparación con el sismo de 1.967 al cual le fué asignada una magnitud de 6.7 (Pasadena). Si los datos de Alexis Perrey (citado por Ramírez), son correctos, la magnitud del sismo de Sibundoy en 1.834 pudo ser mayor que la del año 1.827. Los consultores opinan, sin embargo, que sería razonable asignar una magnitud MB del orden de 7.5 a los sismos de 1.827 y 1.834 anteriormente citados. Por otra parte, los momentos sísmicos correspondientes serían del orden de 10^{29} dinas centímetro, puesto que el MS correspondiente podría ser del orden de 8.0 o mayor, según las correlaciones entre MB y MS hechas por Sarria y colaboradores en la Universidad de los Andes de Bogotá en 1.982.

Después de una cuidadosa evaluación de la información histórica y de un detenido estudio de las condiciones geotectónicas de tipo regional hechas sobre la base del mapa resumen del año 1.982, adelantado por el Ingeominas bajo la coordinación del doctor Clemente Ropaín, preparado para el proyecto SISRA de CERESIS, los consultores estiman que existe una buena posibilidad de que los epicentros estén ubicados alrededor de las áreas siguientes, y su foco tenga profundidad similar y un poco mayor que la del sismo del 9 de febrero de 1.967.

- Sismo del 16 de noviembre de 1.827 : Guadalupe, Huila.
- Sismo del 20 de enero de 1.834 : Noroccidente de Sibundoy Putumayo.
- Sismo del 9 de febrero de 1.967 : Cuchilla Los Picachos Huila (Ubicado mediante sismogramas).

Es necesario por último anotar que las zonas de ruptura a lo largo de la falla frontal de la Cordillera Oriental han podido tener dimensiones similares a las siguientes, suponiendo una caída de esfuerzos de 100 bars, y con-

siderando un momento sísmico del orden de diez a la veintinueve dinas por centímetro:

- Sismo del 9 de febrero de 1.967 : 500 Km² para L = 10 kilómetros.
- Sismo del 20 de enero de 1.834 : 12.500 ± 2.500 Km².
para L = 100 a 150 kilómetros.
- Sismo del 16 de noviembre de 1.967 : 12.500 ± 2.500 Km².
para L = 100 a 150 kilómetros.

Datos en los cuales L sería la longitud de ruptura horizontal a la profundidad focal.

Esta inferencia se ha hecho por comparación con el sismo del 9 de febrero de 1.967, sobre el cual se conoce la ubicación de un número apreciable de réplicas. Por otra parte la distancia epicentral al centro del área de influencia del proyecto Páez - La Plata es aproximadamente la siguiente:

- Sismo del 16 de noviembre de 1.827 : 50 kilómetros.
- Sismo del 20 de enero de 1.834 : 150 kilómetros.
- Sismo del 9 de febrero de 1.967 : 117 kilómetros.

No obstante la incertidumbre inherente a la ubicación de un epicentro, aún a partir de informaciones instrumentales, debe deducirse que el sismo del 16 de noviembre de 1.827 tiene características dominantes en el riesgo sísmico regional, puesto que es presumible que aquello que ocurrió en el pasado, pueda presentarse de nuevo en el futuro.

3.1. AREA DE INFLUENCIA SISMICA PARA EL PROYECTO.

Los consultores definen el área de influencia sísmica como un área enmarcada dentro de ciertos límites, con tales dimensiones que de ocurrir sismos intensos dentro del área, podrían presentar niveles de aceleración con cier

to riesgo para las obras.

La forma preferida del afea de influencia sísmica que se ha empleado en proyectos hidroeléctricos, es la circular alrededor del sitio del proyecto. Se sabe, no obstante, que muy posiblemente en ambientes geotectónicos como el de Colombia, la forma óptima tendería a ser elíptica con el semieje mayor orientado en la dirección NS aproximadamente.

Las características geotectónicas regionales en la zona del proyecto permiten seleccionar la forma circular, para lo cual se escoge un círculo con centro en la zona del proyecto y con radio R de 200 kilómetros. Este radio se considera adecuado para que tomando en cuenta las ecuaciones de atenuación, un sismo ocurrido en esa frontera producirá solo un efecto menor en el sitio del proyecto. El área circular así comprendida corresponde a un área aproximada de 216.000 kilómetros cuadrados, la cual enmarca un volumen considerado razonable para tratar de hacer estudios estadísticos sobre la sismicidad pasada. La anterior consideración debe tenerse en cuenta en vista de que los estudios que adelantó Richter conducen a valores de alguna confiabilidad, dependiendo del volumen de litósfera bajo consideración.

En la Figura 6 se aprecia la influencia sísmica con la ubicación de todos los epicentros conocidos; se han destacado en esta figura los tres sismos especiales a que se ha hecho referencia anteriormente; en esta figura se puede observar con cierta facilidad que existe una asociación de sismos con la zona de falla frontal de la Cordillera Oriental.

En la Figura 7 se aprecia la sismicidad somera, aquellas con focos cuya profundidad es igual o inferior a 60 kilómetros. Tal como se ha discutido, los Consultores opinan que los sismos de 1.827 y 1.834 quedarían ubicados en este mapa, aunque por ser sismos de tipo histórico no se ubican en esta figura.

En las Figuras 8 y 9 se aprecia la sismicidad con profundidades entre 61 y 120 kilómetros y mayor de 121 kilómetros respectivamente.

Se quiere hacer resaltar que para la profundidad intermedia, focos entre 61 y 120 kilómetros de profundidad, todavía hay actividad claramente asociable a la falla frontal de la Cordillera Oriental, mientras que para profundidades superiores a 121 kilómetros la actividad sísmica asociable a esta zona es prácticamente inexistente.

Debe estudiarse ahora el comportamiento de la sismicidad en la parte occidental del área de influencia, teniendo en cuenta los tres rangos de profundidad anteriormente considerados.

Ante todo, se aprecia una concentración de epicentros a lo largo de un corredor curvo de aproximadamente un grado de ancho que al sur se inicia entre los meridianos 76 y 77 grados y que termina al norte entre los 75 y 76 grados. Este corredor contiene una buena parte de los focos con profundidad conocida, y contiene así mismo una buena parte del trazo de la falla Romeral.

Más hacia la costa del Pacífico se observan algunos sismos que a primera vista no parecen asociarse a ninguna manifestación tectónica, pero que obviamente deben hacer parte del mecanismo de subducción de la placa Nazca con respecto a la placa Sur América.

Observando la Figura 7 en la cual se presentan los epicentros con profundidad somera, o a 60 kilómetros, se detectan una serie de sismos que pueden asociarse al mecanismo de subducción, mientras que otros difícilmente podrían asociarse a dicho mecanismo. En la cuenca de los ríos Páez y La Plata, se aprecian tres sismos someros de pequeña magnitud, el mayor con magnitud igual a 4.5, lo cual indica actividad sísmica local que debe comprobarse mediante estudios de microsismicidad.

En la Figura 8 que muestra los epicentros con profundidad entre 61 y 120 kilómetros, pueden apreciarse algunos eventos en las inmediaciones de la costa del Pacífico y la mayoría ubicados a lo largo de la falla frontal de la Cordillera Oriental. Deben destacarse varios epicentros localizados a lo largo del valle del río Magdalena, uno de ellos con magnitud igual a 6.

Por último, los epicentros con focos cuya profundidad es superior a 121 kilómetros, vuelven a estar ubicados en forma similar a aquellos con profundidad intermedia, exceptuando la falla frontal de la Cordillera Oriental en donde prácticamente no existen focos con profundidad igual o superior a 121 kilómetros, tal como anteriormente se había anotado. La aparente aleatoriedad de la ubicación de los focos conviene observarla desde otro ángulo, ya no sobre un plano sino sobre secciones transversales que muestren los focos en profundidad.

La Figura 10 muestra una sección transversal a la altura de los 10°N . En esta latitud el trazo de la falla frontal de la Cordillera Oriental se ubica aproximadamente a los $73,8^{\circ}\text{W}$, por lo tanto de la figura puede deducirse el buzamiento de esta estructura que es hacia el occidente, con un ángulo de unos 30° con respecto a la vertical. A la izquierda se aprecia otra tendencia aceptablemente definida correspondiente a la sismicidad de la zona de subducción cuyo ángulo es de unos 34° con respecto a la vertical. En medio de las dos fuentes de la actividad sísmica mencionadas, se aprecia una sismicidad que parece independiente de los dos mecanismos anteriores y que debe corresponder a un mecanismo de trancurrencia desarrollado a lo largo de la falla Romeral, aunque según la referencia del INGEOMINAS (1.982) anteriormente citada, el mecanismo de Romeral en esta latitud es falla inversa.

Las Figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16 muestran otras secciones transversales en las cuales puede apreciarse, a veces con cierta claridad a veces no, los tres mecanismos nombrados.

Las características de la sismicidad regional en el suroccidente del país - anteriormente presentadas, conforman el apoyo de las llamadas fuentes sismogénicas, o sea conjuntos de estructuras que debido a los desplazamientos relativos que sufren sus diferentes partes, han generado sismos en el pasado, al acumular en forma lenta energía elástica y luego liberarla en forma súbita.

4. FUENTES SISMOGENICAS.

Con base en la presentación sobre las características de la sismicidad anteriormente discutidas, los Consultores plantean tres mecanismos de liberación de energía en el área de influencia a saber: mecanismo de subducción debido a la penetración de la placa Nazca por debajo de la placa Sur América; mecanismo de fallamiento inverso mixto a lo largo de la falla frontal de la Cordillera Oriental; mecanismo de tipo transurrencia a lo largo de la falla Romeral, la cual al norte del área de influencia es planteada por el INGEOMINAS como falla inversa, presentándose muy posiblemente mecanismo de tipo mixto, falla de cabalgamiento y rumbo simultáneamente. Desde el punto de vista conceptual es importante discutir cual de estos mecanismos tiene la máxima peligrosidad.

Si se tiene en cuenta la definición del momento sísmico el cual está dado por el producto de una rigidez promedio del medio que se fractura multiplicada por el área de fractura multiplicada por el desplazamiento promedio de la zona de fractura, es dable deducir que más energía puede acumularse en un proceso de falla de cabalgamiento combinada con un desplazamiento transversal que en una falla de solo rumbo. Por lo tanto, la falla frontal de la Cordillera Oriental debe estar en capacidad de generar mayores sismos que la falla Romeral. No obstante, se anota de nuevo que la falla Romeral es considerada como inversa por el INGEOMINAS, en la zona norte del área de influencia sísmica del proyecto.

La zona de subducción tiene una gran potencialidad en el peligro sísmico, pero en Colombia, en lo que se conoce hasta ahora, solo ha generado grandes sismos en el límite de las placas, mas no en la zona de Benioff; esto quiere decir que hasta donde conocemos en la actualidad, las mayores magnitudes de la zona de subducción se han generado en la zona de subducción y no en la placa subducida; no obstante, toda la zona de subducción es presumible que esté en capacidad de liberar mucha energía.

De las consideraciones anteriores se deduce que la peligrosidad sísmica en Colombia parece mayor en la región suroccidental que hacia el noroccidente e inclusive que al nororiente. No obstante, es aventurado garantizar estas suposiciones puesto que el desconocimiento de la geotectónica colombiana es alarmante en la actualidad.

4.1. FUENTE SISMOGENICA: FALLA FRONTAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL Y SU MANIFESTACION LOCAL EN LA FALLA ALTAMIRA.

Para hacer las asignaciones de sismos asociables con una fuente sísmogénica debe tenerse en cuenta en este caso, que la sísmicidad presenta características diferentes puesto que algunos sismos son de tipo histórico, es decir sismos que no han sido registrados por ningún instrumento; otros sismos, sí han sido registrados en instrumentos y se dice entonces que la información es de tipo instrumental.

Dentro de la información instrumental existen categorías, puesto que no tiene la misma confiabilidad un foco ubicado con base en 10 buenos registros, que otro con 4 registros. Por otra parte, hay muchos sismos de tipo instrumental que no permiten ubicar la profundidad del foco.

Por las razones anotadas, la asociación de eventos sísmicos con las diferentes fuentes sísmogénicas es un proceso que exige criterio y compenetración con el problema sísmico general.

Con base en la Figura 6 la sísmicidad total asociable a la fuente bajo consideración sería del orden de 30 eventos en total. Si solo se emplean aquellos para los cuales se conoce la profundidad, la muestra se reduce a 20 eventos.

En el cuadro 1 se presentan los focos asociables a la fuente falla frontal de la Cordillera Oriental, la cual también se manifiesta en la falla Alta-

CUADRO 1

FUENTE SISMOGENICA

FALLA FRONTAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Focos con profundidad entre 0 y 60 kilómetros

| SISMO # | MAGNITUD M_b | PROFUNDIDAD | FECHA |
|---------|-------------------|-------------|----------------|
| 1903 | 6.3 | 60 | 1967 - 02 - 09 |
| 1905 | 4.3 | 31 | 1967 - 02 - 09 |
| 2051 | 4.1 | 40 | 1967 - 08 - 05 |
| 2092 | 4.9 | 39 | 1967 - 11 - 05 |
| 2710 | 3.8 | 24 | 1971 - 03 - 22 |
| 2740 | 3.0 | 50 | 1971 - 06 - 16 |
| 2869 | 5.0 | 42 | 1972 - 11 - 22 |
| 3002 | 5.2 | 42 | 1973 - 10 - 18 |
| 3277 | 3.5 | 6 | 1975 - 10 - 10 |
| 3683 | 3.9 | 47 | 1977 - 02 - 12 |

Focos con profundidad entre 61 y 120 kilómetros.

| SISMO # | MAGNITUD M_b | PROFUNDIDAD | FECHA |
|---------|-------------------|-------------|----------------|
| 534 | 6.0 | 100 | 1944 - 05 - 09 |
| 1904 | 4.4 | 62 | 1967 - 02 - 09 |
| 1933 | 4.1 | 96 | 1967 - 02 - 12 |
| 1964 | 4.5 | 83 | 1967 - 03 - 13 |
| 1966 | 4.1 | 107 | 1967 - 03 - 16 |
| 1999 | 4.5 | 90 | 1967 - 04 - 18 |
| 2119 | 4.2 | 72 | 1968 - 01 - 04 |
| 2129 | 4.9 | 68 | 1966 - 01 - 28 |
| 2388 | 4.4 | 104 | 1969 - 03 - 18 |
| 2593 | 4.5 | 65 | 1970 - 09 - 29 |

NOTA : Para los sismos indicados en esta tabla se ha señalado la magnitud M_b , mientras que en las figuras 7 y 8 se ha señalado la magnitud MS.

mira. Estos focos tienen profundidad conocida y se agrupan en primer término con profundidad de foco de 0 a 60 kilómetros y luego con foco entre 61 y 120 kilómetros de profundidad.

Del cuadro 1 se deduce que para el rango de profundidades de 0 a 80 kilómetros la frecuencia media resulta de 1 evento/año; para el rango de 61 a 120 kilómetros la frecuencia media resulta de 0.38 eventos/año; sin embargo, si se descarta el sismo 534, la frecuencia aumenta a aproximadamente 2 eventos/año.

Si se considera el rango de profundidades 0 a 120 kilómetros y se descarta el sismo 534 la frecuencia media sería del orden de 1.9 eventos/año; debe tenerse en cuenta que esta frecuencia no involucra las réplicas del sismo 1903, correspondiente al 9 de febrero de 1.967 sobre el cual se ha discutido con algún detalle en este estudio. Por otra parte, debe observarse que la frecuencia de 1.9 eventos/año puede resultar anormalmente baja si se tiene en cuenta que a partir de 1.970 no se han presentado eventos de magnitud M_b superior a 3 a lo largo de la fuente sismogénica bajo consideración, en su zona profunda, que aporta un alto porcentaje del total.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, es presumible que la frecuencia media de ocurrencia a lo largo de la fuente sismogénica esté entre 2 y 3 eventos/año.

En referencia a las profundidades, puede asumirse que la profundidad media es del orden de 60 kilómetros; la magnitud M_b última asociable con ésta fuente sismogénica debe ser del orden de 7.5 .

4.2. FUENTE SISMOGENICA: FALLA ROMERAL.

La falla Romeral parece desempeñar un importante papel en la transcurrencia del bloque Andino Nacional, con respecto a las placas Sur América y Nazca. El mapa de Ingenominas (1.982) antes nombrado postula características de fa

lla de rumbo hasta una latitud del orden de 2° 30' N, mientras que más al norte de ésta latitud las características son de cabalgamiento. No obstante, el desplazamiento NNE del bloque Andino, debe introducir a la falla Romeral una característica de mecanismo combinado, cabalgamiento y rumbo. La ubicación de la falla Romeral hace que a gran profundidad se presente una alta incertidumbre en la asociación de sismos a esta fuente sismogénica, dada la subducción de la placa Nazca a la cual se asocian sismos de todas las profundidades.

Con base en la figura 6 a la falla Romeral podrían asociársele del orden de 30 sismos entre históricos e instrumentales. Sin embargo, este número es bajo pues en el año 1.946 hubo en algo así como dos semanas un alto número de sismos con foco cercano a Popayán, los cuales tuvieron intensidades M_D entre IV y V en esta ciudad.

De los sismos con profundidad conocida puede deducirse que asociables a la falla los hay de extremadamente someros hasta bastante profundos.

En el cuadro 2 se presentan los datos de los cinco sismos con profundidad conocida.

CUADRO 2
FUENTE SISMOGENICA ROMERAL

| SISMO # | MAGNITUD* M_D | PROFUNDIDAD | FECHA |
|---------|--------------------|-------------|----------------|
| 557 | 6.3 | 100 | 1954 - 06 - 09 |
| 583 | 5.6 | 10 | 1947 - 06 - 14 |
| 757 | 6.5 | 60 | 1957 - 05 - 24 |
| 1957 | 4.2 | 15 | 1967 - 02 - 25 |
| 2336 | 4.1 | 75 | 1968 - 12 - 04 |

* Para los sismos indicados en esta tabla se ha señalado la magnitud M_D , mientras que en las figuras 7 y 8 se ha señalado la magnitud MS.

Del cuadro 2 se puede deducir una frecuencia media del orden de 0.2 eventos/año, la cual es sumamente baja. Si se añadiera la serie de sismos del año 1.946 y se tuvieran en cuenta todos los relatados por el general Tomás Cipriano de Mosquera, la frecuencia aumentaría a un valor entre 1.5 y 2 eventos/año; un valor similar se adopta para el posterior estudio de riesgo sísmico.

La profundidad media para los eventos de esta fuente sismogénica dentro del área de influencia se asume igual a 60 kilómetros; la longitud de la falla es superior a 300 kilómetros, y la magnitud última M_b se estima en alrededor de 7.

4.3. FUENTE SISMOGENICA : ZONA DE SUBDUCCION.

La zona de subducción conforma la tercera fuente sismogénica de tipo dominante dentro del área de influencia.

La penetración de la placa Nazca bajo la placa Sur América origina sismos de variadas características; los sismos de 1.906 y 1.979 (no ocurridos dentro del área de influencia) son una muestra del poder destructor de esta fuente sismogénica. No obstante, dentro del área de influencia lo que actúa de la placa subducida es la llamada zona de Benioff.

En el cuadro 3 se aprecia la lista de sismos asociables con la fuente sismogénica, para los cuales se conoce la profundidad.

La zona de subducción es una fuente sismogénica que no se adapta bien el modelo línea fuente que se emplea en este estudio para evaluar los niveles de aceleración. En este estudio la fuente se descompone en varios planos con profundidades diferentes pero con la misma sismicidad media que puede asumirse del orden de un evento por año, mientras que la magnitud M_b última dentro del área de influencia, correspondiente a esta fuente sismogénica es del orden de 7.5.

CUADRO 3
FUENTE SISMOGENICA ZONA DE SUBDUCCION

| SISMO # | MAGNITUD* M_D | PROFUNDIDAD | FECHA |
|---------|--------------------|-------------|----------------|
| 482 | 5.6 | 150 | 1935 - 10 - 27 |
| 491 | 6.3 | 90 | 1937 - 05 - 21 |
| 758 | 4.6 | 100 | 1957 - 05 - 31 |
| 894 | 4.9 | 60 | 1959 - 06 - 03 |
| 943 | 4.9 | 100 | 1959 - 10 - 31 |
| 1188 | 4.9 | 166 | 1962 - 10 - 04 |
| 1283 | 4.5 | 50 | 1963 - 08 - 20 |
| 1470 | 4.5 | 191 | 1964 - 12 - 10 |
| 1942 | 4.4 | 177 | 1967 - 02 - 16 |
| 2294 | 3.8 | 153 | 1968 - 09 - 22 |
| 2381 | 4.4 | 213 | 1969 - 03 - 02 |
| 2458 | 4.5 | 167 | 1969 - 07 - 15 |
| 2559 | 4.7 | 155 | 1970 - 10 - 24 |
| 3024 | 4.3 | 176 | 1974 - 02 - 03 |
| 3149 | 4.5 | 240 | 1974 - 07 - 27 |
| 3275 | 3.5 | 40 | 1975 - 09 - 08 |
| 3405 | 4.9 | 132 | 1976 - 07 - 06 |
| 3511 | 3.8 | 181 | 1976 - 08 - 26 |
| 3528 | 4.8 | 90 | 1976 - 10 - 12 |
| 3546 | 4.8 | 197 | 1977 - 11 - 25 |
| 3604 | 4.3 | 127 | 1977 - 04 - 09 |
| 3880 | 4.2 | 125 | 1979 - 03 - 27 |

* Para los sismos indicados en esta tabla se ha señalado la magnitud M_D , -
mientras que en las figuras 7 y 8 se ha señalado la magnitud M_S .

4.4. OTRAS FUENTES SISMOGENICAS LOCALES.

Una observación cuidadosa de las figuras 6, 7, 8 y 9 conduce a considerar otras fuentes sísmogénicas asociadas a mecanismos más locales, de menor trascendencia generalizada, pero de interés por su cercanía a la cuenca de los ríos Páez y La Plata.

4.4.1. FUENTE SISMOGENICA ASOCIADA A LA FALLA IQUIRA.

La falla Iquirá al oriente y al norte del proyecto, evidencia movimientos en épocas recientes. De acuerdo a lo indicado en las figuras 7 y 8, a esta fuente podrían asociarse los sismos 3193 y 3224 con magnitudes M_b de 4.6 y 4.0. La profundidad de estos sismos fué de 86 y 83 kilómetros respectivamente. Los parámetros de esta fuente serían: Profundidad 80 Km., longitud de falla 150 Km., M_b última 6.0 y una frecuencia de 0.2 eventos por año.

4.4.2. FUENTE SISMOGENICA ASOCIADA A LA FALLA NATAGA

La falla Nátaga puede ser de gran importancia por cruzar la zona del proyecto; por lo tanto, podría jugar un papel importante en referencia a la posible sismicidad inducida por él, o los embalses que en el futuro se construyan. A dicha fuente bajo consideración corresponderían los sismos 912, 1281 y 1471, con magnitudes M_b de 4.9, 4.3 y 3.9. Las profundidades determinadas para estos sismos son de 60, 33 y 51 kilómetros respectivamente. Los parámetros de esta fuente serían: profundidad 50 Km., longitud de falla 80 Km, M_b última de 6.0 y una frecuencia de 0.3 eventos/año.

4.4.3. FUENTE SISMOGENICA ASOCIADA A LA FALLA DEL MAGDALENA.

A esta fuente activa se asocian los sismos 2226 y 3843, con magnitudes M_b de 4.5 y 4.6 y profundidades de 77 y 56 Kilómetros respectivamente. Los parámetros de ésta fuente serían: Profundidad 60 Km., longitud de falla -

120 Km., M_b última de 6.0 y una frecuencia de 0.2 eventos/año.

4.4.4. FUENTE SISMOGENICA ASOCIADA A LA FALLA AL OCCIDENTE DEL MAGDALENA.

A esta fuente activa se asocian los sismos 1103 y 1955, con magnitudes M_b - de 4.6 y 4.2 y profundidades de 33 y 87 kilómetros respectivamente. Los pa-
rámetros de esta fuente serían: profundidad 40 Km., longitud de falla 120 -
Km., M_b última de 6.0 y una frecuencia de 0.2 eventos/año.

4.4.5. FUENTE TIPO 3, SIN CORRESPONDENCIA A UNA FALLA PARTICULAR.

Del análisis de la información instrumental registrada, en el cuadro 4, se
determina que en el área de influencia se han registrado 82 sismos con mag-
nitud M_s mayor a 3.0 en el período comprendido entre 1.958 y 1.979. De es-
tos sismos un total de 44 han sido considerados anteriormente en el análi-
sis de las fuentes sismogénicas previamente descritas. De lo anterior re-
sulta un conjunto de 17 sismos integrado por los eventos 1094, 1234, 1795 ,
1825, 1909, 1910, 1912, 1916, 1925, 1958, 1986, 2015, 2731, 3172, 3274, 3375
y 3595, para los cuales se conoce la profundidad pero que no han sido aso-
ciados a ninguna fuente particular.

Este grupo se complementaría con 21 eventos sin profundidad conocida pero -
con una magnitud superior a 3.0, lo que los hace relevantes para el riesgo
sísmico. El total de estos eventos, en número de 38, se considerarían en es-
te análisis con una fuente indeterminada (tipo 3 en el modelo), para la -
cual se tendría una frecuencia de 1.78 eventos/año, una distancia epicen-
tral de 100 kilómetros, una profundidad de 60 kilómetros y una magnitud úl-
tima de 6.0

Con el fin de establecer alguna relación entre las fallas analizadas y la -
sismicidad de la zona de proyecto, se plantearon en un mapa tectónico regio-
nal los diferentes epicentros de sismos ocurridos, tomando como base el lis

tado de eventos sísmicos dentro del área de influencia (ver apéndice A) observándose que tan solo se pueden asociar sismos respecto a la falla Moras por lo que se puede inferir cierta actividad de esta falla; respecto a las fallas Iquira, Nataga y Magdalena la ubicación de los focos y su escaso número no permite hacer una calibración con sentido estadístico claro, de modo que los parámetros aquí determinados son muy tentativos. Por ello de nuevo se insiste en el poco conocimiento de estas fuentes sismogénicas, por lo que posteriormente deben estudiarse mediante una red de microsismo dada la importancia que tienen en vista de su proximidad a las obras del proyecto. En próximas fases del estudio, cuando se conozca mejor la geología estructural regional, muy posiblemente sea necesario reajustar las características de estas fuentes sismogénicas.

5.

LIBERACION DE ENERGIA DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA.

Como un complemento al estudio de sismicidad realizado hasta aquí, los Consultores han creído conveniente estudiar la liberación de la energía sísmica dentro del área de influencia. Esta presentación puede tener importancia práctica especialmente en regiones donde el lapso de registro es más o menos largo.

De acuerdo con varios autores, la energía liberada por un sismo es una función de la magnitud del evento.

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 \text{ MS} \quad (1)$$

En esta expresión:

E = Energía liberada, dada en ergios.

MS = Magnitud media con base en ondas superficiales con T = 20 segundos.

En el anexo se aprecian las gráficas de energía anual liberada y energía total acumulada dentro del área de influencia. Para la presentación de los datos, en este caso se ha dividido el área de influencia en cuadrados de 30 x 30 minutos. Para analizar la graficación consignada en el anexo, debe tenerse en cuenta que la escala es logarítmica, de tal manera que un incremento en una unidad de magnitud, representa un orden de magnitud en la energía.

La magnitud MS ha sido obtenida del listado que se presenta en el anexo número 1.

Para facilitar la apreciación de los resultados, se ha preparado la Figura 17, la cual muestra una densidad de liberación de la energía, para lo cual se ha empleado la totalidad de los datos disponibles.

6.

RECURRENCIA DE LAS MAGNITUDES.

Richeter de Caltech, encontró una relación entre el logaritmo del número de sismos ocurridos en un lapso y las magnitudes igualadas o superadas. Desde entonces, el análisis de la recurrencia de las magnitudes se ha convertido en una herramienta muy útil en los estudios de riesgo sísmico, puesto que - para la muestra disponible permite tener una buena idea sobre la magnitud - máxima compatible con dicho lapso; si se hace uso de un criterio razonado, de estos datos puede obtenerse una idea de la magnitud última al combinarse la información estadística, con el ambiente geotectónico.

Para el análisis de regresión se emplea la magnitud MS consignada en el estudio " Actualización de la Información Sísmica de Colombia " desarrollada por ITEC LTDA., para Interconexión Eléctrica en 1979. Debe anotarse que los valores MS que aparecen en dicha información son bajos si se tiene en cuenta los resultados de Sarria y colaboradores (1.982). Por otra parte, en general las escalas de magnitud actualmente empleadas adolecen de muchas deficiencias, razón por la cual el momento sísmico es una mejor información, - que desafortunadamente no está disponible, aunque puede evaluarse, tal como se hizo en el numeral 4, para los sismos de 1.827, 1.834 y 1.967.

La ecuación de Richter tiene la forma:

$$M = A + B \ln N \quad (1)$$

Expresión en la cual:

M = Magnitud MS igual a superada.

A = Parámetro que se evalúa por regresión.

B = Parámetro que se evalúa por regresión.

N = Número de sismos que igualan o superan un nivel de referencia dado.

La sismicidad de una región está caracterizada por los parámetros A y B - mientras que la magnitud máxima que puede presentarse dentro de la región - puede inferirse en la ecuación (1), si la muestra es apropiada, aunque gene

ralmente no lo es.

Un parámetro muy empleado es el inverso de B, al cual se le llama BETA; este parámetro cuantifica la probabilidad de que dada la ocurrencia de un sismo, éste tenga una magnitud grande o pequeña. Un valor alto de BETA (2.0 a 3.0), indica una mayor ocurrencia relativa de sismos de baja magnitud, mientras que un BETA bajo (0.5 a 0.1) indica una mayor ocurrencia porcentual de fuertes sismos. El contexto de BETA, correspondiente a un temblor, debe complementarse con el número total de temblores ocurridos en un lapso dado, ya que la ocurrencia de sismos con magnitud mayor o igual que un valor de MS dado dentro de un cierto período de retorno, es función de la distribución porcentual y del número total de eventos. Este segundo parámetro está relacionado con el valor que se determina en el coeficiente A de las regresiones. Para el caso del proyecto Páez - La Plata el parámetro BETA oscila entre 1,054 y 2,198 para un área de 100 kilómetros de radio y entre 1,132 y 1,731 para el área de influencia de 200 kilómetros de radio. Los valores de BETA para el área de 200 kilómetros de radio pueden considerarse como normales; el valor de BETA igual 2,198 es ligeramente alto en términos relativos dentro de Colombia, pero se ha obtenido para un área pequeña en un lapso corto, 1.958 - 1.979; estas condiciones tal vez explican la anomalía.

Los estudios de regresión adelantados para el proyecto Páez - La Plata conducen a las siguientes ecuaciones de recurrencia de las magnitudes:

- Area de 100 kilómetros de radio.

Muestra entre 1.958 y 1.979

$$MS = 4,775 - 0,455 \ln N ; R^2 = 0,901 ; BETA = 2.198 \quad (2)$$

Muestra entre 1.922 y 1.979

$$MS = 6,712 - 0.949 \ln N ; R^2 = 0,956 ; BETA = 1.054 \quad (3)$$

Muestra entre 1.566 y 1.979

$$MS = 7,24 - 0,908 \ln N ; R^2 = 0,956 ; BETA = 1,102 \quad (4)$$

- Area de 200 kilómetros de radio.

Muestra entre 1.958 y 1.979

$$MS = 5,803 - 0,578 \ln N ; R^2 = 0,879 ; BETA = 1,731 \quad (5)$$

Muestra entre 1.922 y 1.979

$$MS = 6,94 - 0,78 \ln N ; R^2 = 0,950 ; BETA = 1,283 \quad (6)$$

Muestra entre 1.566 y 1.979

$$MS = 7,739 - 0,884 \ln N ; R^2 = 0,981 ; BETA = 1,132 \quad (7)$$

Los Consultores desean insistir en que las regresiones han sido obtenidas con base en la información existente, la cual usó las correlaciones dadas por Bath (1.973). Estas correlaciones tienen cierta dependencia regional.

En el catálogo de ISA la mayoría de la información básica se inicia con la magnitud M_D y de allí se deriva la magnitud M_S . En la actualidad ya existen estudios para Colombia que si se aplican al catálogo de ISA, conducirían a valores M_S mayores que los determinados en las ecuaciones (2) a (7).

La base de las ecuaciones (2) a (7) puede consultarse en el cuadro 4, la cual se ha extractado de los listados presentados en el Anexo 1.

7. ACELERACION MAXIMA SOBRE LA "ROCA BASE".

7.1.

ASPECTOS GENERALES.

Para la determinación de la aceleración máxima sobre la roca base y en el centro de gravedad aproximado del área de influencia del proyecto Páez - La Plata, debe tenerse en cuenta la magnitud máxima esperada para la zona, de acuerdo con los datos presentados en el Capítulo 5, en el cual se resumen los parámetros de las subfuentes de actividad sísmica que los Consultores han postulado en este informe.

Los Consultores han contemplado varias alternativas para considerar la sismicidad de la zona en el análisis según los conceptos expresados en el capítulo anterior. Se ha considerado un contexto de sismicidad regional dado por las ecuaciones (2) a (7) en el cual el parámetro BETA tendría valores entre 1.05 y 2.19.

Para la determinación de la aceleración máxima en la roca base para una zona localizada alrededor del centro de gravedad del área de influencia sísmica, se emplea el modelo línea fuente que se discute a continuación.

7.2.

EL MODELO "LINEA FUENTE".

Tal como se ha mencionado, para el análisis del riesgo sísmico se ha empleado el programa "Línea Fuente" (Line Source Model) desarrollado en la Universidad de Illinois U.S.A. por A. der Kiureghian y A.H.S. Ang.

El modelo "Línea Fuente" es uno de los más modernos y confiables de que se dispone en la actualidad para la determinación del riesgo sísmico, entendido en este estudio como el valor máximo esperado para la aceleración espectral sobre un terreno firme en la zona del proyecto, para períodos de retorno variables.

El modelo "Línea Fuente" considera una serie de variables tales como: mag-

nitudo máxima y mínima; distancia entre la fuente de actividad sísmica y el proyecto; ecuaciones de atenuación de la aceleración. Todos los conceptos son tratados desde un punto de vista probabilístico y la coherencia general del modelo es sin lugar a dudas excelente.

Se ha introducido una serie de complementaciones al programa original que hacen su empleo más expedito y adecuado para el tipo de problemas como el presente.

En el capítulo 5 se han discutido las fuentes de actividad sísmica que los Consultores consideran contribuyentes al riesgo sísmico en este caso y los parámetros con que deben introducirse al modelo "Línea Fuente". Este programa ha sido corrido en un computador Wang.

Para su operación dentro de las fuentes sismogénicas, el programa "Línea Fuente" requiere una expresión que ligue la longitud de ruptura de una falla geológica con la magnitud máxima esperada correspondiente a dicha longitud de ruptura.

Se ha comprobado que existe una cierta correlación entre la longitud de una falla y la magnitud máxima que puede esperarse que dicha falla genere. Esta correlación ofrece dispersiones notables no solamente porque el fenómeno mismo depende de las condiciones geotectónicas regionales, sino también porque los estudios geológicos a menudo no permiten conocer el trazo de la falla en su totalidad.

Ambrasseys ha estudiado correlaciones entre las longitudes de ruptura de una falla y la magnitud de los temblores generados en rupturas de fallas ubicadas en diferentes partes del mundo. El autor citado ha encontrado las siguientes ecuaciones de regresión entre la longitud de ruptura L y la magnitud M_s :

- Límite Superior : $L = \text{exponente } (1,150 M_S - 3,35)$ (8)
- Mejor Ajuste : $L = \text{exponente } (1,596 M_S - 7,56)$ (9)
- Límite Inferior : $L = \text{exponente } (1,615 M_S - 8,58)$ (10)

Para el caso del proyecto Páez - La Plata, los Consultores han empleado la ecuación 9.

7.3.

ATENUACION DE LA ACELERACION.

Las regresiones planteadas para calcular la aceleración que se produce en el sitio como resultado de un temblor de magnitud M localizado a una distancia R del sitio tiene la forma:

$$a = b_1 e^{b_2 M} (R + b_4)^{-b_3} \quad (11)$$

donde los distintos investigadores que han trabajado en el tema plantean diferentes valores de b_1 , b_2 , b_3 y b_4 en sus regresiones, al haber considerado distinto muestreo y características de la correlación. Las ecuaciones más empleadas en la actualidad son las siguientes:

$$\text{- Esteva} \quad a = 1.230 e^{0.8 M} (R + 25)^{-2} \quad (12)$$

$$\text{- Donovan} \quad a = 1.320 e^{0.58 M} (R + 25)^{-1.52} \quad (13)$$

$$\text{- Mc Guire} \quad a = 472.3 e^{0.64 M} (R + 25)^{-1.30} \quad (14)$$

Donde a es la aceleración en cm/seg^2 , M es la magnitud M_S y R es el radio focal en kilómetros. En cada paso la correlación va acompañada con el coeficiente de dispersión correspondiente, el cual sirve de criterio para cuantificar la incertidumbre asociada. Debe anotarse que existe gran dispersión de los datos en ecuaciones de regresión del tipo (12) a (14).

Para el caso de la evaluación del riesgo sísmico para el proyecto Páez - La Plata o de cualquier otro proyecto, es necesario emplear ecuaciones tales como las (12) a (14) en vista de que para Colombia no se han hecho estudios

completos tendientes a evaluar la atenuación de la aceleración con la distancia. La carencia de acelerógrafos, o más bien su poco número actual, es la razón principal para no disponer de los datos necesarios para poder hacer estos estudios.

7.4.

INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LA DETERMINACION DEL RIESGO SISMICO

Las expresiones (12) a (14) corresponden a curvas de mejor ajuste sobre una población estadística, por lo tanto llevan una incertidumbre asociada inherente a la expresión misma. Por ejemplo, en una expresión como las nombradas podría pensarse que el 50% de los valores de la aceleración correspondería a valores mayores que los recomendados y el otro 50% correspondería a valores inferiores.

Alrededor del valor medio de las expresiones empíricas para la evaluación de la aceleración habrá una dispersión que puede representarse por una curva de distribución normal. En un buen diseño, se debe tener en cuenta que los valores extremos jugarán un papel trascendente. Por lo tanto, cuando se dispone de regresiones de mejor ajuste es necesario adoptar un valor de confiabilidad apropiado para tener en cuenta la incertidumbre asociada al fenómeno bajo consideración.

Además de la incertidumbre en la aceleración, habrá otras tales como la ubicación de los focos, la determinación de la magnitud, la ubicación de las fallas geológicas, el nexo entre la magnitud y la longitud de ruptura, las características poco conocidas de los sismos generados en las zonas de Benioff y seguramente otras funciones.

Estas incertidumbres y otras más deben estar cubiertas en forma razonable en un estudio de riesgo sísmico. Para el modelo "Línea Fuente" empleado en referencia al proyecto Páez - La Plata, la aceleración dada por las expresiones (12) a (14) es una variable aleatoria que obligaría a considerar las

funciones de probabilidad conjunta de las variables de magnitud, distancia focal y la distancia de propagación de la ruptura a lo largo de la falla o al mecanismo de liberación de la zona de Benioff.

No obstante, los estudios de varios investigadores demuestran que no es necesaria tanta sofisticación puesto que el peso de la distancia a la zona donde se esta produciendo la ruptura es bastante menos significativa que la incertidumbre debida a la ecuación de atenuación.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la incertidumbre general en la ecuación de atenuación se maneja dentro del marco teórico siguiente: Una variable aleatoria como la aceleración puede representarse por la expresión siguiente:

$$\ln Y_a = \ln Y + Z \quad (15)$$

En la cual:

Y_a = aceleración real.

Y = aceleración calculada.

Z = variable aleatoria.

Si en la ecuación 15 se emplea el teorema de la probabilidad total, el riesgo de que Y_a ≥ Y se obtiene mediante la expresión:

$$P (Y_a > Y) = P (\ln Y_a > \ln Y) \quad (16)$$

$$P (Y_a > Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} P (\ln Y_a > \ln Y \mid Z = z) F(z) dz \quad (17)$$

La variable aleatoria Z puede expresarse mediante la fórmula:

$$Z = \ln X_1 - b_3 \ln X_2 \quad (18)$$

En la cual X₁ es una variable aleatoria que tiene en cuenta las incertidumbres asociadas al camino recorrido por el tren ondulatorio y las condiciones locales del suelo, la forma de la ecuación (11) y las debidas a los pará

metros b_1, b_2, b_3 y b_4 de la misma ecuación. La variable X_2 también es aleatoria y tiene en cuenta las incertidumbres asociadas a la distancia focal de la ecuación (11).

En la ecuación (18) el mayor peso corresponde a la variable X_1 la cual tiene la distribución normal, por lo tanto en la ecuación (18) es razonable asumir una distribución normal para Z , entonces:

$$P(Y_a > Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} P(Y > y e^{-z}) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2} dz \quad (19)$$

En la ecuación (19) μ y σ son la media y la desviación estándar de la ecuación (18); para todos los casos $\mu = 0$ y σ sería 1.19, 0.89, 0.57 según se use la ecuación de Esteva, Donovan o Mc Guire respectivamente. Los límites de integración pueden reemplazarse por -3σ y $+3\sigma$ desde un punto de vista práctico. El programa "Línea Fuente" empleado en este estudio permite evaluar la expresión (19) y determinar el valor de aceleración de diseño para diferentes períodos de retorno.

7.5. DATOS PARA EL MODELO DE RIESGO SISMICO.

Los datos básicos de las fuentes sismogénicas determinada en el área aférente del proyecto Páez - La Plata fueron disjutidos en el capítulo 5.

Las magnitudes últimas determinadas son del tipo M_p , por lo que es necesario mantener sus magnitudes M_S equivalentes que son las requeridas por el modelo de "Línea Fuente". Para ello el estudio de ITEC Ltda. para ISA empleó en 1.979 la ecuación de Bath:

$$M_S = 1.79 M_p - 5.18 \quad (20)$$

la cual produce las magnitudes comparativas incluídas en el anexo N° 1 para cada temblor, obtenidas en dicha oportunidad.

Tal como se indicó en el numeral 7 de este informe, Sarria y sus colaborado

res (1.982) determinaron una expresión basada en regresiones de información colombiana y según la cual

$$M_S = 1.63 M_D - 3.55 \quad (21)$$

la cual es local y debería ser más válida que la expresión (20) por lo anterior se utiliza la expresión (21) como el criterio para determinar la primera evaluación de la magnitud M_S última (Máxima) de las fuentes en el análisis.

Los parámetros que finalmente se han determinado para el análisis son los siguientes:

| FUENTE | EVENTOS/ AÑO | (M_S)ult. | Dist.Epicent. Km | Profundid. Km | Longitud Km |
|-------------------------|-----------------|---------------|---------------------|------------------|----------------|
| C.Oriental/ Altamira | 2.0 | 8.2 | 40 | 60 | 150 (L/2) |
| Romeral | 1.5 | 7.5 | 80 | 60 | 150 (L/2) |
| Subducción | 1.0 | 8.2 | 100 | 80 | - |
| Iquira | 0.2 | 6.2 | 10 | 80 | 150 |
| Nataga | 0.3 | 6.2 | 20 | 50 | 40 (L/2) |
| Magdalena | 0.2 | 6.2 | 20 | 60 | 60 (L/2) |
| Occ.Magdalena | 0.2 | 6.2 | 30 | 40 | 120 |
| Anular | 1.78 | 6.2 | 100 | 60 | - |

Para las fallas simétricas en el modelo se ha tomado la mitad de la longitud con el total de la sismicidad (el doble localmente) en ella.

El valor de BETA ha sido tomado como 1.28, considerado como un valor representativo y relativamente crítico.

La muestra que da el número de eventos/año ha sido seleccionada con magnitud mínima de 3.0.

Se han realizado análisis con las estaciones de Esteva, Donovan y Mc Guire para considerar la sensibilidad de la respuesta a la ecuación de atenuación.

7.6.

RESULTADOS PARA EL VALOR DE LA ACELERACION.

El modelo de "Línea Fuente" fué utilizado para realizar el análisis de la - recurrencia de la aceleración como función del período de retorno. Con base en los resultados obtenidos (Apéndice C), se ha dibujado la Figura 18 que - se explica por sí misma.

De los resultados de este estudio, los Consultores consideran que un valor de la aceleración del terreno firme, o roca base de cimentación, podría ser del orden del 18% de la aceleración de la gravedad.

Este nivel de aceleración debe comprobarse para el o los proyectos que en - definitiva se pasen a nivel de factibilidad. Los estudios sobre ingeniería sísmica que se deben adelantar posteriormente se plantean en los siguientes capítulos.

8.

RED DE MICROSISMO.

La presencia de los eventos 1471, 912, 1281, 1955 y 3149 en la hoya de los ríos Páez y La Plata y de los eventos 1103, 3193 y 3224 parecen ser una indicación de la naturaleza que debe tenerse en cuenta sobre la actividad sísmica muy reciente en la zona del proyecto, o posiblemente a lo largo de la falla al occidente del río Magdalena.

Recientes exploraciones de campo realizadas por Willam Page en la zona del proyecto le han mostrado que definitivamente hay actividad de varias fallas dentro del cuaternario reciente.

Qué tanta actividad hay, con qué frecuencia, a qué profundidad, en qué coordenadas, cómo están orientados los esfuerzos y los planos de falla son preguntas de importancia trascendental dentro de una evaluación lo más racional posible del riesgo sísmico para los proyecto Páez - La Plata.

Las inquietudes anteriores, o al menos una parte de ellas, pueden absolverse mediante la adquisición, colocación en el sitio previsto y operación posterior de una red de microsismo. En este numeral los Consultores discuten las características de la red que debe colocarse y operarse en el proyecto Páez - La Plata.

8.1.

OBJETIVOS DE LA RED DE MICROSISMO.

Los objetivos de la red de microsismo son los siguientes:

- Observar la frecuencia de ocurrencia de pequeños sismos llamados microsismos.
- Ubicar el foco y el epicentro de los microsismos detectados por la red.
- Analizar si existe correlación entre los epicentros o focos y trazas de fallas geológicas conocidas o inferidas.
- Mediante la reducción de datos de la red postular un modelo de velocidad

des corticales en la zona de la red.

- Estudiar los mecanismos de la falla y deducir, si es posible, la dirección y características de los campos de esfuerzo.
- Integrar los resultados de los mecanismos focales dentro del contexto geotectónico regional.

8.2.

NUMERO DE INSTRUMENTOS DE LA RED.

En principio, el número de instrumentos de la red debe ser el más alto posible dentro de los límites razonables; este deseo u objetivo no puede cumplirse en la realidad nacional por aspectos de costo. Debe tenerse en cuenta que una red de microsismo representa costos de inversión del orden de 5 a 6.000 dólares por instrumento (para los más sencillos) y que la operación de la red demanda por lo menos un pequeño grupo de dedicación exclusiva a esta labor para la cual requieren transporte propio y permanente.

Por otra parte, un reducido número de instrumentos no permite cumplir los objetivos de la red. Debe entonces buscarse un número mínimo pero útil.

El espaciamiento de los instrumentos no puede ser mucho puesto que esto exige trabajar con ganancias muy altas, de tal manera que si el nivel de ruido no es muy bajo, la operación de la red resultaría imposible.

Si el espaciamiento es muy pequeño, el cubrimiento interno de la red es así mismo pequeño; por lo tanto, un pequeño espaciamiento de los equipos representará una probabilidad baja de localizar eventos dentro de la red, al menos al principio. Si la red opera por un lapso largo, esta deficiencia tiene remedio.

Con base en las consideraciones anteriores y teniendo en cuenta las dificultades de acceso y el tiempo que requiere visitar cada estación diariamente, o siquiera cada 48 horas, los Consultores consideran que debe disponerse de una red mínima conformada por cinco estaciones por lo menos.

8.3. UBICACION DE LOS INSTRUMENTOS.

Para la ubicación de los cinco instrumentos propuestos como mínimo para la red los Consultores han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Geología local tan homogénea como las circunstancias lo permitan; esto con el fin de reducirle incertidumbres a las velocidades corticales.
- Accesibilidad para poder hacer el mantenimiento que exige la red.
- Zonas identificadas como potencialmente activas desde el punto de vista regional y en referencia a los sismos.
- Vandalismo, para proteger la red de los posibles malos vecinos.
- Nivel de ruido sísmico previsto, tan bajo como las circunstancias lo permitan.

Con base en estas consideraciones, los Consultores han seleccionado los sitios siguientes para la ubicación de los instrumentos de la red de microsismo del proyecto Páez - La Plata.

- Poblaciones : La Plata, Tesalia, Nataga e Inzá.
- Zona central al polígono formado por las líneas que unen a las poblaciones anotadas.

El área cubierta por la red resulta de aproximadamente 750 kilómetros cuadrados.

Cuando se decida la instalación de la red, debe hacerse un viaje de inspección para seleccionar los sitios físicos sobre los cuales se instalarán los instrumentos.

En principio las formaciones geológicas dominantes en las áreas preseleccionadas corresponden a depósitos cuaternarios, rocas sedimentarias y rocas volcánicas. Esta mezcla no es lo mejor, pero la verdadera ubicación de cada estación es desconocida por ahora; por lo tanto más detalle no se justi-

fica.

8.4. OPERACION DE LA RED.

En un caso óptimo, un grupo de trabajo de campo lograría atender la totalidad de la red, aunque puede llegar a ser muy difícil.

El grupo de campo lo conforman un técnico a nivel de estudiante de geología o ingeniería, con un obrero y un chofer. El grupo de campo debe disponer de un campero permanentemente a su servicio.

El grupo de campo debe ir soportado por un geofísico y un ingeniero sismológico, ambos de tiempo parcial, tal vez con una dedicación de un cuarto de tiempo cada año. Debe tener un técnico en sismología con dedicación de medio tiempo.

La labor del grupo de campo es cambiar el papel de los equipos, chequear el estado general y sincronizar los tiempos.

La labor del grupo de oficina es el procesar e interpretar los datos para luego formular modelos geotectónicos regionales.

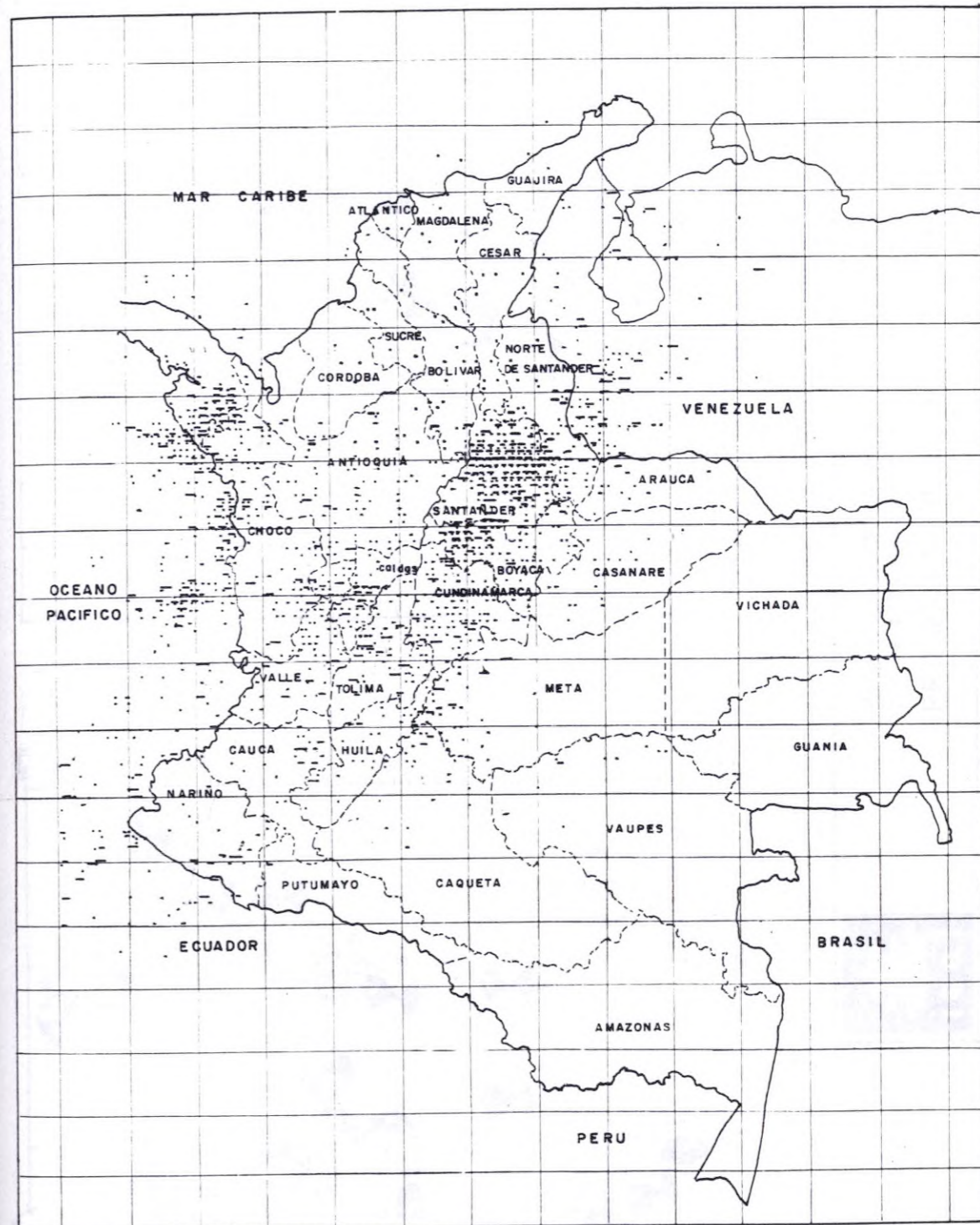
9.

TRABAJOS FUTUROS.

Los trabajos futuros deben estar centrados a la introducción de los nuevos conocimientos dentro del riesgo sísmico, para poder determinar los niveles de fuerza sobre las estructuras, o sea la generación de espectros de diseño.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

FIGURAS



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA



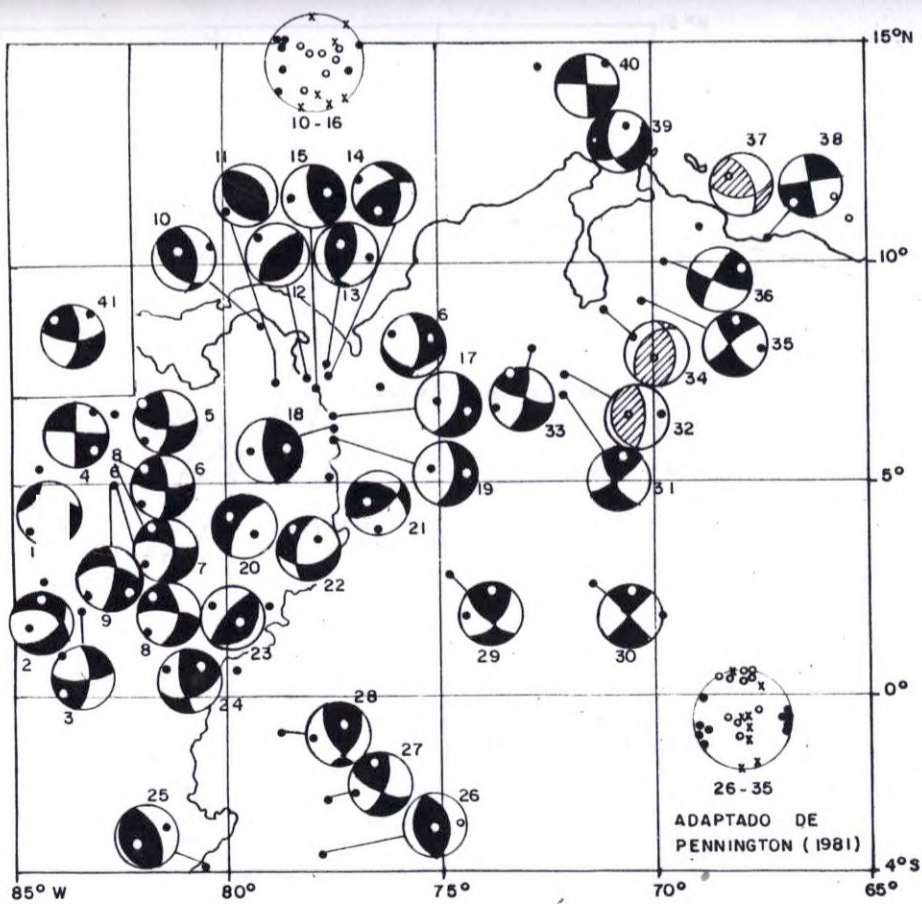
CONSULTORIA COLOMBIANA
Escuelas Indicadas

EPICENTROS DE SISMOS

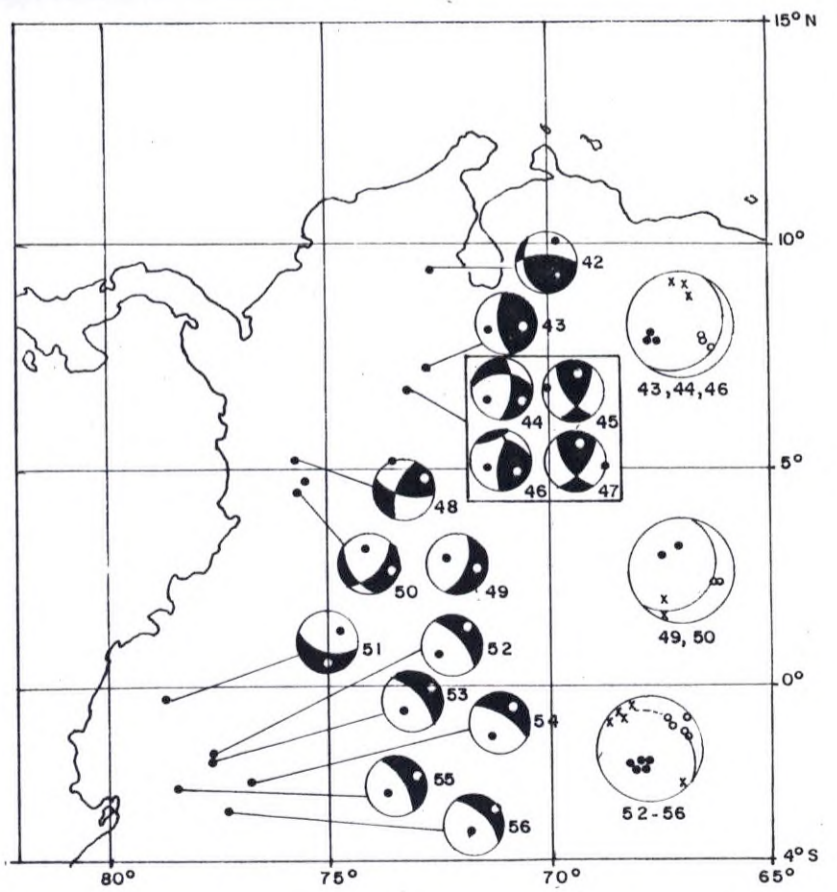
CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Bogotá, Abril de 1983

FIGURA - 1



PARTE A



PARTE B

CONVENCIONES.-

- () Primeras llegadas compresionales.
- o Ejes T
- Ejes P

PARTE A Focos entre 0 y 80 Km.
 PARTE B Focos entre 81 y 180 Km.



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

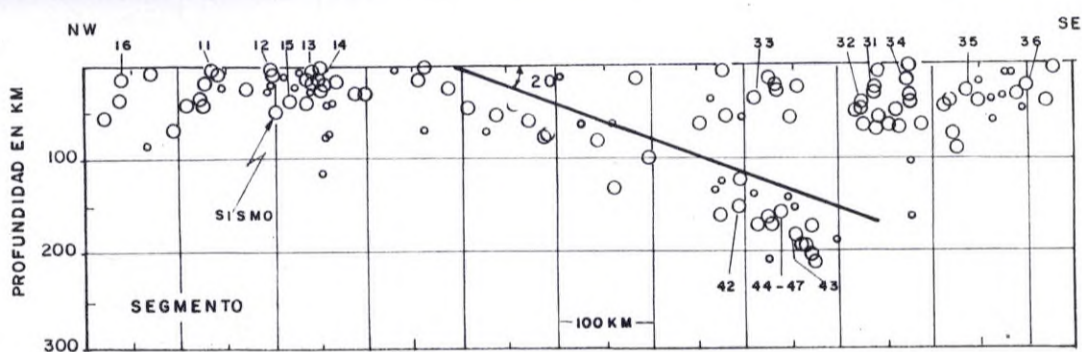
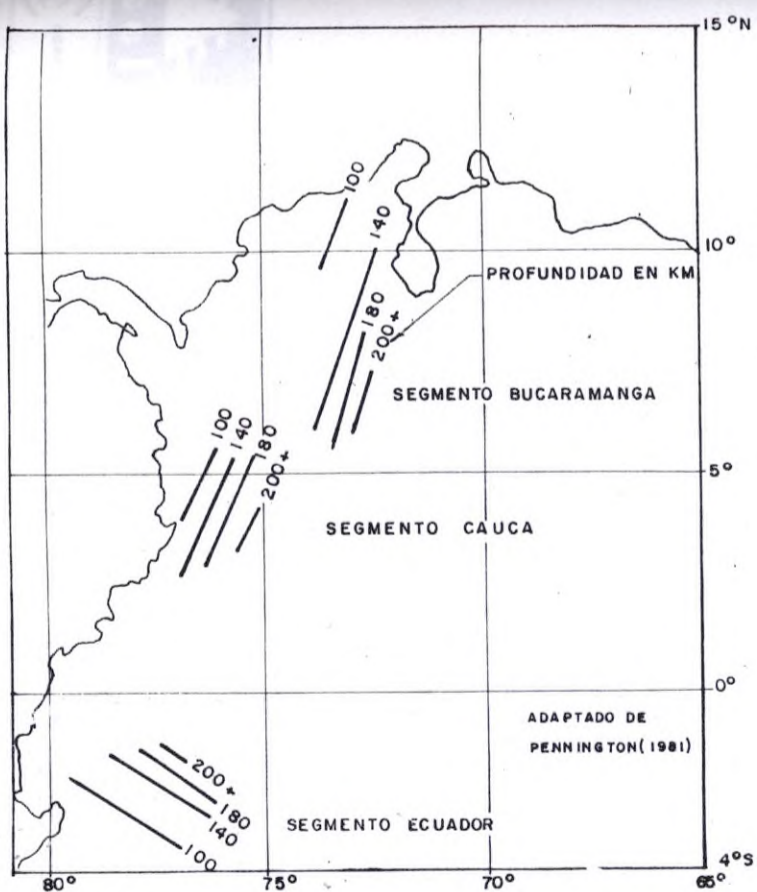
MECANISMOS FOCALES



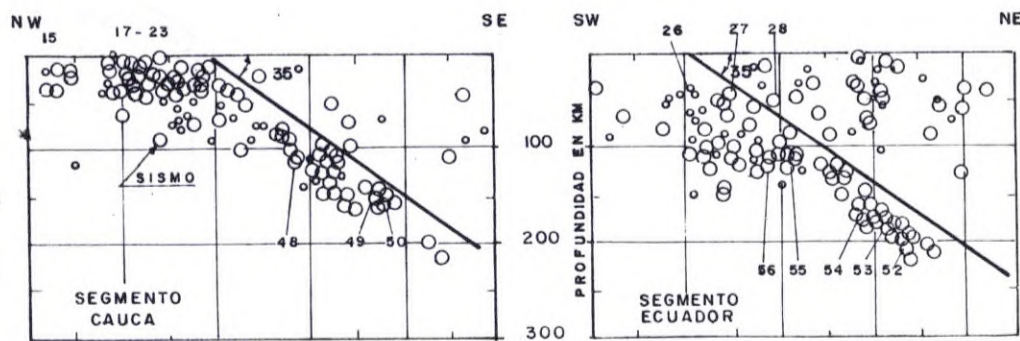
CONSULTORES CIVILES
 E HIDRAULICOS

Escala :

Bogota, Abril de 1983



SECCION TRANSVERSAL POR EL SEGMENTO BUCARAMANGA



SECCIONES TRANSVERSALES POR LOS SEGMENTOS CAUCA Y ECUADOR

NOTA.

Pennington plantea tres zonas de Benioff en el nor-occidente de América del Sur. Las secciones transversales del lado derecho permiten inferir el buzamiento de las placas subducidas.



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

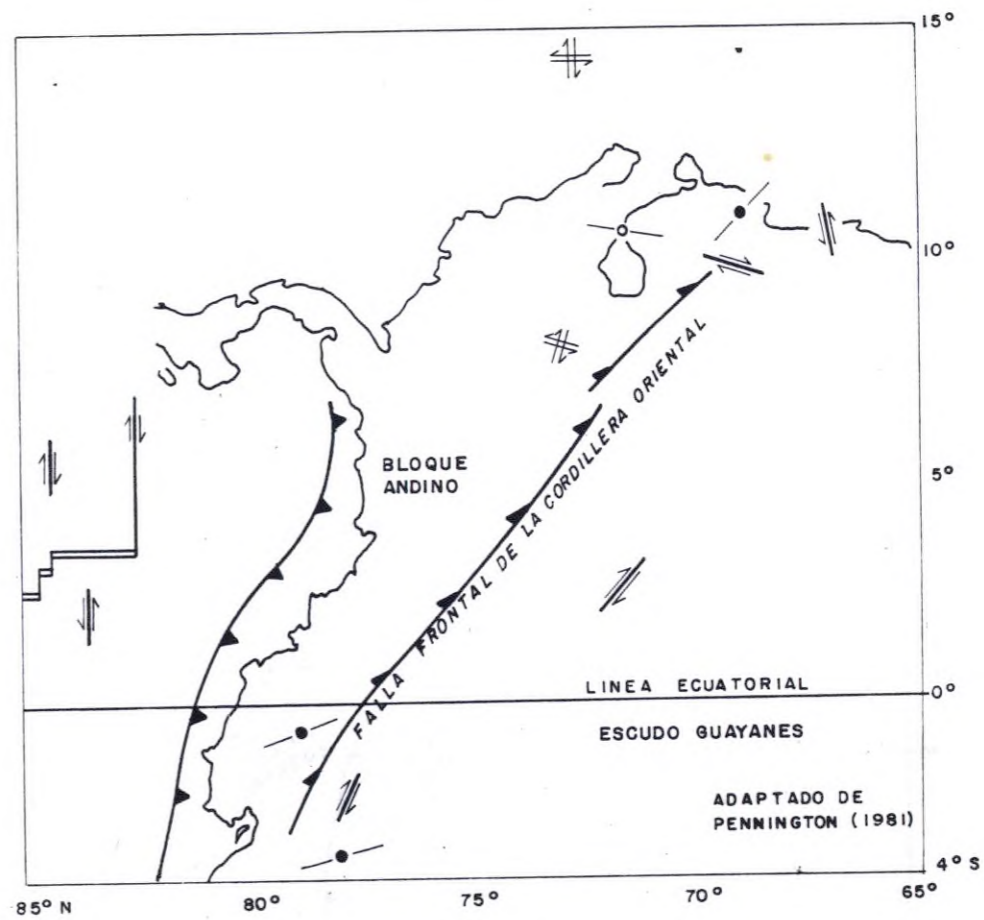
ZONAS DE BENIOFF



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Escala:

Bogota, Abril de 1983



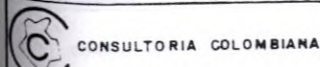
PARTE A

Las soluciones de mecanismos focales para eventos de profundidad menor de 80 km ocurren a lo largo de algún rasgo principal, mostrado en esta figura, o están representados individualmente por símbolos de falla. El fallamiento normal está representado por un círculo en blanco y por flechas apuntando hacia afuera a lo largo del eje de tensión; el fallamiento inverso está representado por un círculo lleno y las flechas apuntan hacia adentro en dirección del eje de compresión; el fallamiento transcurrente está representado por un solo par de flechas, en donde el plano de falla se supone situado; en otro caso se dibujan dos pares de flechas.



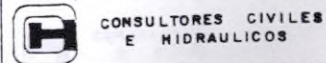
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA

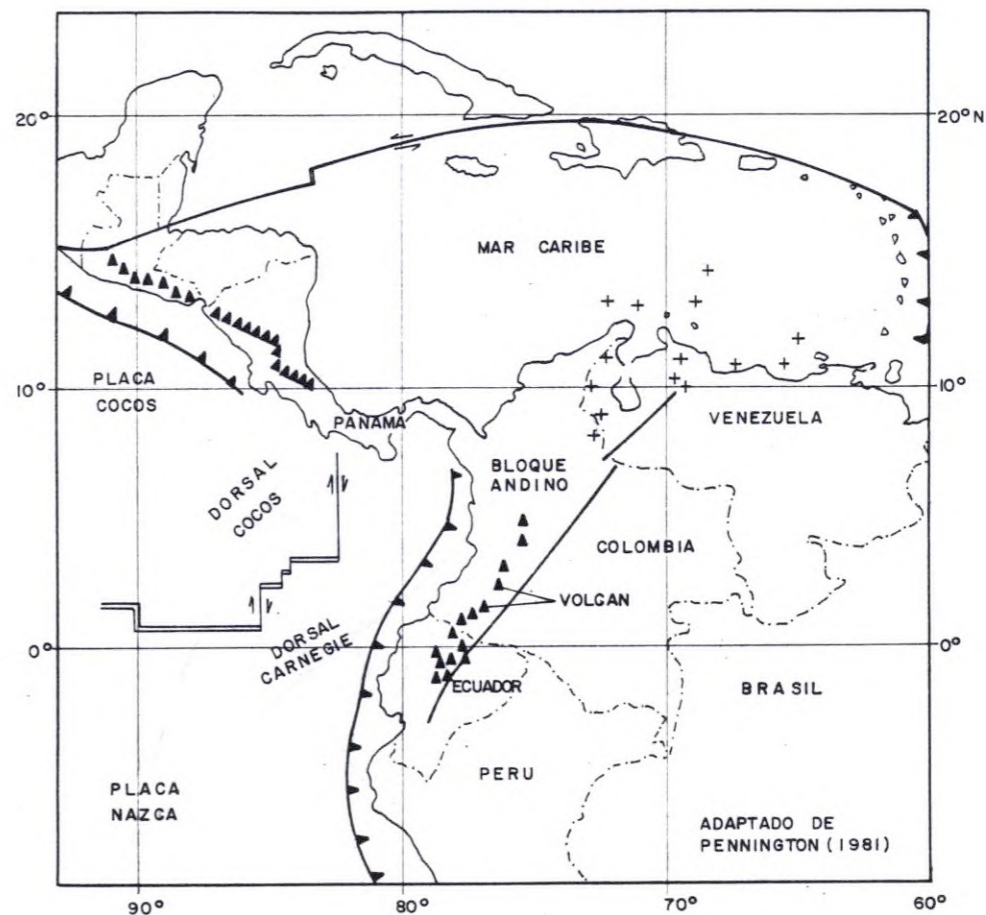


Escalas Indicadas

DIRECCION DE LOS CAMPOS DE ESFUERZO



Bogotá, Abril de 1983



Parte b

Los límites cerca del borde Norte del bloque Andino y Sur del Caribe son todavía imprecisos, las regiones de sismicidad actual en esa unión están representadas por pequeñas cruces



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

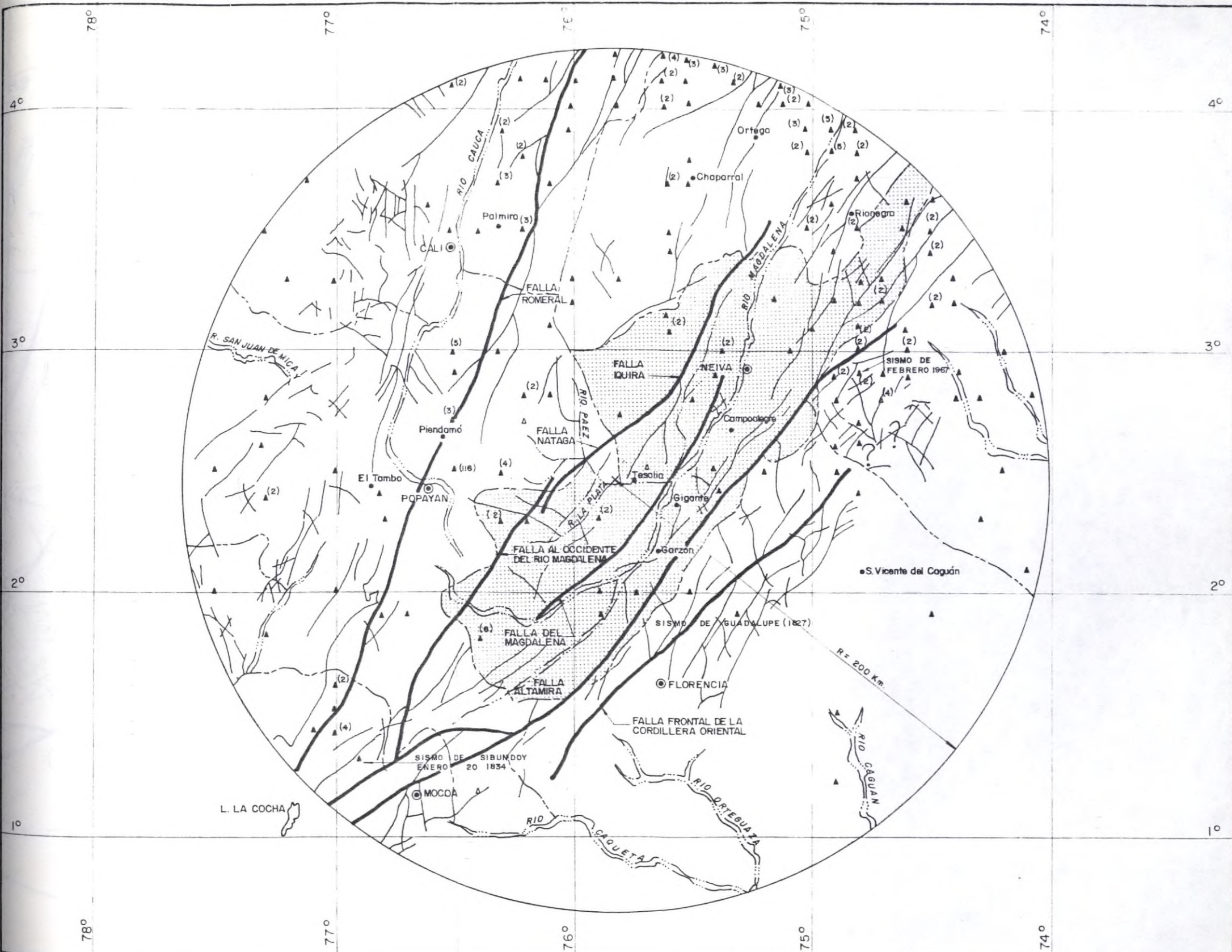
RASGOS SISMOTECTONICOS PRINCIPALES
DEL NOROCCIDENTE DE SUR AMERICA




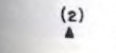
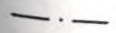
CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Escalas: Indicadas

Bogotá, Abril de 1983



CONVENCIONES:

-  FALLA GEOLOGICA
-  EPICENTRO SISMICO (son dos)
-  LIMITE DEPARTAMENTAL



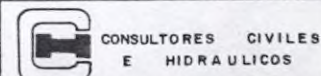
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA

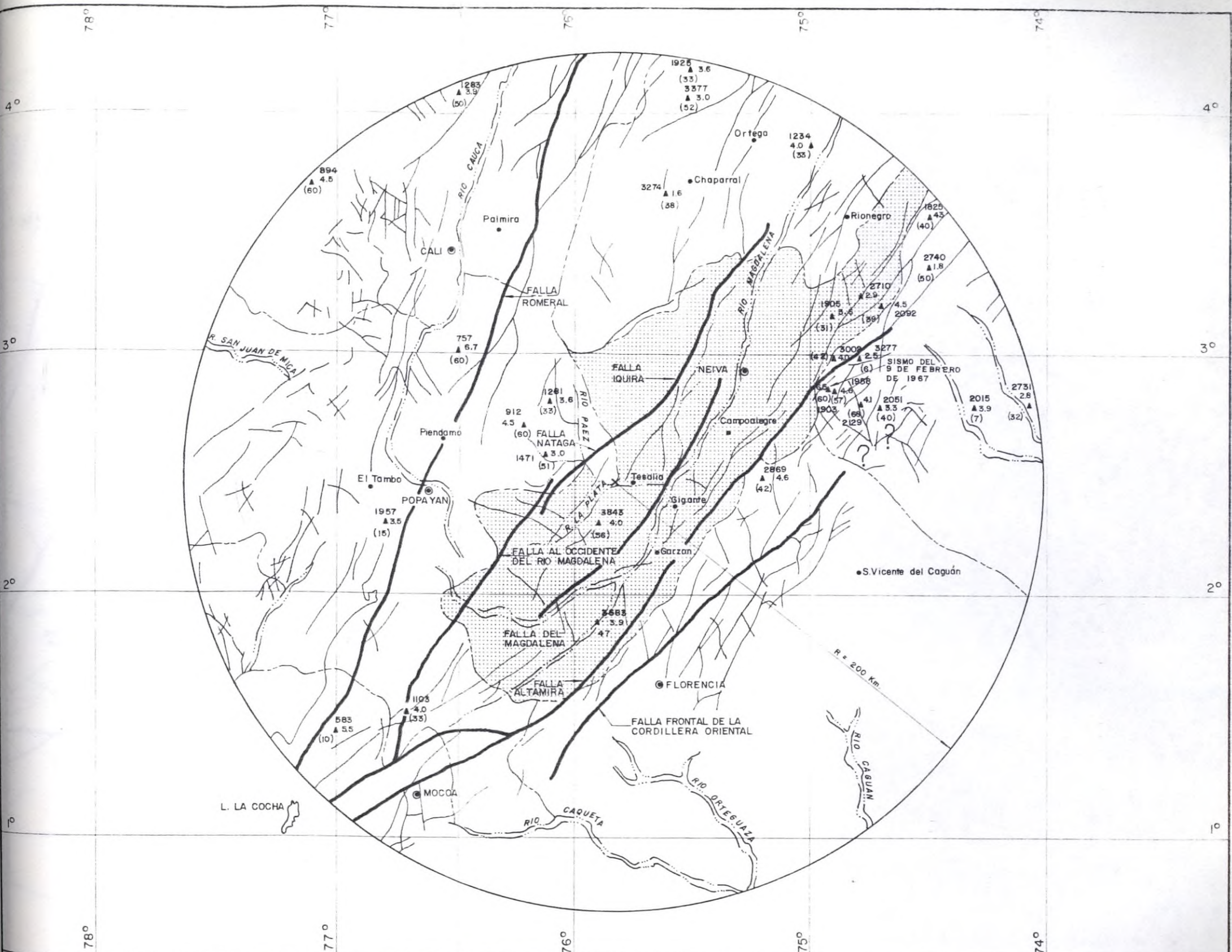


Escala:

AREA DE INFLUENCIA DE SISMICIDAD TOTAL



Bogotá, Abril de 1983



CONVENCIONES:

— FALLA GEOLOGICA

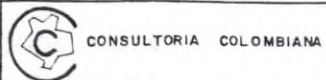
SISMO QUE OCUPA EL LUGAR 3583 EN EL LISTADO ISA, CON MAGNITUD 3,9 Y PROFUNDIDAD DE 47 Km.

--- LIMITE DEPARTAMENTAL

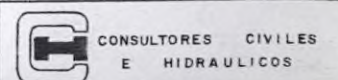


INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

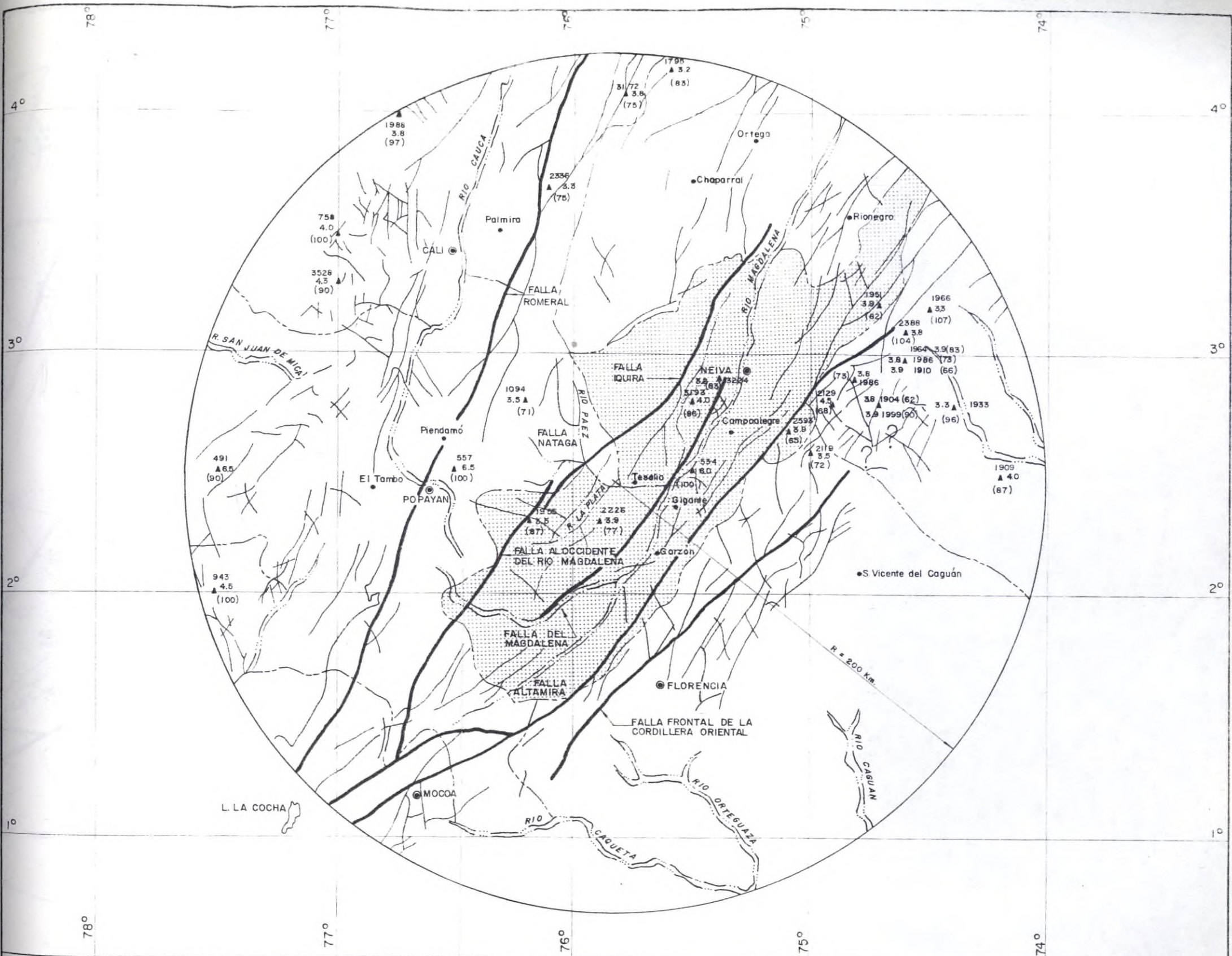


AREA DE INFLUENCIA CON FOCOS
CUYA PROFUNDIDAD ES \leq 60 Km.



Escala:

Bogotá, Abril de 1983



CONVENCIONES:

— FALLA GEOLOGICA

SISMO QUE OCUPA EL LUGAR 534 EN EL LISTADO
ISA CON MAGNITUD 6,0 Y PROFUNDIDAD DE 100 Km.

--- LIMITE DEPARTAMENTAL



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

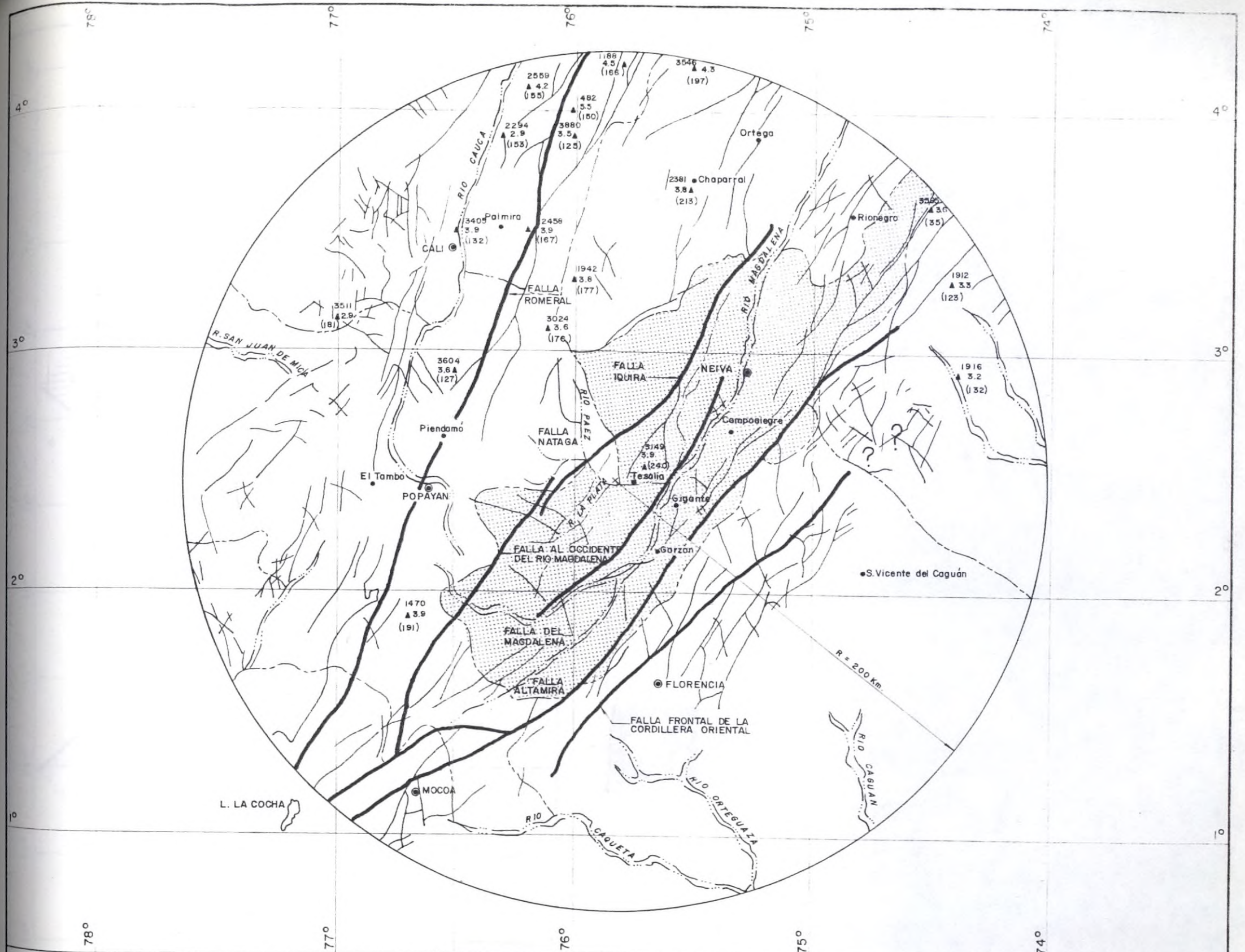
Escala:

AREA DE INFLUENCIA CON FOCOS CUYA
PROFUNDIDAD ESTA ENTRE 61 Y 180 Km.



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Bogotá, Abril de 1983



CONVENCIONES :

— FALLA GEOLOGICA

SISMO QUE OCUPA EL LUGAR 3149 EN EL LISTADO
ISA CON MAGNITUD 3,9 Y PROFUNDIDAD DE 240 Km.

- - - LIMITE DEPARTAMENTAL



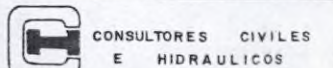
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA

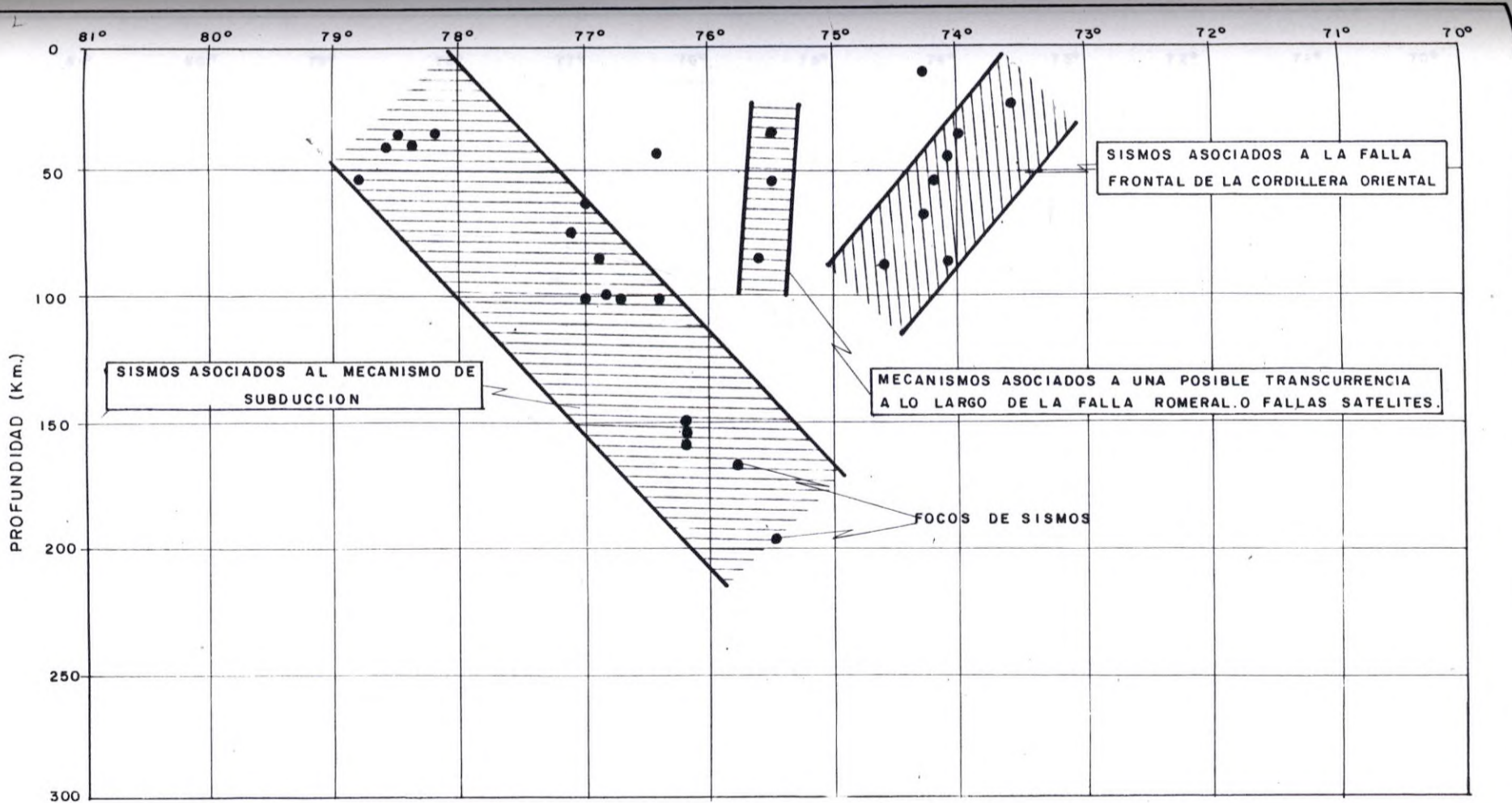


Escala:

AREA DE INFLUENCIA CON FOCOS
CUYA PROFUNDIDAD ES SUPERIOR A 121 Km.



Bogotá, Abril de 1983



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

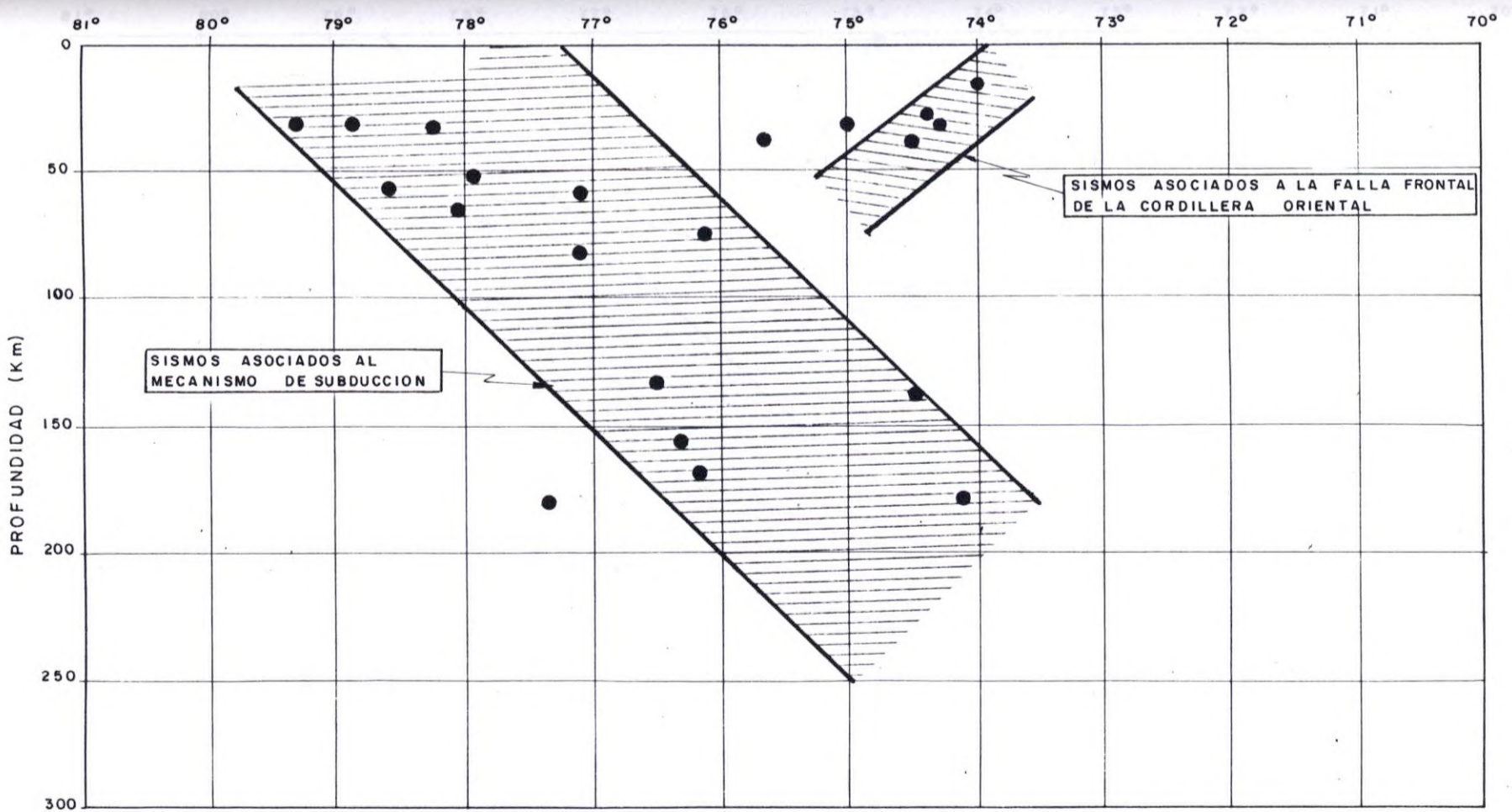
Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 km.

SECCION - TRANSVERSAL 4°N



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Bogotá, Abril de 1983



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km

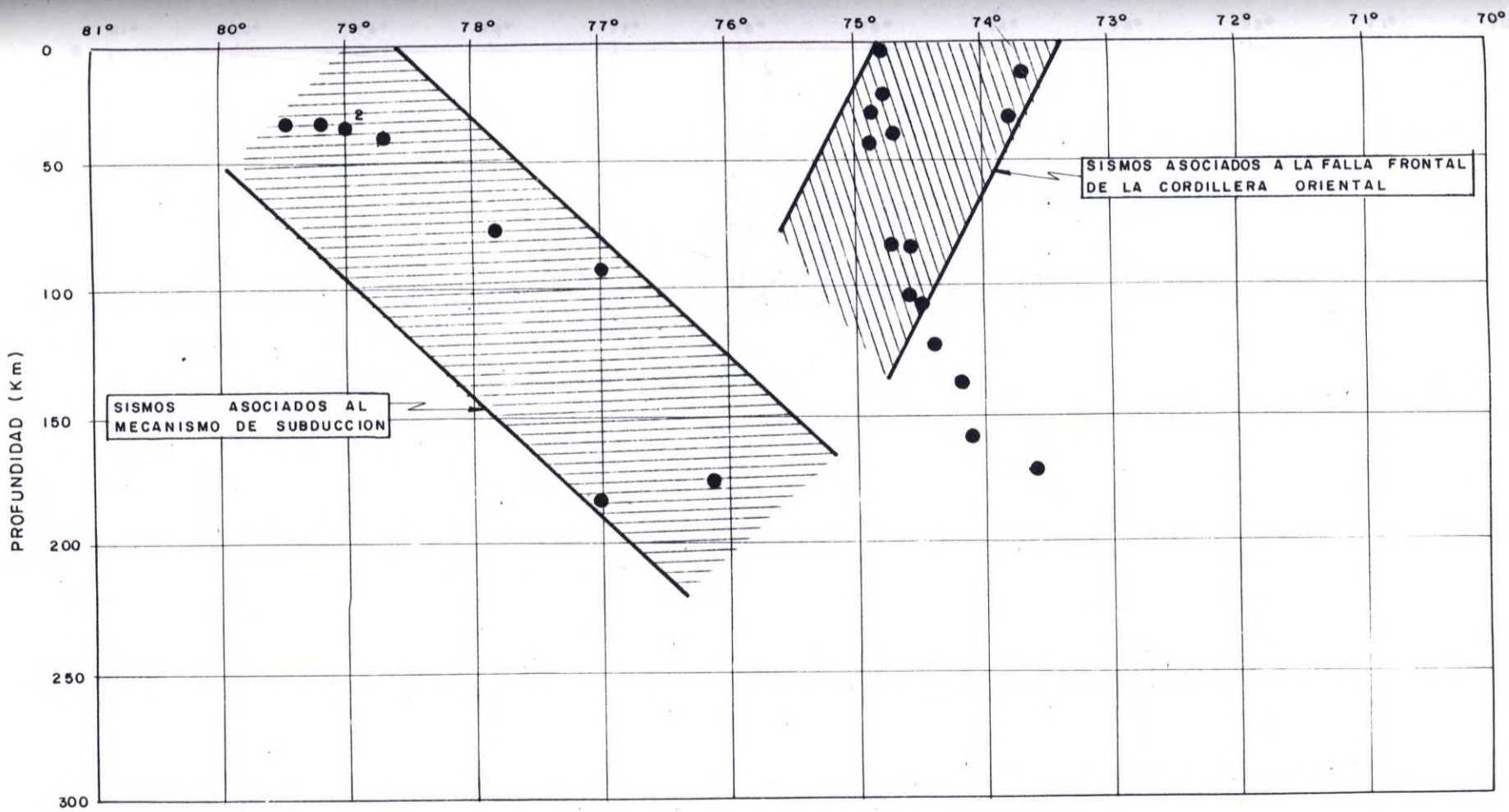
SECCION TRANSVERSAL 3°30'N



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Bogota, Abril de 1983

FIGURA 11



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

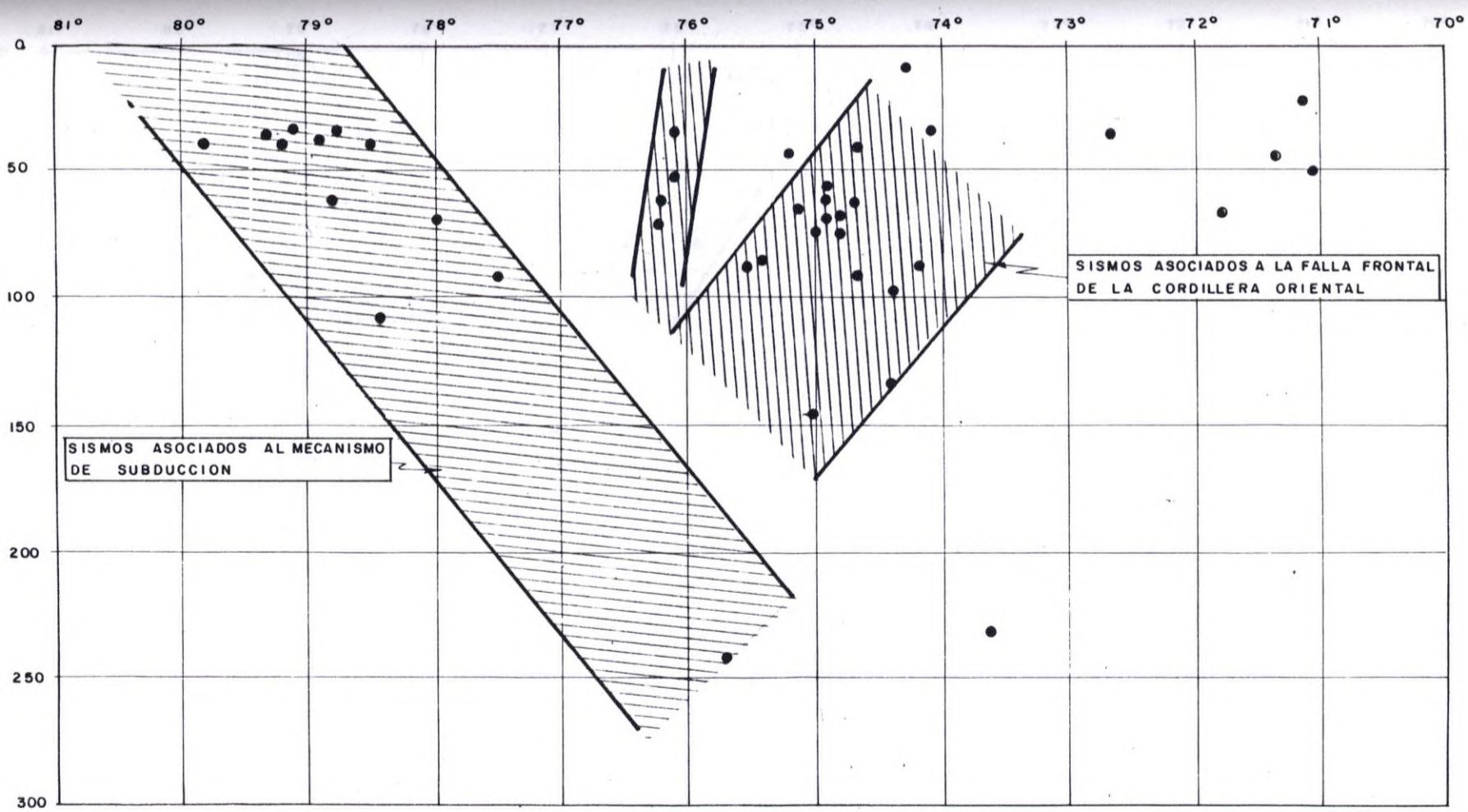
SECCION TRANSVERSAL 3°N



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km

Bogota, Abril de 1983



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA

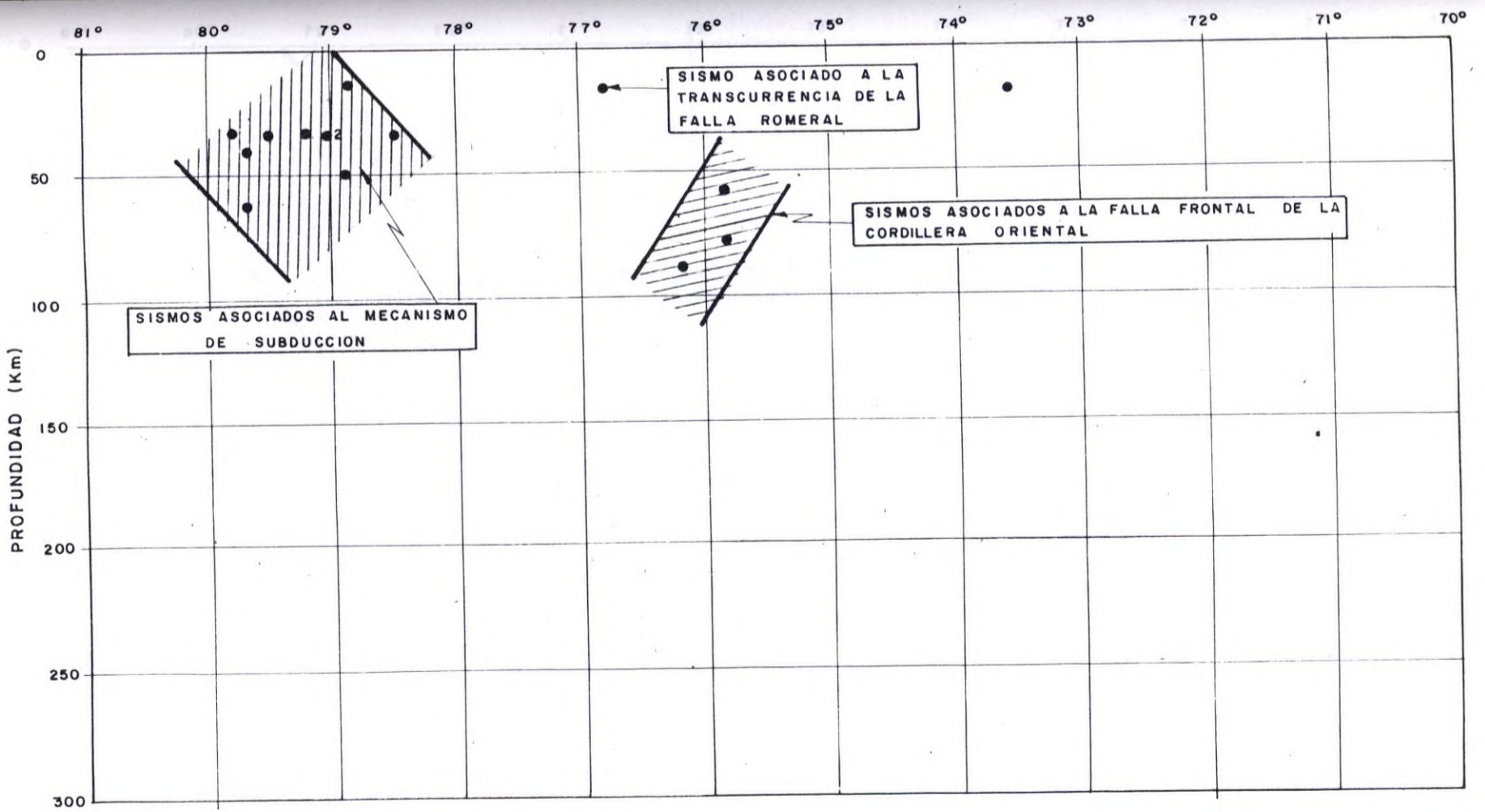


CONSULTORIA COLOMBIANA
Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km.

SECCION TRANSVERSAL 2°30'N

CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
Bogotá, Abril de 1983

FIGURA 13



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

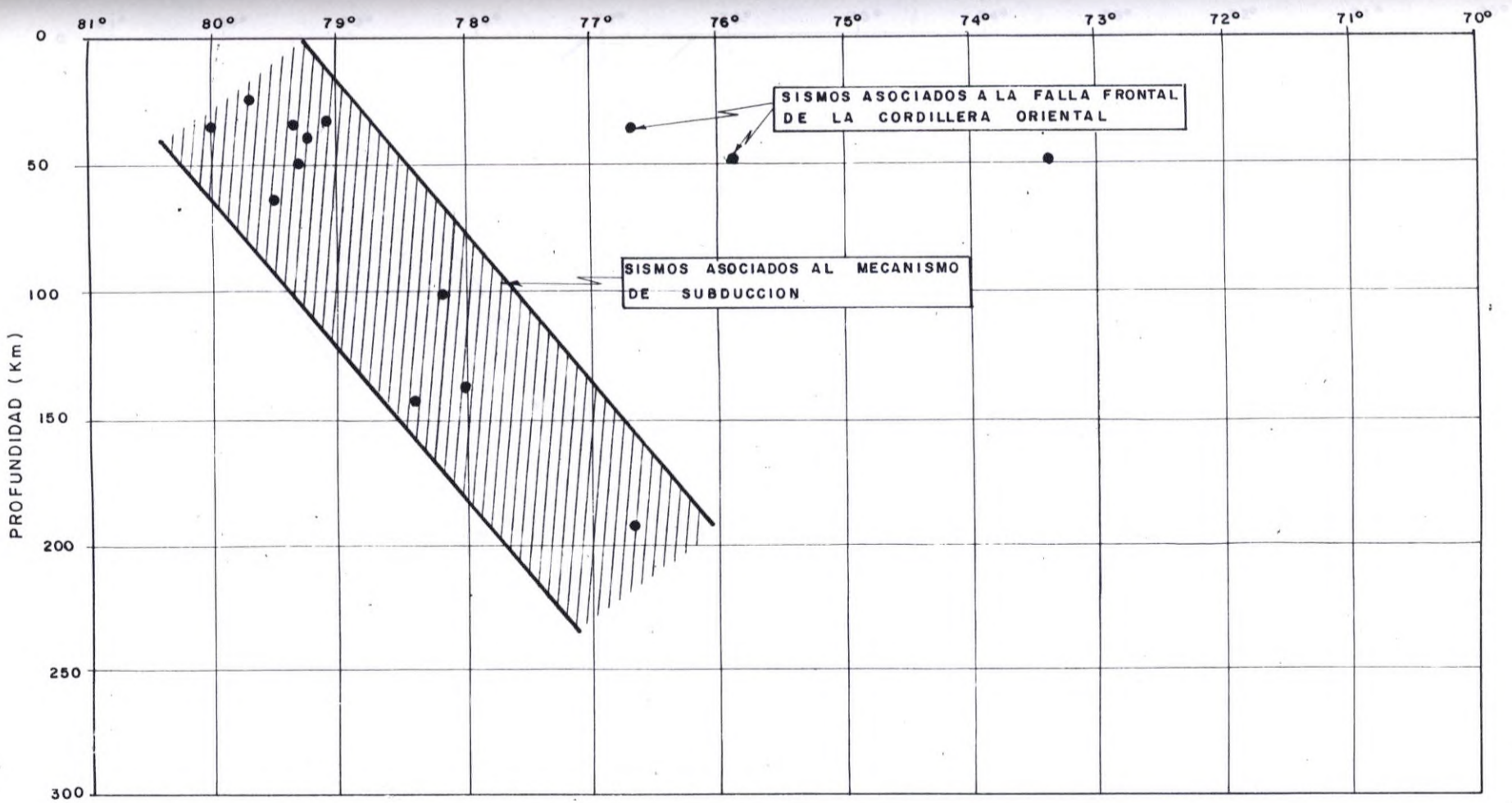
SECCION TRANSVERSAL 2° N



CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km

Bogota, Abril de 1983



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA

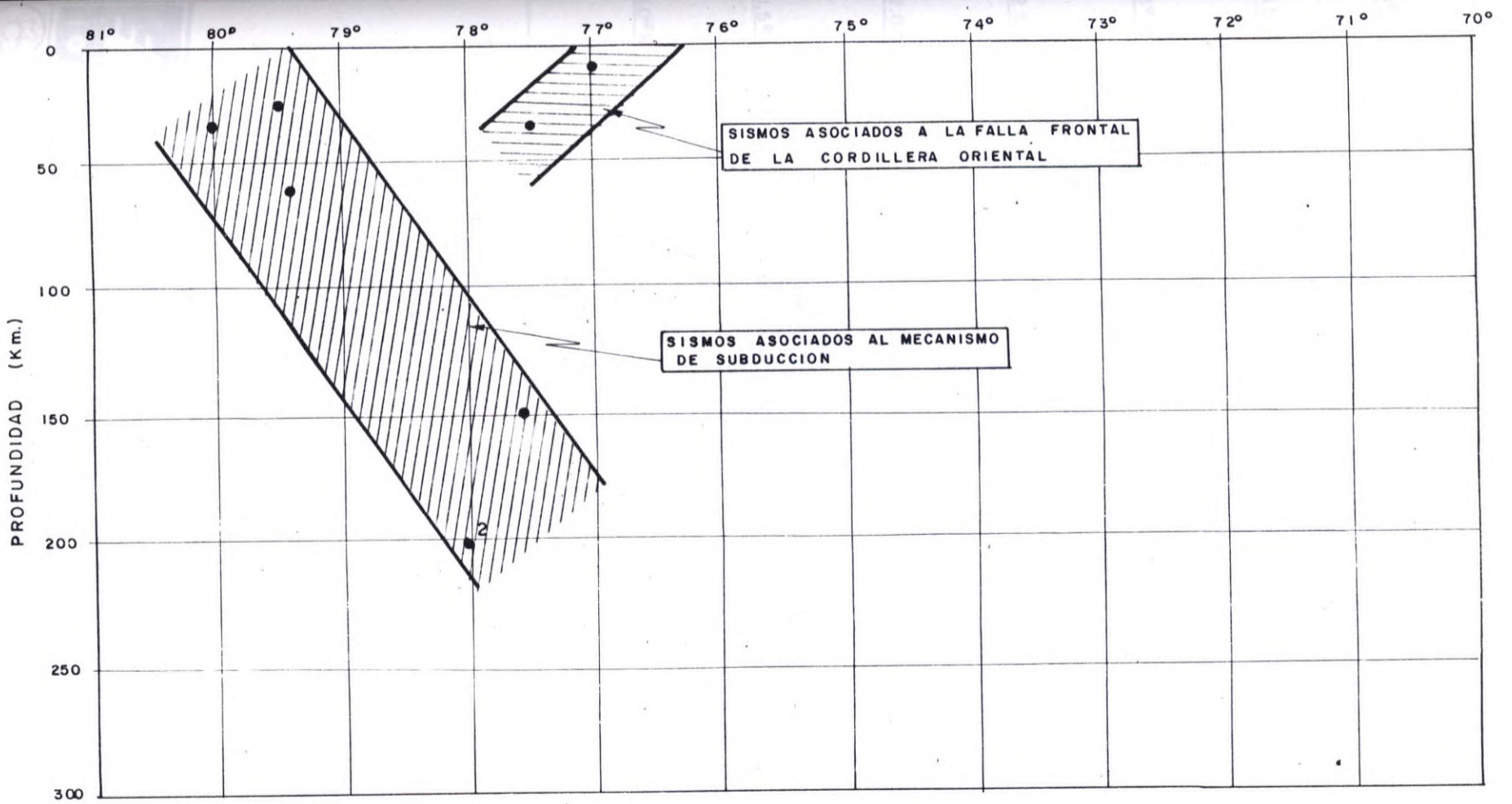


CONSULTORIA COLOMBIANA
Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km.

SECCION TRANSVERSAL 1°30'N

CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Bogota, Abril de 1983



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.
PROYECTO PAEZ - LA PLATA

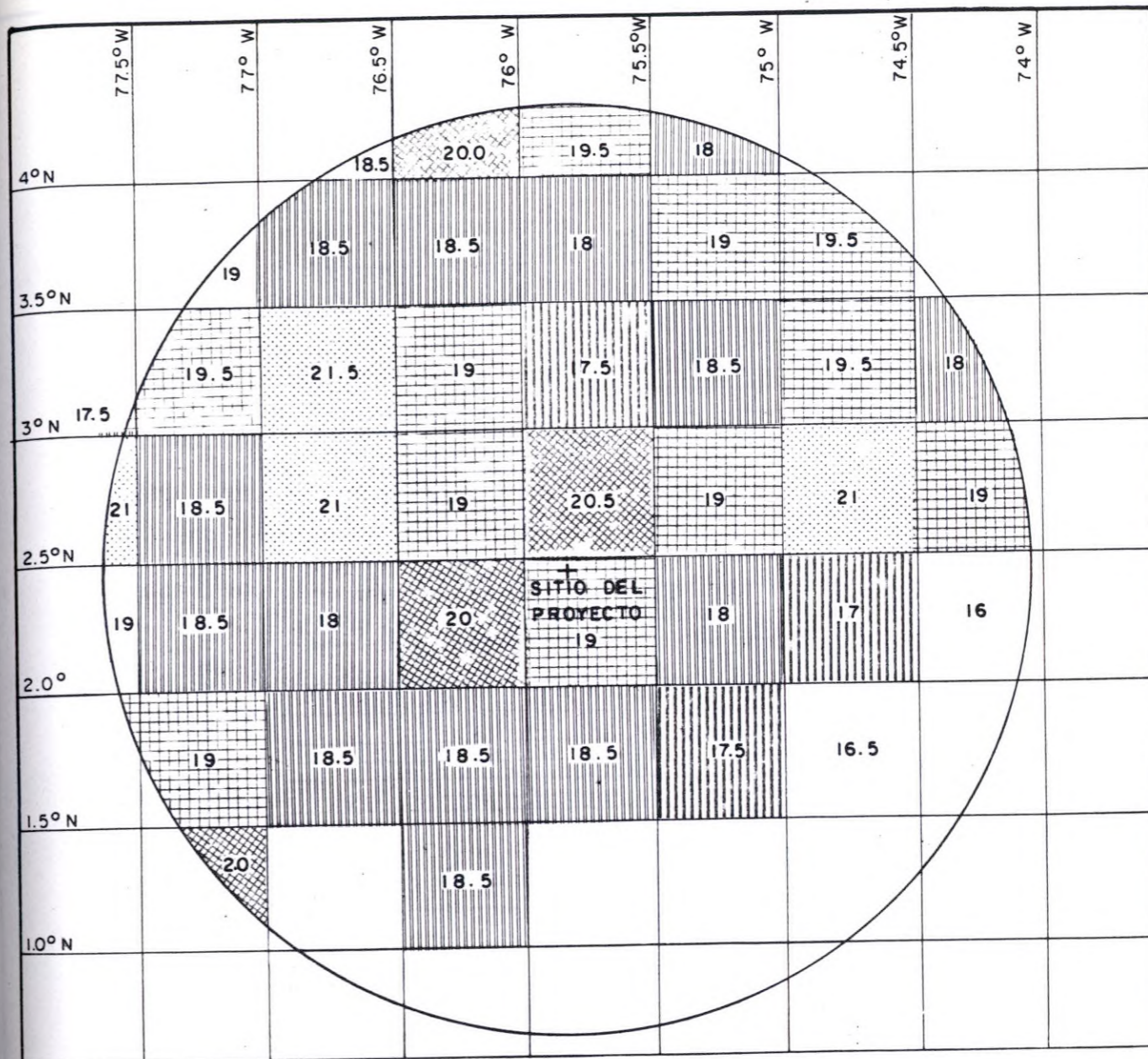


CONSULTORIA COLOMBIANA
Escala: H: 1cm = 0° 30'
V: 1cm = 25 Km

SECCION TRANSVERSAL 1°N

CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
Bogota, Abril de 1983

FIGURA 16



CONVENCIONES:



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

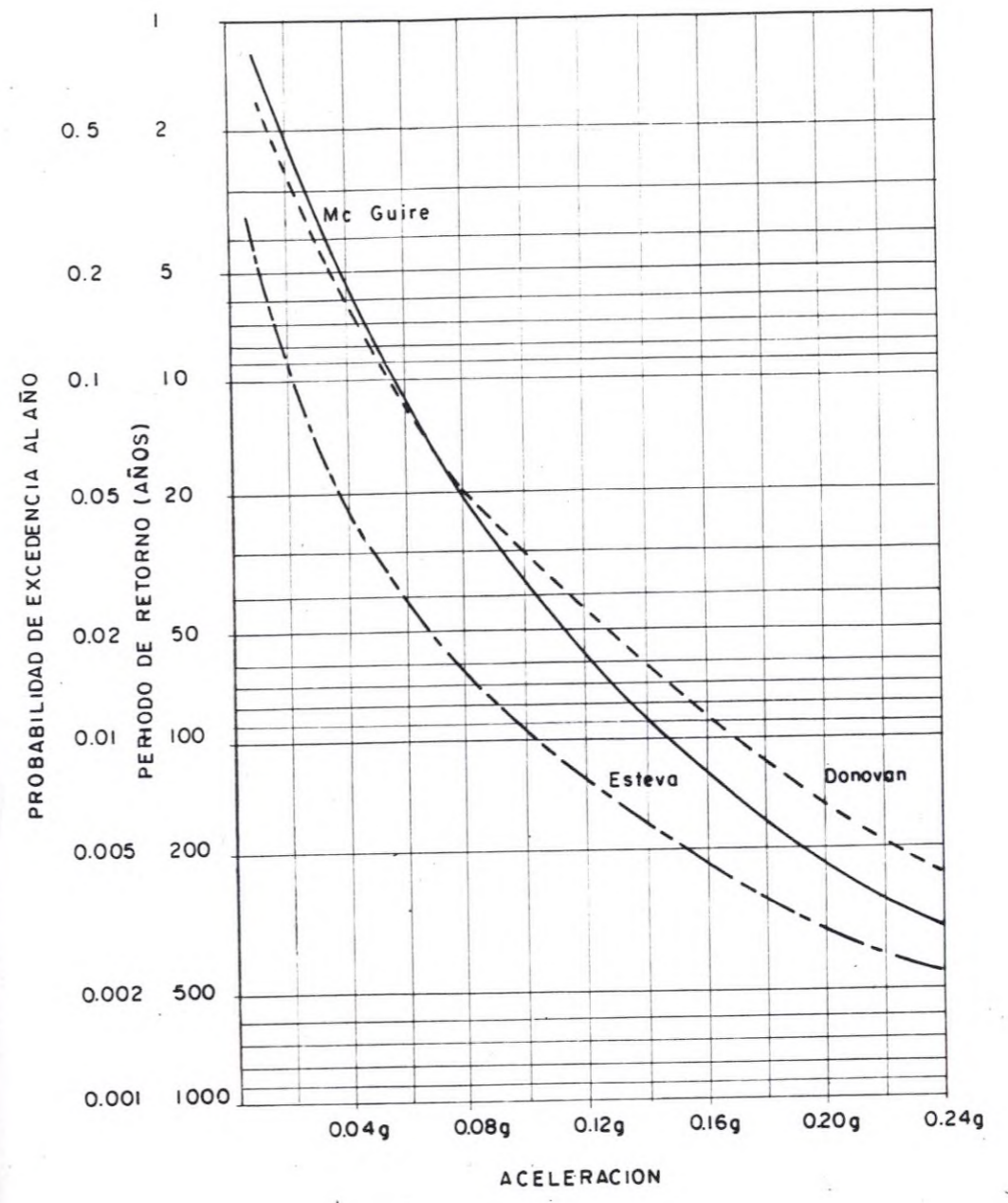


DENSIDAD DE LIBERACION DE ENERGIA
LAPSO 1922 - 1979



Bogotá, Abril de 1983

Escala:



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ - LA PLATA



CONSULTORIA COLOMBIANA

ANALISIS SISMOLOGICO ACCELERACION DEL TERRENO
INTEGRACION DE PROBABILIDADES PARA EL
ANALISIS DE INCERTIDUMBRE BETA=1.28

CONSULTORES CIVILES
E HIDRAULICOS

Escala: Indicadas

Bogotá, Abril de 1983

FIGURA 18



ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO ESCUELA PLATA - GUSMÁN USHES CIVILES E HIDRAULICAS

Página N. 1

| ESTACION | COORDENADAS | ALTURA | TIEMPO DE DURACION | TIEMPO DE VIBRACION | PERIODO | AMPLITUD | VELOCIDAD | ACELERACION | REACCION | REACCION | REACCION |
|----------|-------------|--------|--------------------|---------------------|---------|----------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| | | | MIN | MIN | SEG | CM | CM/SEG | CM/SEG | CM/SEG | CM/SEG | CM/SEG |
| 1 | 1661 400 20 | 13 | 13 | 50.9 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 1777 300 13 | 16 | 16 | 18.8 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 3 | 1759 107 22 | 12 | 12 | 18.8 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 4 | 1660 100 24 | 20 | 20 | 18.8 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 5 | 1702 116 28 | 19 | 19 | 34.4 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 6 | 1705 214 14 | 24 | 24 | 19.7 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 7 | 1710 000 40 | 20 | 20 | 16.3 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 8 | 1747 000 26 | 16 | 16 | 19.0 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 9 | 1750 200 03 | 22 | 22 | 26.8 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 10 | 1761 400 25 | 25 | 25 | 37.9 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 11 | 1740 400 25 | 25 | 25 | 34.7 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 12 | 1757 500 15 | 15 | 15 | 20.6 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 13 | 1762 350 14 | 22 | 22 | 47 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 14 | 1750 116 13 | 08 | 08 | 17.0 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 15 | 1746 200 10 | 23 | 23 | 36 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 16 | 1756 400 11 | 08 | 08 | 44.1 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 17 | 1757 500 10 | 15 | 15 | 25.5 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 18 | 1772 000 11 | 26 | 26 | 21.1 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 19 | 1773 000 13 | 14 | 14 | 54.7 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 1774 000 19 | 07 | 07 | 54 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 21 | 1774 000 27 | 14 | 14 | 75.8 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 22 | 1776 000 25 | 14 | 14 | 29.7 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 23 | 1744 000 20 | 05 | 05 | 20.1 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 24 | 1750 000 19 | 14 | 14 | 45.5 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 25 | 1750 000 19 | 40 | 40 | 59.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 26 | 1744 000 19 | 15 | 15 | 20.5 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 27 | 1755 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 28 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 29 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 31 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 32 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 33 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 34 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 35 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 36 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 37 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 38 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 39 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 40 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 41 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 42 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 43 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 44 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 45 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 46 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 47 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 48 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 49 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 50 | 1757 000 19 | 19 | 19 | 01.2 | 4.10 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

APENDICE 1

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

| COORDENADAS DEL CUADRO | | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | | | | UBICACION DEL HIPOCENTRO | | | INT MM(2) | MAGNITUD (3) | | | RADIUS | | | | | |
|------------------------|----------|---------|--------------------------|------|------|------|--------------------------|------|---------|-----------|--------------|---------|------|--------|------|------|------|------|------|
| LATITUD | LONGITUD | | ANO | MES | DIA | HORA | MIN | SEG | LATITUD | | LONGITUD | PROF-KM | MS | ML | MB | EPC | FOC | | |
| 4.0N | 76.5W | 1283 | 1963 | AGO | 20 | 13 | 19 | 50.3 | 4.1N | 76.5W | 050 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 197. | 203. | | |
| | | 3624 | 1977 | JUL | 19 | 00 | 00 | 12.8 | 4.1N | 76.5W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 197. | | | |
| 4.0N | 76.0W | 0482 | 1935 | DCT | 27 | 22 | 05 | 05.0 | 4.0N | 76.0W | 150 | 7 | 5.5* | 5.2 | 5.6 | 171. | 228. | | |
| | | 1065 | 1960 | NOV | 23 | 22 | 58 | 40.4 | 4.1N | 76.1W | | 3 | 0.3 | 0.4 | 2.0* | 184. | | | |
| | | 2236 | 1968 | JUL | 18 | 03 | 29 | 34.6 | 4.1N | 76.0W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 182. | | | |
| | | 2559 | 1970 | SEP | 24 | 06 | 07 | 19.7 | 4.1N | 76.2W | 155 | 5 | 4.2 | 3.9 | 4.7* | 186. | 242. | | |
| | | 2811 | 1972 | MAR | 30 | 20 | 30 | 46.3 | 4.1N | 76.3W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 189. | | | |
| 4.0N | 75.5W | 0582 | 1947 | ABR | 06 | 22 | 16 | 46.0 | 4.0N | 75.5W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 174. | | | |
| | | 0895 | 1959 | JUN | 03 | 22 | 18 | 36.4 | 4.2N | 75.5W | | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 196. | | | |
| | | 1089 | 1961 | ABR | 25 | 21 | 28 | 37.5 | 4.1N | 75.6W | | 3 | 0.3 | 0.4 | 2.0* | 183. | | | |
| | | 1090 | 1961 | ABR | 26 | 08 | 23 | 56.7 | 4.1N | 75.6W | | 4 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 183. | | | |
| | | 1182 | 1962 | SEP | 18 | 04 | 57 | 04.6 | 4.2N | 75.6W | | 3 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 194. | | | |
| | | 1188 | 1962 | DCT | 04 | 22 | 47 | 46.3 | 4.2N | 75.8W | 166 | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 193. | 254. | | |
| | | 1485 | 1965 | ENE | 11 | 08 | 57 | 21.5 | 4.2N | 75.6W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 194. | | | |
| | | 1779 | 1966 | JUL | 10 | 23 | 56 | 04.0 | 4.0N | 75.6W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 172. | | | |
| | | 1795 | 1966 | AGO | 15 | 15 | 12 | 59.3 | 4.2N | 75.6W | 083 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.0* | 194. | 211. | | |
| | | 1925 | 1966 | FEB | 11 | 08 | 55 | 42.1 | 4.2N | 75.5W | 033 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3* | 196. | 199. | | |
| | | 2031 | 1967 | JUN | 30 | 19 | 11 | 24.5 | 4.2N | 75.6W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 194. | | | |
| | | 2831 | 1972 | JUN | 18 | 11 | 26 | 21.0 | 4.2N | 75.6W | | 3 | 2.2 | 2.1 | 3.3* | 172. | | | |
| | | 2990 | 1973 | AGO | 19 | 02 | 34 | 54.7 | 4.0N | 75.8W | | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9* | 170. | | | |
| | | 3172 | 1974 | DCT | 19 | 07 | 54 | 53.5 | 4.0N | 75.8W | 075 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 181. | 196. | | |
| | | 3377 | 1976 | ABR | 27 | 04 | 57 | 49.9 | 4.1N | 75.8W | 052 | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9* | 185. | 192. | | |
| | | 3546 | 1976 | NOV | 25 | 14 | 59 | 35.7 | 4.1N | 75.5W | 197 | 5 | 4.3 | 4.1 | 4.8* | 196. | 278. | | |
| | | 4.0N | 75.0W | 0526 | 1944 | ENE | 20 | 09 | 15 | 24.7 | 4.0N | 75.2W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 184. | |
| | | | | 1063 | 1960 | NOV | 19 | 06 | 58 | 44.5 | 4.1N | 75.1W | | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 198. | |
| 1476 | 1964 | | | DIC | 19 | 20 | 22 | 55.9 | 4.1N | 75.3W | | 4 | 3.2 | 3.0 | 4.0* | 190. | | | |
| 1766 | 1966 | | | JUN | 22 | 16 | 46 | 23.4 | 4.1N | 75.1W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 198. | | | |
| 1780 | 1966 | | | JUN | 22 | 16 | 46 | 23.4 | 4.1N | 75.1W | | 3 | 1.5 | 1.4 | 2.8* | 198. | | | |
| 1908 | 1967 | | | FEB | 09 | 19 | 05 | 01.2 | 4.2N | 75.4W | | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 193. | | | |
| 2049 | 1967 | | | FEB | 09 | 19 | 05 | 01.2 | 4.0N | 75.1W | | 3 | 1.5 | 1.4 | 2.8* | 188. | | | |
| 2230 | 1967 | | | AGO | 02 | 19 | 03 | 25.9 | 4.0N | 75.1W | | 3 | 1.5 | 1.4 | 2.8* | 193. | | | |
| 2230 | 1968 | | | JUL | 12 | 06 | 40 | 02.1 | 4.2N | 75.4W | | 2 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 188. | | | |
| 2235 | 1968 | | | JUL | 12 | 06 | 40 | 02.1 | 4.2N | 75.4W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 188. | | | |
| 2235 | 1968 | | | JUL | 16 | 21 | 39 | 00.8 | 4.0N | 75.1W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 190. | | | |
| 2291 | 1968 | | | SEP | 20 | 15 | 05 | 29.8 | 4.1N | 75.3W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 190. | | | |
| 2324 | 1968 | | | NOV | 18 | 12 | 01 | 02.5 | 4.1N | 75.1W | | 4 | 2.2 | 2.1 | 3.3* | 198. | | | |
| 2409 | 1969 | | | ABR | 28 | 07 | 41 | 13.1 | 4.2N | 75.4W | | 3 | 1.3 | 1.3 | 2.7* | 198. | | | |
| 3.5N | 77.0W | | | 0752 | 1957 | MAY | 31 | 21 | 57 | 46.0 | 3.5N | 77.0W | 100 | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 174. | 201. |
| | | | | 0894 | 1959 | JUN | 03 | 03 | 43 | 42.0 | 3.7N | 77.1W | 060 | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 198. | 206. |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

PAGINA # 2

| COORDENADAS DEL CUADRO LATITUD LONGITUD | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) AÑO MES DÍA HORA MIN SEC | | | | | UBICACION DEL HIPOCENTRO LATITUD LONGITUD PROF-KM | | | INT MM(2) | MAGNITUD (3) MS ML MB | | | RADIUS EPC FOC | | |
|--|------------|--|------|-----|------|-----|--|---------|----------|--------------|--------------------------|------|-----|-------------------|------|------|
| | | ANO | MES | DIA | HORA | MIN | SEC | LATITUD | LONGITUD | | PROF-KM | MS | ML | MB | EPC | FOC |
| 3.5N 76.5W | 0587 | 1947 | SEP | 22 | 22 | 59 | 13.6 | 3.6N | 76.6W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 153. | |
| | 3405 | 1976 | JUL | 06 | 06 | 48 | 54.6 | 3.5N | 76.5W | 132 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 137. | 190. |
| 3.5N 76.0W | 0025 | 1766 | JUL | 09 | 21 | | | 3.7N | 76.3W | | 8 | 6.0* | 5.8 | 6.0 | 147. | |
| | 0026 | 1766 | JUL | 16 | 13 | 30 | | 3.7N | 76.3W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 147. | |
| | 0027 | 1767 | FEB | 07 | 04 | 15 | | 3.7N | 76.3W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 147. | |
| | 0318 | 1884 | NOV | 06 | | | | 3.5N | 76.4W | | 6 | 5.0* | 4.7 | 5.3 | 132. | |
| | 0350 | 1906 | FEB | 03 | 18 | 42 | | 3.5N | 76.2W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 122. | |
| | 0351 | 1906 | FEB | 17 | | | | 3.5N | 76.2W | | 4 | 3.0* | 2.8 | 3.9 | 122. | |
| | 2294 | 1968 | SEP | 22 | 12 | 36 | 34.9 | 3.9N | 76.3W | 153 | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 168. | 227. |
| | 2396 | 1968 | DIC | 04 | 13 | 23 | 07.4 | 3.7N | 76.1W | 075 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 140. | 159. |
| | 2458 | 1969 | JUL | 15 | 03 | 13 | 28.1 | 3.5N | 76.2W | 167 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 122. | 207. |
| | 2716 | 1971 | ABR | 02 | 00 | 30 | 43.4 | 3.9N | 76.3W | | 3 | 2.0 | 1.9 | 3.2* | 168. | |
| | 3630 | 1973 | FEB | 04 | 20 | 52 | 40.4 | 3.8N | 76.2W | | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 154. | |
| | 3777 | 1978 | JUL | 16 | 09 | 59 | 00.5 | 3.8N | 76.2W | | 3 | 2.2 | 2.1 | 3.3* | 154. | |
| | 3880 | 1979 | MAR | 27 | 09 | 09 | 18.0 | 3.9N | 76.0W | 125 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2* | 160. | 203. |
| 3.5N 75.5W | 0921 | 1959 | AGO | 04 | 22 | 10 | 13.9 | 3.5N | 75.6W | | 4 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 117. | |
| | 2381 | 1969 | MAR | 02 | 12 | 44 | 12.2 | 3.7N | 75.5W | 213 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 141. | 256. |
| | 3252 | 1975 | MAY | 28 | 22 | 40 | 56.0 | 3.8N | 75.5W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 152. | |
| | 3274 | 1975 | JUL | 26 | 01 | 37 | 20.3 | 3.7N | 75.6W | 038 | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 139. | 144. |
| | 3317 | 1975 | NOV | 13 | 17 | 01 | 58.4 | 3.7N | 75.6W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 139. | |
| 3.5N 75.0W | 0604 | 1949 | ABR | 12 | 10 | 36 | 44.6 | 3.9N | 75.0W | | 4 | 3.0* | 2.8 | 3.9 | 183. | |
| | 0606 | 1949 | ABR | 24 | 09 | 30 | 06.7 | 3.8N | 75.0W | | 4 | 3.0* | 2.8 | 3.9 | 174. | |
| | 0636 | 1951 | FEB | 11 | 08 | 18 | 25.0 | 3.8N | 75.0W | | 4 | 3.0* | 2.8 | 3.9 | 174. | |
| | 0710 | 1955 | MAR | 01 | 03 | 30 | 50.0 | 3.5N | 75.0W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 147. | |
| | 0959 | 1959 | DIC | 18 | 05 | 10 | 06.0 | 3.5N | 75.0W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 147. | |
| | 1234 | 1963 | ABR | 04 | 06 | 07 | 21.4 | 3.9N | 75.0W | 039 | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 183. | 186. |
| | 1906 | 1967 | FEB | 09 | 18 | 28 | 17.5 | 3.9N | 75.0W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 183. | |
| | 3707 | 1978 | MAR | 03 | 18 | 34 | 17.5 | 3.6N | 75.0W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 155. | |
| | 3.5N 74.5W | 1274 | 1963 | JUL | 10 | 11 | 39 | 45.3 | 3.9N | 74.8W | | 3 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 195. |
| 1278 | | 1963 | JUL | 12 | 23 | 37 | 50.6 | 3.9N | 74.9W | | 3 | 4.6 | 4.4 | 5.0* | 189. | |
| 1357 | | 1964 | MAR | 11 | 11 | 28 | 01.0 | 3.5N | 74.5W | | 4 | 2.0 | 1.9 | 3.2* | 186. | |
| 1378 | | 1964 | ABR | 29 | 01 | 47 | 21.7 | 3.7N | 74.6W | | 4 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 193. | |
| 1825 | | 1966 | DIC | 18 | 18 | 43 | 34.8 | 3.6N | 74.5W | 040 | 5 | 4.3 | 4.1 | 4.8* | 193. | 197. |
| 1907 | | 1967 | FEB | 09 | 18 | 38 | 33.0 | 3.8N | 74.9W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 180. | |
| 1914 | | 1967 | FEB | 10 | 04 | 58 | 41.6 | 3.8N | 74.8W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 187. | |
| 1920 | | 1967 | FEB | 10 | 09 | 50 | 56.6 | 3.5N | 74.6W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 178. | |
| 1923 | | 1967 | FEB | 11 | 05 | 01 | 09.5 | 3.5N | 74.8W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 161. | |

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

| COORDENADAS DEL CUADRO | | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | | | | UBICACION DEL HIPOCENTRO | | | INT MM(2) | MAGNITUD (3) | | | RADIUS | | |
|------------------------|----------|---------|--------------------------|-----|-----|------|--------------------------|------|---------|-----------|--------------|---------|------|--------|------|-----------|
| LATITUD | LONGITUD | | ANO | MES | DIA | HORA | MIN | SEG | LATITUD | | LONGITUD | PROF-KM | MS | ML | MB | EPC |
| | | 1926 | 1967 | FEB | 11 | 08 | 55 | 49.8 | 3.7N | 74.8W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 178. |
| | | 1927 | 1967 | FEB | 11 | 10 | 22 | 53.0 | 3.9N | 74.8W | | 3 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 195. |
| | | 1928 | 1967 | FEB | 11 | 16 | 37 | 03.4 | 3.8N | 74.9W | | 3 | 2.2 | 2.1 | 3.3* | 180. |
| | | 1930 | 1967 | FEB | 11 | 23 | 14 | 13.0 | 3.8N | 74.9W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 180. |
| | | 1941 | 1967 | FEB | 16 | 18 | 25 | 45.5 | 3.5N | 74.8W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 161. |
| | | 1981 | 1967 | MAR | 30 | 14 | 53 | 24.4 | 3.8N | 74.9W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 180. |
| | | 2029 | 1967 | JUN | 25 | 16 | 53 | 59.8 | 3.9N | 74.9W | | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 189. |
| | | 2290 | 1968 | SEP | 15 | 07 | 44 | 13.3 | 3.6N | 74.9W | | 2 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 162. |
| | | 2309 | 1968 | OCT | 23 | 08 | 58 | 56.1 | 3.9N | 74.9W | | 3 | 1.5 | 1.4 | 2.8* | 189. |
| | | 2368 | 1969 | FEB | 03 | 13 | 17 | 21.8 | 3.9N | 74.9W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 189. |
| | | 2453 | 1969 | JUL | 03 | 07 | 26 | 04.6 | 3.8N | 74.9W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 180. |
| | | 2653 | 1970 | DIC | 09 | 01 | 58 | 03.8 | 3.9N | 74.9W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 189. |
| | | 3595 | 1977 | MAR | 16 | 16 | 29 | 00.7 | 3.6N | 74.5W | 135 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3* | 193. 236. |
| | | 3601 | 1977 | ABR | 02 | 17 | 12 | 29.0 | 3.7N | 74.9W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 171. |
| | | 3773 | 1978 | JUL | 04 | 00 | 36 | 53.8 | 3.8N | 74.8W | | 4 | 2.6 | 2.5 | 3.6* | 187. |
| 3.0N | 77.5W | 2464 | 1969 | JUL | 20 | 06 | 15 | 31.4 | 3.0N | 77.5W | | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9* | 196. |
| 3.0N | 77.0W | 0539 | 1944 | SEP | 03 | 21 | 29 | 36.0 | 3.3N | 77.2W | | 6 | 5.0* | 4.7 | 5.3 | 179. |
| | | 3511 | 1976 | AGO | 26 | 18 | 26 | 49.3 | 3.1N | 77.0W | 181 | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 149. 234. |
| | | 3528 | 1976 | OCT | 12 | 23 | 49 | 34.8 | 3.3N | 77.0W | 090 | 5 | 4.3 | 4.1 | 4.8* | 161. 184. |
| 3.0N | 76.5W | 0001 | 1566 | | | | | | 3.0N | 76.5W | | 7 | 5.0* | 4.7 | 5.3 | 96. |
| | | 0068 | 1820 | JUL | 08 | | | | 3.0N | 76.5W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 96. |
| | | 0757 | 1957 | MAY | 24 | 02 | 37 | 37.0 | 3.0N | 76.5W | 060 | 8 | 6.7* | 6.5 | 6.5 | 96. 113. |
| | | 0933 | 1960 | ABR | 02 | 15 | 00 | 36.0 | 3.0N | 76.5W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 96. |
| | | 3687 | 1978 | ENE | 26 | 17 | 22 | 42.6 | 3.0N | 76.5W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 96. |
| 3.0N | 76.0W | 0544 | 1944 | NOV | 08 | 04 | 57 | 42.5 | 3.2N | 76.0W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 84. |
| | | 0942 | 1959 | OCT | 31 | 05 | 01 | 31.0 | 3.0N | 76.0W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 62. |
| | | 1942 | 1967 | FEB | 16 | 23 | 49 | 06.7 | 3.3N | 76.0W | 177 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 95. 201. |
| | | 3024 | 1974 | FEB | 03 | 20 | 16 | 25.5 | 3.1N | 76.1W | 176 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3* | 77. 192. |
| | | 3292 | 1975 | SEP | 29 | 03 | 54 | 42.8 | 3.0N | 76.3W | | 3 | 2.0 | 1.9 | 3.2* | 80. |
| 3.0N | 75.5W | 1517 | 1965 | MAR | 19 | 11 | 19 | 01.9 | 3.4N | 75.6W | | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 106. |
| | | 3021 | 1974 | ENE | 05 | 23 | 27 | 11.9 | 3.3N | 75.8W | | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 92. |
| | | 3745 | 1978 | MAY | 30 | 06 | 12 | 10.5 | 3.1N | 75.6W | | 3 | 1.9 | 1.8 | 3.1* | 74. |
| | | 3867 | 1979 | MAR | 08 | 14 | 04 | 37.8 | 3.1N | 75.6W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 74. |
| 3.0N | 75.0W | 0063 | 1816 | NOV | 29 | 02 | | | 3.0N | 75.4W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 75. |
| | | 0064 | 1816 | NOV | 29 | 19 | | | 3.0N | 75.4W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 75. |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS

PAGINA # 4

| COORDENADAS DEL CUADRO | | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | | | | UBICACION DEL HIPOCENTRO | | | INT MM(2) | MAGNITUD (3) | | | RADIUS | | |
|------------------------|----------|---------|--------------------------|-----|-----|------|--------------------------|-------|---------|-----------|--------------|---------|------|--------|------|------|
| LATITUD | LONGITUD | | AÑO | MES | DÍA | HORA | MIN | SEG | LATITUD | | LONGITUD | PROF-KM | MS | ML | MB | EPC |
| 3.0N | 74.5W | 1929 | 1967 | FEB | 11 | 17 | 52 | 17.8 | 3.1N | 75.0W | | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 115. |
| | | 2474 | 1969 | AGO | 27 | 08 | 46 | 05.3 | 3.0N | 75.1W | | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 99. |
| | | 3041 | 1974 | ABR | 20 | 14 | 46 | 08.8 | 3.2N | 75.2W | | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 107. |
| | | 0696 | 1954 | SEP | 08 | 21 | 40 | 24.0 | 3.2N | 74.5W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 168. |
| | | 1201 | 1962 | DIC | 23 | 04 | 49 | 26.2 | 3.3N | 74.6W | | 3 | 0.3 | 0.4 | 2.0* | 164. |
| | | 1331 | 1964 | MAY | 06 | 21 | 16 | 47.8 | 3.0N | 74.8W | | 3 | 2.0 | 1.9 | 3.2* | 128. |
| | | 1484 | 1965 | ENE | 09 | 19 | 56 | 58.1 | 3.0N | 74.6W | | 3 | 1.5 | 1.4 | 2.8* | 148. |
| | | 1710 | 1966 | ABR | 20 | 06 | 03 | 36.3 | 3.2N | 74.8W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 140. |
| | | 1905 | 1967 | FEB | 09 | 17 | 15 | 37.4 | 3.2N | 74.9W | 031 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3* | 131. |
| | | 1951 | 1967 | FEB | 22 | 20 | 27 | 41.0 | 3.2N | 74.7W | 082 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 149. |
| | | 1964 | 1967 | MAR | 13 | 00 | 59 | 04.5 | 3.0N | 74.6W | 083 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 148. |
| | | 1966 | 1967 | MAR | 16 | 09 | 26 | 18.4 | 3.2N | 74.5W | 107 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 168. |
| | | 1967 | 1967 | MAR | 16 | 10 | 41 | 36.5 | 3.1N | 74.8W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 139. |
| | | 2008 | 1967 | MAY | 07 | 16 | 38 | 24.0 | 3.4N | 74.9W | | 3 | 1.3 | 1.3 | 2.7* | 146. |
| | | 2092 | 1967 | NOV | 05 | 14 | 23 | 53.8 | 3.2N | 74.7W | 039 | 5 | 4.5 | 4.2 | 4.9* | 149. |
| | | 2289 | 1968 | SEP | 14 | 12 | 48 | 06.9 | 3.3N | 74.7W | | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 155. |
| | | 2388 | 1969 | MAR | 18 | 22 | 07 | 48.5 | 3.1N | 74.6W | 104 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 153. |
| | | 2410 | 1969 | MAY | 04 | 06 | 50 | 51.5 | 3.1N | 74.8W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 133. |
| | | 2710 | 1971 | MAR | 22 | 08 | 44 | 41.8 | 3.3N | 74.8W | 024 | 5 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 146. |
| | | 2740 | 1971 | JUN | 16 | 19 | 29 | 33.1 | 3.4N | 74.5W | 050 | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0* | 180. |
| 2976 | 1973 | JUN | 20 | 02 | 05 | 16.1 | 3.4N | 74.5W | | 5 | 4.2 | 3.9 | 4.7* | 180. | | |
| 3002 | 1973 | OCT | 18 | 09 | 18 | 32.6 | 3.0N | 74.9W | 042 | 6 | 4.0* | 4.6 | 5.2* | 118. | | |
| 3277 | 1975 | AGO | 10 | 17 | 36 | 28.9 | 3.0N | 74.8W | 006 | 8 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 128. | | |
| 3.0N | 74.0W | 0764 | 1957 | OCT | 16 | 07 | 40 | 10.1 | 3.2N | 74.4W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 178. |
| | | 0814 | 1958 | JUL | 11 | 01 | 36 | 05.1 | 3.0N | 74.2W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 190. |
| | | 1912 | 1967 | FEB | 10 | 00 | 39 | 41.1 | 3.3N | 74.4W | 123 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 183. |
| 2.5N | 77.5W | 0491 | 1937 | MAY | 21 | 13 | 12 | 25.0 | 2.5N | 77.5W | 090 | 8 | 6.5* | 6.3 | 6.3 | 187. |
| | | 0999 | 1960 | MAY | 06 | 04 | 55 | 00.0 | 2.5N | 77.0W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 131. |
| 2.5N | 77.0W | 2836 | 1972 | JUL | 11 | 13 | 02 | 29.5 | 2.8N | 77.3W | | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2* | 169. |
| | | 3870 | 1979 | MAR | 11 | 21 | 25 | 16.8 | 2.6N | 77.3W | | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9* | 165. |
| 2.5N | 76.5W | 0011 | 1736 | FEB | 02 | 14 | | | 2.5N | 76.5W | | 8 | 6.0* | 5.8 | 6.0 | 76. |
| | | 0022 | 1751 | ABR | 25 | | | | 2.5N | 76.5W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 76. |
| | | 0053 | 1812 | MAY | 29 | 04 | 30 | | 2.5N | 76.5W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 76. |
| | | 0058 | 1814 | NOV | 19 | 05 | | | 2.5N | 76.5W | | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 76. |
| | | 0062 | 1815 | JUN | 13 | 17 | | | 2.5N | 76.5W | | 4 | 3.0* | 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0065 | 1817 | SEP | 17 | | | | 2.5N | 76.5W | | 6 | 5.0* | 4.7 | 5.3 | 76. |

| COORDENADAS DEL CUADRO | LATITUD | LONGITUD | # | TIEMPO DE DURACION (1) | UBICACION DEL HIPOCENTRO | INT | MAGNITUD (3) | RADIUS | FDC |
|------------------------|---------|----------|----|------------------------|--------------------------|-------|--------------|--------|-----|
| 0066 | 1819 | FEB | 05 | 09 | 2.5N | 76.5M | 4.4# | 4.8 | 76. |
| 0067 | 1819 | FEB | 18 | 01 | 2.5N | 76.5M | 4.4# | 3.9 | 76. |
| 0068 | 1827 | SEP | 17 | 23 | 2.5N | 76.5M | 4.4# | 3.9 | 76. |
| 0069 | 1827 | DIC | 31 | 15 | 2.5N | 76.5M | 4.4# | 3.9 | 76. |
| 0070 | 1828 | FEB | 09 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0071 | 1828 | FEB | 24 | 13 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0072 | 1828 | FEB | 28 | 23 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0073 | 1828 | FEB | 29 | 11 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0074 | 1828 | MAR | 15 | 23 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0075 | 1828 | MAR | 29 | 11 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0076 | 1828 | MAY | 13 | 04 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0077 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0078 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0079 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0080 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0081 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0082 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0083 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0084 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0085 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0086 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0087 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0088 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0089 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0090 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0091 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0092 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0093 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0094 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0095 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0096 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0097 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0098 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0099 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0100 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0101 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0102 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0103 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0104 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0105 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0106 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0107 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0108 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0109 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0110 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0111 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0112 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0113 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0114 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0115 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0116 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0117 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0118 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0119 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0120 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0121 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0122 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0123 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0124 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0125 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0126 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0127 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0128 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0129 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0130 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0131 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0132 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0133 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0134 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0135 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0136 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |
| 0137 | 1828 | MAY | 25 | 15 | 2.5N | 76.5M | 3.0# | 2.8 | 76. |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E INGENIEROS

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

PAGINA # 6

| CORRENAS DEL CUADRO LATITUD | LONGITUD | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) AÑO MES DIA HORA MIN SEG | UBICACION DEL HIPOCENTRO LATITUD LONGITUD PROF-KM | INT MM(2) | MAGNITUD (3) MS ML MB | RADIUS EPC FOC |
|-----------------------------|----------|---------|--|--|--------------|--------------------------|-------------------|
| | | 0138 | 1829 ABR 18 03 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0139 | 1829 MAY 07 10 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0140 | 1829 MAY 28 07 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0141 | 1829 SEP 18 06 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0142 | 1829 SEP 25 12 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0143 | 1829 NOV 08 10 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0144 | 1829 DIC 02 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0146 | 1829 DIC 15 05 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0147 | 1830 FEB 05 10 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0148 | 1830 FEB 28 22 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0149 | 1830 MAR 08 14 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0150 | 1830 MAR 10 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0151 | 1830 MAR 10 17 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0152 | 1830 MAR 10 22 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0153 | 1830 MAR 11 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0154 | 1830 MAR 12 10 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0155 | 1830 MAR 13 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0156 | 1830 MAR 15 07 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0157 | 1830 ABR 21 14 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0158 | 1830 ABR 22 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0159 | 1830 OCT 10 18 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0160 | 1831 MAR 05 19 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0161 | 1831 MAR 17 21 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0162 | 1831 MAY 17 21 | 2.5N 76.5W | 5 | 4.5# 4.3 4.9 | 76. |
| | | 0163 | 1831 MAY 18 00 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0164 | 1832 FEB 18 10 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0165 | 1832 MAY 21 07 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0166 | 1832 MAY 26 06 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0167 | 1832 JUN 01 03 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0168 | 1832 JUN 05 10 | 2.5N 76.5W | 5 | 4.0# 3.8 4.6 | 76. |
| | | 0169 | 1833 MAY 01 08 | 2.5N 76.5W | 5 | 4.0# 3.8 4.6 | 76. |
| | | 0170 | 1833 MAY 23 09 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0171 | 1833 SEP 21 05 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0172 | 1834 ENE 19 21 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0173 | 1834 ENE 20 05 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0182 | 1834 ACO 11 21 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0184 | 1835 JUN 06 12 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0185 | 1835 JUN 27 11 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0188 | 1838 FEB 17 03 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0189 | 1838 FEB 17 08 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |
| | | 0190 | 1838 DIC 17 16 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 3.9 | 76. |

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAZ-LA-PAZLA-EL-DIA. CONSULTAS CIVILES E HIDRAULICOS

PAGINA # 7

| COORDENADAS DEL CUADRO LATITUD | LONGITUD | SISTEMA # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) AÑO MES DIA HORA MIN SEG | UBICACION DEL HIPOCENTRO LATITUD LONGITUD PROF-KM | INT MM(2) | MAGNITUD MS ML | RADIOS MR | EPC FOC |
|-----------------------------------|----------|--------------|--|--|--------------|-------------------|--------------|------------|
| | | 0191 | 1839 MAY 29 03 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0192 | 1839 JUN 09 09 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0193 | 1839 JUN 19 11 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0194 | 1839 JUN 23 06 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0195 | 1839 DCT 14 02 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0196 | 1840 FEB 16 12 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0197 | 1840 ABR 29 15 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0200 | 1840 JUN 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0201 | 1840 JUN 14 02 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0202 | 1840 AGO 23 08 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0203 | 1840 SEP 03 11 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0205 | 1840 SEP 14 22 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0206 | 1840 SEP 28 08 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0209 | 1840 DCT 03 05 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0210 | 1840 DCT 12 05 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0211 | 1841 SEP 22 12 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0212 | 1841 SEP 22 16 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0213 | 1841 DCT 17 04 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0282 | 1869 DCT 17 08 | 2.5N 76.5W | 3 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0283 | 1869 DCT 04 07 | 2.5N 76.5W | 3 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0308 | 1869 DCT 06 20 | 2.5N 76.5W | 3 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0319 | 1878 DCT 04 12 | 2.5N 76.5W | 6 | 5.0# 4.7 | 5.3 | 76. |
| | | 0322 | 1885 MAY 25 20 | 2.5N 76.5W | 7 | 6.0# 5.8 | 6.0 | 76. |
| | | 0323 | 1893 SEP 11 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 76. |
| | | 0516 | 1893 NOV 14 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 76. |
| | | 0557 | 1943 DCT 12 08 | 2.5N 76.5W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 76. |
| | | 0559 | 1945 JUL 09 16 | 2.5N 76.5W | 7 | 6.5# 6.3 | 6.3 | 125. |
| | | 0560 | 1946 MAR 29 09 | 2.7N 76.5W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 80. |
| | | 0561 | 1946 MAR 29 15 | 2.7N 76.5W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 80. |
| | | 0913 | 1946 MAR 29 17 | 2.7N 76.5W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 80. |
| | | 3604 | 1959 JUL 23 04 | 2.5N 76.5W | 5 | 4.0# 3.8 | 4.6 | 76. |
| | | | 1977 ABR 09 | 2.9N 76.5W | 5 | 3.6 3.4 | 4.3# | 90. 155. |
| 2.5N | 76.0W | 0572 | 1946 ABR 13 21 | 2.5N 76.3W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 54. |
| | | 0573 | 1946 ABR 16 14 | 2.5N 76.3W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 54. |
| | | 0576 | 1946 ABR 27 20 | 2.5N 76.3W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 54. |
| | | 0577 | 1946 ABR 02 10 | 2.5N 76.3W | 4 | 3.0# 2.8 | 3.9 | 54. |
| | | 0912 | 1959 JUL 23 03 | 2.7N 76.2W | 6 | 4.5# 4.3 | 4.9 | 78. |
| | | 0922 | 1959 AGO 07 21 | 2.8N 76.2W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 56. |
| | | 1094 | 1961 MAY 06 19 | 2.8N 76.2W | 4 | 3.5# 3.3 | 4.2 | 56. |
| | | 1281 | 1963 AGO 15 00 | 2.8N 76.1W | 5 | 3.6 3.4 | 4.3# | 48. 58. |

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

| COORDENADAS DEL CUADRO | | SIGMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | | | | UBICACION DEL HIPOCENTRO | | | INT | MAGNITUD (3) | | | RADIUS | | | |
|------------------------|----------|---------|--------------------------|------|------|------|--------------------------|------|---------|-------|--------------|---------|-------|--------|------|------|------|
| LATITUD | LONGITUD | | ANO | MES | DIA | HORA | MIN | SEG | LATITUD | | LONGITUD | PROF-KM | MM(2) | MS | ML | MB | EPC |
| | | 1471 | 1964 | DIC | 12 | 11 | 16 | 54.7 | 2.6N | 76.1W | 051 | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9* | 34. | 61. |
| 2.5N | 75.5W | 0534 | 1944 | MAY | 09 | 14 | 29 | 57.0 | 2.5N | 75.5W | 100 | 7 | 6.0* | 5.8 | 6.0 | 36. | 106. |
| | | 3149 | 1974 | JUL | 27 | 01 | 31 | 58.0 | 2.5N | 75.7W | 240 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 14. | 240. |
| | | 3191 | 1974 | DIC | 06 | 19 | 38 | 41.3 | 2.7N | 75.8W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 26. | |
| | | 3193 | 1974 | DIC | 08 | 14 | 54 | 34.6 | 2.8N | 75.5W | 086 | 5 | 4.0 | 3.8 | 4.6* | 51. | 100. |
| 2.5N | 75.0W | 0825 | 1958 | AGO | 30 | 21 | 25 | 43.3 | 2.5N | 75.4W | | 4 | 3.5* | 3.3 | 4.2 | 47. | |
| | | 2119 | 1968 | ENE | 04 | 08 | 09 | 18.9 | 2.6N | 75.0W | 072 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2* | 92. | 117. |
| | | 2593 | 1970 | SEP | 29 | 04 | 54 | 41.1 | 2.7N | 75.1W | 065 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 84. | 106. |
| | | 2869 | 1972 | NOV | 22 | 10 | 44 | 58.8 | 2.5N | 75.2W | 042 | 7 | 4.6 | 4.4 | 5.0* | 69. | 81. |
| | | 3224 | 1975 | MAR | 31 | 01 | 42 | 32.3 | 2.9N | 75.4W | 083 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.0* | 67. | 107. |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5N | 74.5W | 1809 | 1966 | SEP | 22 | 16 | 04 | 44.7 | 2.9N | 74.7W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 134. | |
| | | 1903 | 1967 | FEB | 09 | 15 | 24 | 47.9 | 2.9N | 74.9W | 060 | 10 | 6.5 | 6.2 | 6.3* | 113. | 128. |
| | | 1904 | 1967 | FEB | 09 | 16 | 44 | 07.3 | 2.8N | 74.7W | 062 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 130. | 144. |
| | | 1910 | 1967 | FEB | 09 | 21 | 15 | 26.4 | 2.9N | 74.8W | 066 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 123. | 140. |
| | | 1921 | 1967 | FEB | 10 | 23 | 49 | 00.2 | 2.7N | 74.8W | | 4 | 2.3 | 2.2 | 3.4* | 116. | |
| | | 1924 | 1967 | FEB | 11 | 05 | 07 | 53.1 | 2.8N | 74.7W | | 4 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 130. | |
| | | 1991 | 1967 | FEB | 12 | 01 | 06 | 21.2 | 2.5N | 74.9W | | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9* | 102. | |
| | | 1958 | 1967 | FEB | 27 | 02 | 06 | 41.6 | 2.9N | 74.9W | 057 | 6 | 4.8 | 4.5 | 5.1* | 113. | 127. |
| | | 1986 | 1967 | ABR | 02 | 03 | 03 | 14.5 | 2.9N | 74.8W | 073 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4* | 124. | 143. |
| | | 1999 | 1967 | ABR | 18 | 16 | 58 | 07.6 | 2.8N | 74.7W | 090 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 130. | 158. |
| | | 2051 | 1967 | AGO | 03 | 08 | 28 | 44.9 | 2.8N | 74.7W | 040 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 130. | 136. |
| | | 2129 | 1968 | ENE | 28 | 01 | 50 | 46.2 | 2.8N | 74.9W | 068 | 5 | 4.5 | 4.2 | 4.9* | 109. | 128. |
| | | 2482 | 1969 | SEP | 26 | 05 | 27 | 16.2 | 2.9N | 74.6W | | 4 | 3.2 | 3.0 | 4.0* | 144. | |
| | | 2525 | 1970 | ABR | 30 | 15 | 22 | 10.0 | 2.6N | 74.8W | | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3* | 114. | |
| | | 3772 | 1978 | JUL | 03 | 08 | 12 | 39.8 | 2.6N | 74.9W | | 4 | 2.5 | 2.3 | 3.5* | 103. | |
| | | 2.5N | 74.0W | 1909 | 1967 | FEB | 09 | 19 | 25 | 13.9 | 2.5N | 74.2W | 087 | 5 | 4.0 | 3.8 | 4.6* |
| 1916 | 1967 | | | FEB | 10 | 06 | 39 | 12.3 | 2.9N | 74.4W | 132 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.0* | 165. | 211. |
| 1933 | 1967 | | | FEB | 12 | 13 | 55 | 05.2 | 2.8N | 74.4W | 096 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1* | 162. | 189. |
| 2015 | 1967 | | | MAY | 19 | 21 | 39 | 50.4 | 2.8N | 74.3W | 007 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5* | 173. | 173. |
| 2731 | 1971 | | | JUN | 05 | 22 | 15 | 12.9 | 2.8N | 74.1W | 032 | 5 | 2.8 | 2.6 | 3.7* | 195. | 198. |
| 2.0N | 77.5W | 0943 | 1959 | OCT | 31 | 18 | 31 | 18.0 | 2.0N | 77.5W | 100 | 5 | 4.5* | 4.3 | 4.9 | 194. | 218. |
| 2.0N | 77.0W | 0621 | 1950 | ABR | 03 | 19 | 03 | 13.0 | 2.0N | 77.0W | | 5 | 4.0* | 3.8 | 4.6 | 141. | |
| | | 3057 | 1974 | JUN | 05 | 01 | 41 | 12.5 | 2.4N | 77.3W | | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8* | 165. | |
| | | 3792 | 1978 | AGO | 12 | 08 | 25 | 33.2 | 2.4N | 77.3W | | 3 | 1.0 | 1.0 | 2.5* | 165. | |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA CONSULARES CIVILES E HIDRAULICOS

PAGINA # 9

| COORDENADAS DEL CUADRO LATITUD | SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) AND MES DIA HORA MIN SEG | UBICACION DEL HIPOCENTRO LATITUD LONGITUD PROF-KM | INT MM(2) | MAGNITUD MS ML MB | RADIUS EPC FDC |
|--------------------------------|---------|---|---|-----------|-------------------|----------------|
| 2.0N | 1957 | 1967 FEB 25 17 06 24.1 | 2.3N 76.8W 015 | 5 | 3.5 3.3 4.2* | 111. 112. |
| 2.0N | 0232 | 1871 MAR 28 | 2.4N 76.4W | 3 | 2.0* 1.9 3.2 | 65. |
| | 0558 | 1946 MAR 29 07 17 28.0 | 2.3N 76.3W | 6 | 5.0* 4.7 5.3 | 57. |
| | 0562 | 1946 MAR 29 19 55 11.0 | 2.3N 76.3W | 5 | 4.0* 3.8 4.6 | 57. |
| | 0563 | 1946 MAR 29 20 07 01.0 | 2.3N 76.3W | 5 | 4.5* 4.3 4.9 | 57. |
| | 0564 | 1946 MAR 30 00 02 18.0 | 2.3N 76.3W | 5 | 4.5* 4.3 4.9 | 57. |
| | 0565 | 1946 MAR 30 04 55 03.0 | 2.3N 76.3W | 4 | 4.0* 3.8 4.6 | 57. |
| | 0566 | 1946 MAR 30 17 07 31.0 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.5* 3.3 4.2 | 57. |
| | 0567 | 1946 MAR 30 17 22 31.0 | 2.3N 76.3W | 5 | 4.5* 4.3 4.9 | 57. |
| | 0568 | 1946 MAR 30 23 53 09.0 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.5* 3.3 4.2 | 57. |
| | 0569 | 1946 ABR 01 13 14 47.5 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.0* 2.8 3.9 | 57. |
| | 0570 | 1946 ABR 02 10 52 49.5 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.0* 2.8 3.9 | 57. |
| | 0571 | 1946 ABR 05 14 19 32.6 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.0* 2.8 3.9 | 57. |
| | 0574 | 1946 ABR 21 18 22 02.0 | 2.3N 76.3W | 4 | 3.0* 2.8 3.9 | 57. |
| | 1955 | 1967 FEB 24 07 31 47.9 | 2.3N 76.2W 067 | 5 | 3.5 3.3 4.2* | 46. 99. |
| 2.0N | 0329 | 1895 MAY 01 08 | 2.0N 75.9W | 6 | 5.0* 4.7 5.3 | 53. |
| | 0712 | 1955 ABR 25 08 25 21.0 | 2.0N 75.5W | 6 | 4.5* 4.3 4.9 | 63. |
| | 2226 | 1968 JUL 08 11 34 17.0 | 2.3N 75.9W | 5 | 3.9 3.7 4.5* | 21. 80. |
| | 3843 | 1979 ENE 06 12 50 55.1 | 2.3N 75.9W | 5 | 4.0 3.8 4.6* | 21. 60. |
| 2.0N | 1062 | 1960 NOV 19 06 58 20.5 | 2.4N 75.4W | 4 | 3.5* 3.3 4.2 | 47. |
| 2.0N | 1913 | 1967 FEB 10 02 40 03.4 | 2.4N 74.8W | 4 | 2.8 2.6 3.7* | 114. |
| 2.0N | 1109 | 1961 JUL 01 07 01 16.4 | 2.3N 74.3W | 3 | 1.0 1.0 2.5* | 170. |
| | 2743 | 1971 JUN 26 06 42 50.8 | 2.1N 74.1W | 3 | 1.5 1.4 2.8* | 196. |
| 1.5N | 0487 | 1936 JUL 17 17 29 11.0 | 1.5N 77.0W | 5 | 4.0* 3.8 4.6 | 170. |
| | 0601 | 1949 FEB 16 22 29 32.2 | 1.6N 77.0W | 5 | 4.0* 3.8 4.6 | 163. |
| | 0614 | 1949 SEP 18 06 53 08.0 | 1.6N 77.0W | 4 | 3.5* 3.3 4.2 | 163. |
| | 3677 | 1978 ENE 10 01 02 44.0 | 1.8N 77.3W | 4 | 3.2 3.0 4.0* | 181. |
| 1.5N | 0024 | 1765 | 1.9N 76.8W | 6 | 5.0* 4.7 5.3 | 126. |
| | 1103 | 1961 JUN 09 05 53 54.8 | 1.5N 76.7W 033 | 5 | 4.0* 3.8 4.6 | 146. 149. |
| | 1470 | 1964 DIC 10 02 35 39.9 | 1.5N 76.7W 191 | 5 | 3.9 3.7 4.5* | 117. 224. |
| 1.5N | 0090 | 1827 NOV 16 22 45 | 1.8N 76.4W | 10 | 7.0* 6.8 6.7 | 99. |
| | 0091 | 1827 NOV 17 01 20 | 1.8N 76.4W | 4 | 3.0* 2.8 3.9 | 99. |
| | 0092 | 1827 NOV 17 04 10 | 1.8N 76.4W | 5 | 4.5* 4.3 4.9 | 99. |

ESTUDIO SIMULACION PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIBRIDOS

PAGINA # 10

| COORDENADAS DEL CUADRO LATITUD | LONGITUD | SISTMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) ANO MES DIA HORA MIN SEG | UBICACION DEL HIPOCENTRO LATITUD LONGITUD PROF-KM | INT MM(2) | MAGNITUD MS ML MB | RADIOS EPC FDC |
|--------------------------------|----------|----------|--|--|--------------|----------------------|-------------------|
| 1.5N | 75.5W | 3583 | 1977 FEB 12 11 44 25.4 | 1.5N 75.5W 047 | 5 | 3.9 3.7 4.5# | 64. 79. |
| 1.5N | 75.0W | 3551 | 1976 DIC 02 08 28 15.0 | 1.5N 75.3W | 4 | 3.2 3.0 4.0# | 86. |
| 1.5N | 74.5W | 3746 | 1978 JUN 01 23 57 31.7 | 1.5N 74.9W | 3 | 2.2 2.1 3.3# | 149. |
| 1.0N | 77.0W | 0175 | 1834 MAR 01 13 02 28.0 | 1.4N 77.1W | 6 | 5.0# 4.7 5.3 | 186. |
| | | 0583 | 1947 JUL 14 06 59 00.0 | 1.4N 77.0W | 8 | 5.5# 5.2 5.6 | 177. 178. |
| | | 0584 | 1947 JUL 14 12 45 00.0 | 1.4N 77.0W | 6 | 4.5# 4.3 4.9 | 177. |
| | | 0585 | 1947 JUL 14 15 00 00.0 | 1.4N 77.0W | 6 | 4.5# 4.3 4.9 | 177. |
| | | 0586 | 1947 JUL 17 00 00 00.0 | 1.4N 77.0W | 5 | 4.0# 3.8 4.6 | 177. |
| 1.0N | 76.5W | 0174 | 1834 ENE 20 11 45 | 1.3N 76.9W | 9 | 7.0# 6.8 6.7 | 177. |
| 1.0N | 76.0W | 3678 | 1978 ENE 10 03 40 14.1 | 1.2N 76.2W | 4 | 2.6 2.5 3.6# | 148. |
| | | 3866 | 1979 MAR 08 12 34 32.4 | 1.2N 76.4W | 5 | 4.0 3.8 4.6# | 155. |
| 1.0N | 74.5W | 3523 | 1976 SEP 25 18 37 51.9 | 1.2N 74.9W | 4 | 2.8 2.6 3.7# | 175. |

| SISMO # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | UBICACION DEL HIPOCENTRO | INT | MAGNITUD (3) | RADIOS | ANO MES DIA HORA MIN SEC | LATITUD | LONGITUD | PROF-KM | MM(2) | MS | ML | MR | EPC | FDC |
|---------|--------------------------|--------------------------|------|--------------|--------|--------------------------|---------|----------|---------|-------|------|-----|------|---------|-----|
| 3277 | 1975 AGO 10 17 36 | 74.8W | 3.0N | 2.5 | 2.3 | 128.128 | 3.5# | 128.128 | 006 | 8 | 2.5 | 2.3 | 3.5# | 128.128 | 006 |
| 2015 | 1967 MAY 19 21 39 | 74.8W | 2.8N | 50.4 | 50.4 | 173.173 | 4.5# | 173.173 | 007 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 173.173 | 007 |
| 0583 | 1947 JUL 14 06 59 | 77.0W | 1.4N | 28.0 | 28.0 | 178.178 | 5.6# | 178.178 | 010 | 8 | 5.5# | 5.2 | 5.6# | 178.178 | 010 |
| 1957 | 1967 FEB 25 17 06 | 76.8W | 2.3N | 24.1 | 24.1 | 111.112 | 4.2# | 111.112 | 015 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2# | 111.112 | 015 |
| 2710 | 1971 MAR 22 08 44 | 74.8W | 3.3N | 41.8 | 41.8 | 148.148 | 3.8# | 148.148 | 024 | 5 | 2.9 | 2.7 | 3.8# | 148.148 | 024 |
| 1905 | 1967 FEB 09 17 15 | 74.9W | 3.2N | 37.4 | 37.4 | 131.134 | 3.7# | 131.134 | 031 | 5 | 3.6 | 3.4 | 3.7# | 131.134 | 031 |
| 2731 | 1971 JUN 05 22 15 | 74.1W | 2.8N | 12.9 | 12.9 | 198.198 | 3.7# | 198.198 | 032 | 5 | 2.8 | 2.6 | 3.7# | 198.198 | 032 |
| 1281 | 1963 AGO 15 00 47 | 76.1W | 2.8N | 05.0 | 05.0 | 146.149 | 4.0# | 146.149 | 033 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.0# | 146.149 | 033 |
| 1234 | 1963 ABR 04 06 07 | 75.0W | 3.9N | 21.4 | 21.4 | 183.186 | 4.6# | 183.186 | 033 | 5 | 4.0# | 3.8 | 4.6# | 183.186 | 033 |
| 3274 | 1961 JUN 09 05 53 | 76.7W | 1.5N | 54.8 | 54.8 | 149.149 | 4.6# | 149.149 | 033 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.6# | 149.149 | 033 |
| 1103 | 1961 JUN 09 05 53 | 76.7W | 1.5N | 54.8 | 54.8 | 149.149 | 4.6# | 149.149 | 033 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.6# | 149.149 | 033 |
| 2092 | 1967 NOV 05 14 23 | 74.7W | 3.2N | 53.8 | 53.8 | 139.144 | 4.9# | 139.144 | 038 | 3 | 1.6 | 1.5 | 2.9# | 139.144 | 038 |
| 1825 | 1966 OCT 18 18 43 | 74.5W | 3.6N | 34.8 | 34.8 | 157.157 | 4.8# | 157.154 | 039 | 5 | 4.5 | 4.2 | 4.8# | 157.154 | 039 |
| 3583 | 1977 FEB 12 11 44 | 75.9W | 1.9N | 25.4 | 25.4 | 197.203 | 4.5# | 197.203 | 050 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 197.203 | 050 |
| 2740 | 1971 JUN 16 19 29 | 74.5W | 3.4N | 33.1 | 33.1 | 180.187 | 3.0# | 180.187 | 050 | 3 | 1.8 | 1.7 | 3.0# | 180.187 | 050 |
| 1471 | 1964 DIC 12 11 16 | 76.1W | 2.6N | 54.7 | 54.7 | 192.192 | 3.9# | 192.192 | 051 | 4 | 3.0 | 2.9 | 3.9# | 192.192 | 051 |
| 3843 | 1979 ENE 06 12 50 | 75.9W | 4.1N | 55.1 | 55.1 | 130.130 | 4.6# | 130.130 | 052 | 4 | 3.0 | 2.9 | 4.6# | 130.130 | 052 |
| 1958 | 1967 FEB 27 02 06 | 74.9W | 2.9N | 41.6 | 41.6 | 113.127 | 5.1# | 113.127 | 057 | 6 | 4.8 | 4.5 | 5.1# | 113.127 | 057 |
| 0894 | 1959 JUN 03 03 43 | 77.1W | 3.7N | 42.0 | 42.0 | 198.206 | 4.3# | 198.206 | 060 | 5 | 4.5# | 4.3 | 4.3# | 198.206 | 060 |
| 0757 | 1957 MAY 24 02 37 | 76.5W | 3.0N | 37.0 | 37.0 | 96.113 | 6.5# | 96.113 | 060 | 8 | 6.7# | 6.5 | 6.5# | 96.113 | 060 |
| 0912 | 1959 JUL 23 03 48 | 76.2W | 2.7N | 12.0 | 12.0 | 78.78 | 4.9# | 78.78 | 060 | 6 | 4.5# | 4.3 | 4.9# | 78.78 | 060 |
| 1903 | 1967 FEB 09 15 24 | 74.9W | 2.9N | 47.9 | 47.9 | 113.128 | 6.3# | 113.128 | 060 | 10 | 6.5 | 6.2 | 6.3# | 113.128 | 060 |
| 1904 | 1967 FEB 09 16 44 | 74.7W | 2.8N | 07.3 | 07.3 | 144.144 | 4.4# | 144.144 | 062 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 144.144 | 062 |
| 2593 | 1970 SEP 29 04 54 | 75.1W | 2.7N | 26.4 | 26.4 | 106.106 | 4.5# | 106.106 | 065 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 106.106 | 065 |
| 1910 | 1967 FEB 09 21 15 | 74.8W | 2.5N | 46.2 | 46.2 | 123.140 | 4.5# | 123.140 | 066 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 123.140 | 066 |
| 2129 | 1968 ENE 28 01 50 | 74.9W | 2.8N | 46.2 | 46.2 | 109.128 | 4.9# | 109.128 | 068 | 5 | 4.5 | 4.2 | 4.9# | 109.128 | 068 |
| 1094 | 1961 MAY 06 19 13 | 76.2W | 2.8N | 08.2 | 08.2 | 90.90 | 3.5# | 90.90 | 071 | 4 | 3.5# | 3.3 | 3.5# | 90.90 | 071 |
| 2119 | 1968 ENE 04 08 09 | 75.0W | 2.6N | 18.9 | 18.9 | 117.117 | 4.2# | 117.117 | 072 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2# | 117.117 | 072 |
| 1986 | 1967 ABR 02 03 03 | 74.8W | 2.9N | 14.5 | 14.5 | 143.143 | 4.4# | 143.143 | 073 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 143.143 | 073 |
| 3172 | 1974 OCT 19 07 54 | 75.2W | 4.1N | 53.5 | 53.5 | 181.186 | 4.4# | 181.186 | 075 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 181.186 | 075 |
| 2336 | 1968 DIC 04 13 23 | 76.1W | 3.7N | 07.4 | 07.4 | 140.159 | 4.1# | 140.159 | 075 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1# | 140.159 | 075 |
| 2226 | 1968 JUL 08 11 34 | 75.9W | 2.3N | 17.0 | 17.0 | 80.80 | 4.5# | 80.80 | 077 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 80.80 | 077 |
| 1951 | 1967 FEB 22 20 27 | 74.7W | 3.2N | 41.0 | 41.0 | 170.211 | 4.0# | 170.211 | 082 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.0# | 170.211 | 082 |
| 1795 | 1966 AGO 15 15 12 | 75.6W | 4.2N | 59.3 | 59.3 | 148.170 | 4.0# | 148.170 | 083 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.0# | 148.170 | 083 |
| 1964 | 1967 MAR 13 00 59 | 74.6W | 3.0N | 04.5 | 04.5 | 170.211 | 4.5# | 170.211 | 083 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.5# | 170.211 | 083 |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS
 ORDENACION DE LOS TERMINOS CON PRECEDENCIA CONCORDIA

| SISMO | # | TIEMPO DE OCURRENCIA (1) | UBICACION DEL HIPOCENTRO | INT | MAGNITUD (3) | RADIUS | ANO MES DIA HORA MIN SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF-KM | MM(2) | MS | ML | MB | EPC | FDC |
|-------|---|--------------------------|--------------------------|------|--------------|--------|--------------------------|---------|----------|---------|-------|------|-----|------|-----|-----|
| 3224 | 1 | 1975 MAR 31 01 42 | 75.4M | 2.9N | 32.3 | 42 | 34.6 | 2.8N | 75.5M | 086 | 5 | 4.0 | 3.8 | 4.6# | 180 | 200 |
| 1909 | 1 | 1967 FEB 09 19 25 | 74.2M | 2.5N | 19.9 | 25 | 19.9 | 2.5N | 74.2M | 087 | 5 | 4.0 | 3.8 | 4.6# | 180 | 200 |
| 1955 | 1 | 1967 FEB 24 07 31 | 76.2M | 2.3N | 47.9 | 31 | 47.9 | 2.3N | 76.2M | 087 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2# | 46 | 99 |
| 3528 | 1 | 1976 DIC 12 23 49 | 77.0M | 3.3N | 34.8 | 49 | 34.8 | 3.3N | 77.0M | 090 | 5 | 4.3 | 4.1 | 4.8# | 161 | 208 |
| 0491 | 1 | 1937 MAY 21 13 12 | 77.5M | 2.5N | 25.0 | 12 | 25.0 | 2.5N | 77.5M | 090 | 8 | 6.5# | 6.3 | 6.3 | 187 | 208 |
| 1999 | 1 | 1967 ABR 18 16 58 | 74.7M | 2.8N | 07.6 | 58 | 07.6 | 2.8N | 74.7M | 090 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 130 | 158 |
| 1933 | 1 | 1967 FEB 12 13 55 | 74.4M | 2.8N | 05.2 | 55 | 05.2 | 2.8N | 74.4M | 096 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1# | 162 | 189 |
| 0758 | 1 | 1957 MAY 31 21 57 | 77.0M | 3.5N | 46.0 | 57 | 46.0 | 3.5N | 77.0M | 100 | 5 | 4.0# | 3.8 | 4.6 | 174 | 201 |
| 0557 | 1 | 1945 JUL 09 16 42 | 76.5M | 2.5N | 08.0 | 42 | 08.0 | 2.5N | 76.5M | 100 | 7 | 6.5# | 6.3 | 6.3 | 76 | 125 |
| 0594 | 1 | 1944 MAY 09 14 29 | 75.5M | 2.5N | 57.0 | 29 | 57.0 | 2.5N | 75.5M | 100 | 7 | 6.0# | 5.8 | 6.0 | 36 | 106 |
| 0943 | 1 | 1959 DIC 31 18 31 | 77.5M | 2.0N | 18.0 | 31 | 18.0 | 2.0N | 77.5M | 100 | 5 | 4.5# | 4.3 | 4.9 | 194 | 218 |
| 2388 | 1 | 1969 MAR 18 22 07 | 74.6M | 3.1N | 48.5 | 07 | 48.5 | 3.1N | 74.6M | 104 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 153 | 185 |
| 1966 | 1 | 1967 MAR 16 09 26 | 74.5M | 3.2N | 18.4 | 26 | 18.4 | 3.2N | 74.5M | 107 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1# | 168 | 199 |
| 1912 | 1 | 1967 FEB 10 00 39 | 74.4M | 3.3N | 41.1 | 39 | 41.1 | 3.3N | 74.4M | 123 | 5 | 3.3 | 3.1 | 4.1# | 183 | 221 |
| 3580 | 1 | 1979 MAR 27 09 09 | 76.0M | 3.9N | 18.0 | 09 | 18.0 | 3.9N | 76.0M | 125 | 5 | 3.5 | 3.3 | 4.2# | 160 | 203 |
| 3604 | 1 | 1977 ABR 09 13 41 | 76.5M | 2.9N | 13.4 | 41 | 13.4 | 2.9N | 76.5M | 127 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.5# | 150 | 195 |
| 3405 | 1 | 1976 JUL 06 06 48 | 76.5M | 3.5N | 54.6 | 48 | 54.6 | 3.5N | 76.5M | 132 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 137 | 190 |
| 1916 | 1 | 1967 FEB 10 06 39 | 74.4M | 2.9N | 12.3 | 39 | 12.3 | 2.9N | 74.4M | 132 | 5 | 3.2 | 3.0 | 4.0# | 165 | 211 |
| 3595 | 1 | 1977 MAR 16 16 29 | 74.5M | 3.6N | 00.7 | 29 | 00.7 | 3.6N | 74.5M | 135 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3# | 193 | 236 |
| 0482 | 1 | 1935 DIC 27 22 05 | 76.0M | 4.0N | 05.0 | 05 | 05.0 | 4.0N | 76.0M | 150 | 7 | 5.5# | 5.2 | 5.6 | 171 | 228 |
| 2294 | 1 | 1968 SEP 22 12 36 | 76.3M | 3.9N | 34.9 | 36 | 34.9 | 3.9N | 76.3M | 153 | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8# | 168 | 227 |
| 2559 | 1 | 1970 SEP 24 06 07 | 76.2M | 4.1N | 19.7 | 07 | 19.7 | 4.1N | 76.2M | 155 | 5 | 4.2 | 3.9 | 4.7# | 186 | 242 |
| 1188 | 1 | 1962 DIC 04 22 47 | 75.8M | 4.2N | 46.3 | 47 | 46.3 | 4.2N | 75.8M | 166 | 5 | 4.5# | 4.3 | 4.9 | 193 | 254 |
| 2458 | 1 | 1969 JUL 15 03 13 | 76.2M | 3.5N | 28.1 | 13 | 28.1 | 3.5N | 76.2M | 167 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 122 | 207 |
| 3024 | 1 | 1974 FEB 03 20 16 | 76.1M | 3.1N | 25.5 | 16 | 25.5 | 3.1N | 76.1M | 176 | 5 | 3.6 | 3.4 | 4.3# | 77 | 192 |
| 1942 | 1 | 1967 FEB 16 23 49 | 76.0M | 3.3N | 06.7 | 49 | 06.7 | 3.3N | 76.0M | 177 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 95 | 201 |
| 3511 | 1 | 1976 AGO 26 18 26 | 77.0M | 3.1N | 49.3 | 26 | 49.3 | 3.1N | 77.0M | 181 | 4 | 2.9 | 2.7 | 3.8# | 149 | 234 |
| 1470 | 1 | 1964 DIC 10 02 35 | 76.7M | 1.9N | 39.9 | 35 | 39.9 | 1.9N | 76.7M | 191 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 117 | 224 |
| 3546 | 1 | 1976 NOV 25 14 59 | 75.5M | 4.2N | 35.7 | 59 | 35.7 | 4.2N | 75.5M | 197 | 5 | 4.3 | 4.1 | 4.8# | 196 | 278 |
| 2381 | 1 | 1969 MAR 02 12 44 | 75.5M | 3.7N | 12.2 | 44 | 12.2 | 3.7N | 75.5M | 213 | 5 | 3.8 | 3.5 | 4.4# | 141 | 256 |
| 3149 | 1 | 1974 JUL 27 01 31 | 75.7M | 2.5N | 58.0 | 31 | 58.0 | 2.5N | 75.7M | 240 | 5 | 3.9 | 3.7 | 4.5# | 14 | 240 |

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO BAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS

DETERMINACIÓN DE LOS TERREMOTOS CON PROCEDIMIENTO CONVENCIONAL

ESTUDIO SISMOLOGICO EN LA ZONA DE LA PLATA...
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS

| ANOS | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | TOTAL |
|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| 1940 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1941 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1942 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1943 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1944 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1945 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1946 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1947 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1948 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1949 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1950 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1951 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1952 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1953 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1954 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1955 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1956 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1957 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1958 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1959 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1960 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1961 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1962 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1963 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1964 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1965 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1966 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1967 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1968 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1969 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1970 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1971 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1972 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1973 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1974 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1976 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1977 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1978 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1979 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1980 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1982 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1983 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1984 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1985 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1986 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1987 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1988 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1989 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1990 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

APENDICE 2

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 4.0 Y 4.5 GRADOS DE LATITUD N
 76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | o | 18_! | oooooooooooooooooooo |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 4.0 Y 4.5 GRADOS DE LATITUD N
 76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | * | 19_! | ***** |
| 18_! | * | 18_! | ***** |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | o | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

ESTUDIO SISTEMATICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 77.0 Y 77.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25 | | 25 | |
| 24 | | 24 | |
| 23 | | 23 | |
| 22 | | 22 | |
| 21 | | 21 | |
| 20 | | 20 | |
| 19 | | 19 | |
| 18 | | 18 | |
| 17 | | 17 | |
| 16 | | 16 | |
| 15 | | 15 | |
| 14 | | 14 | |
| 13 | | 13 | |
| 12 | | 12 | |
| 11 | | 11 | |

1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25 | | 25 | |
| 24 | | 24 | |
| 23 | | 23 | |
| 22 | | 22 | |
| 21 | | 21 | |
| 20 | | 20 | |
| 19 | | 19 | |
| 18 | | 18 | |
| 17 | | 17 | |
| 16 | | 16 | |
| 15 | | 15 | |
| 14 | | 14 | |
| 13 | | 13 | |
| 12 | | 12 | |
| 11 | | 11 | |

1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980

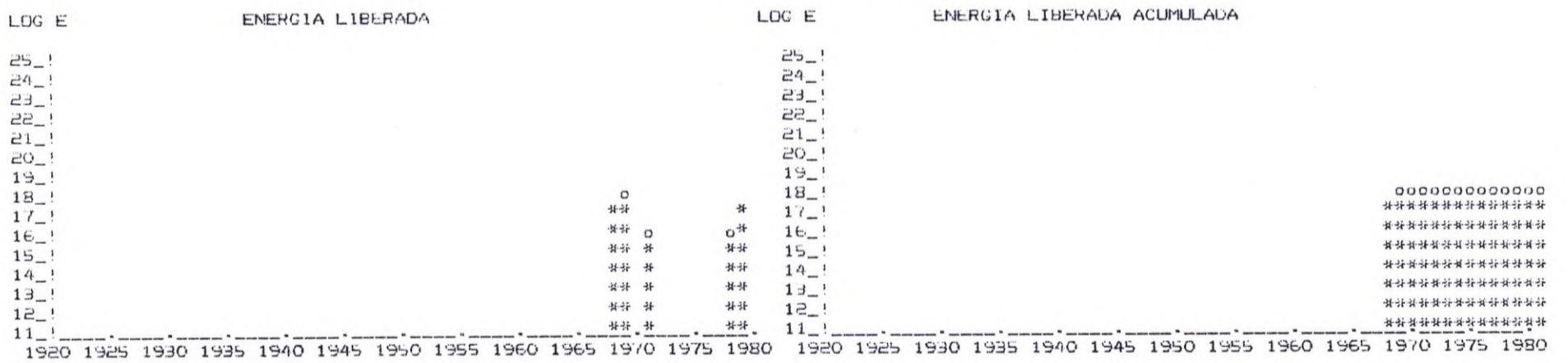
| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25 | | 25 | |
| 24 | | 24 | |
| 23 | | 23 | |
| 22 | | 22 | |
| 21 | | 21 | |
| 20 | | 20 | |
| 19 | | 19 | |
| 18 | | 18 | |
| 17 | | 17 | |
| 16 | | 16 | |
| 15 | | 15 | |
| 14 | | 14 | |
| 13 | | 13 | |
| 12 | | 12 | |
| 11 | | 11 | |

1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980

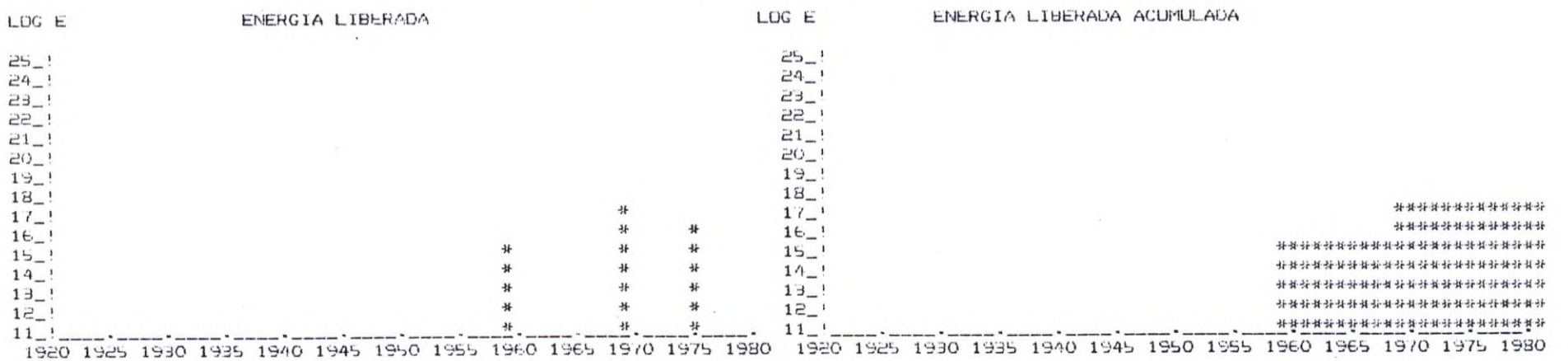
DIVISION DE ENERGIA A ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO
 ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA ELAIA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA ELAIA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W

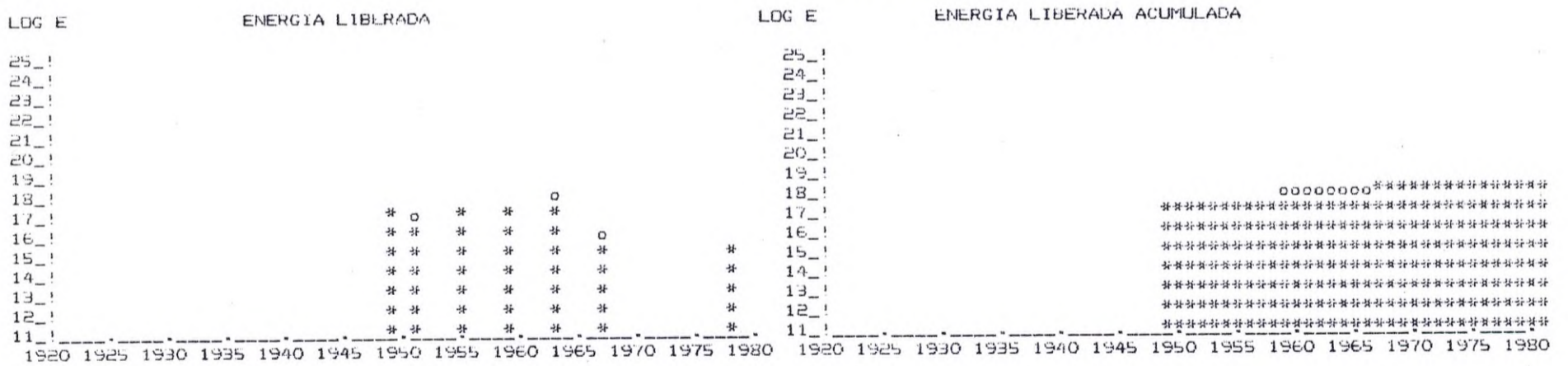


CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.5 Y 76.0 GRADOS DE LONGITUD W

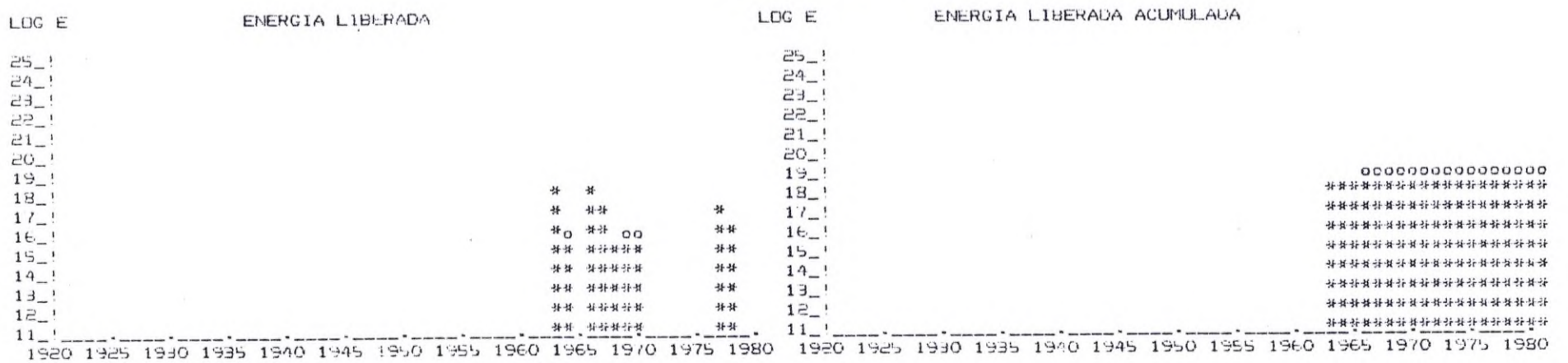


ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS página 5.
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.0 Y 75.5 GRADOS DE LONGITUD W

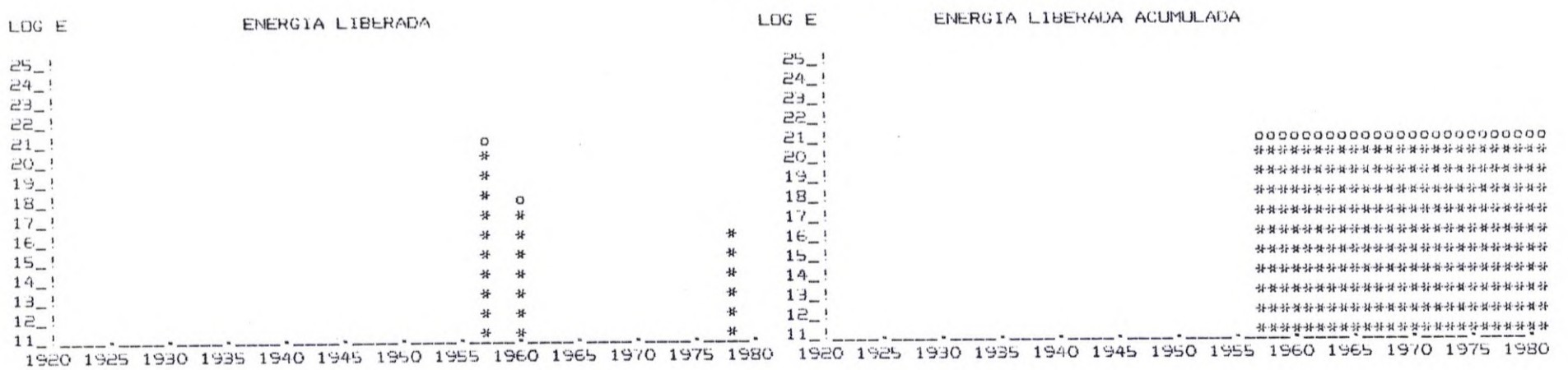


CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.5 Y 4.0 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

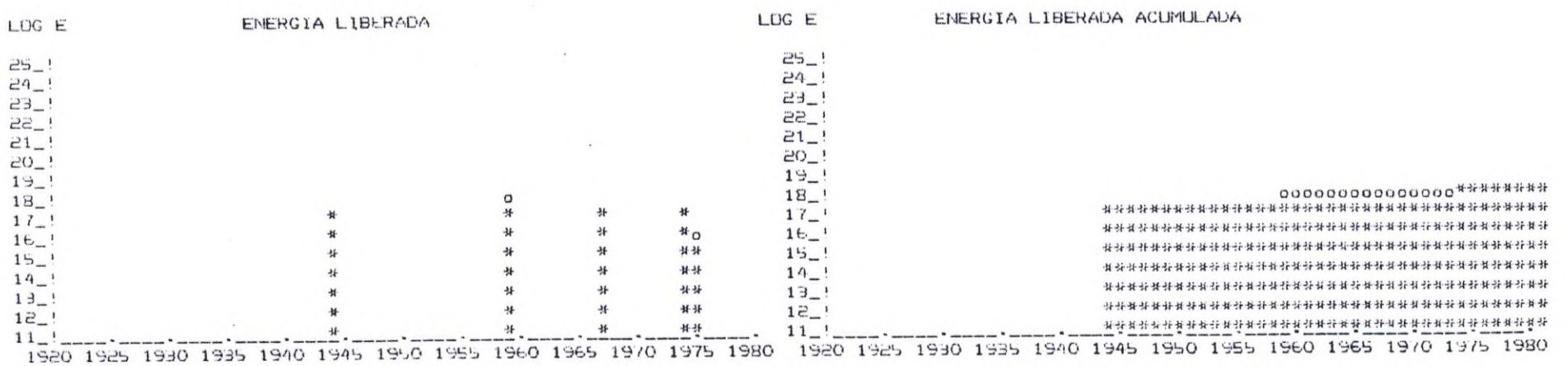


ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W



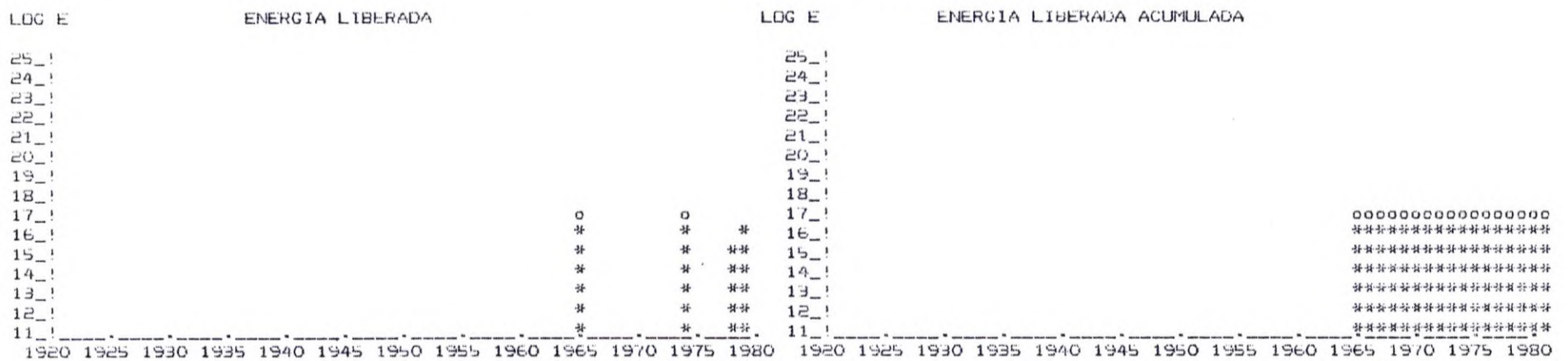
CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W



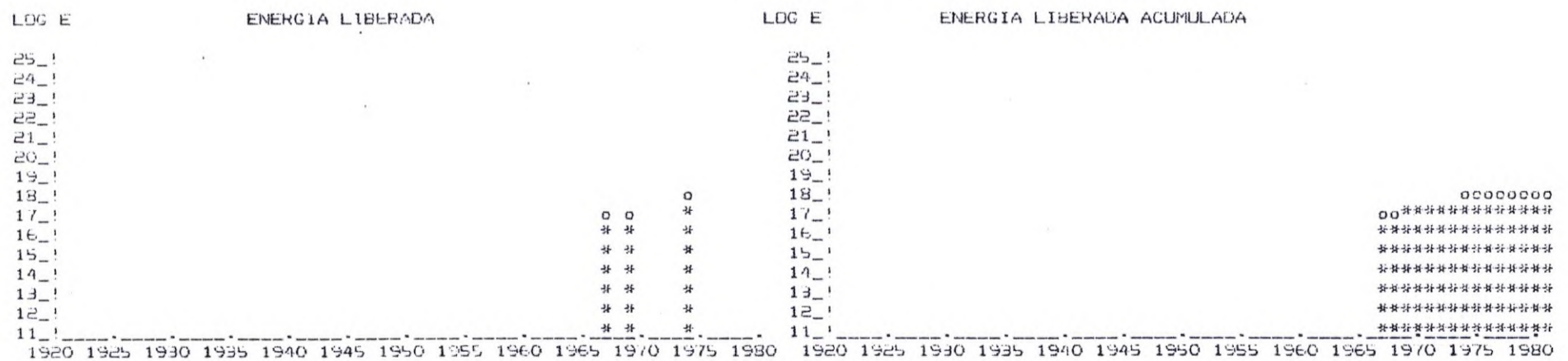
SERVICIOS DE INGENIERIA A ENGENHARIA S.A. S.R.L.
 CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA ELATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 75.5 Y 76.0 GRADOS DE LONGITUD W



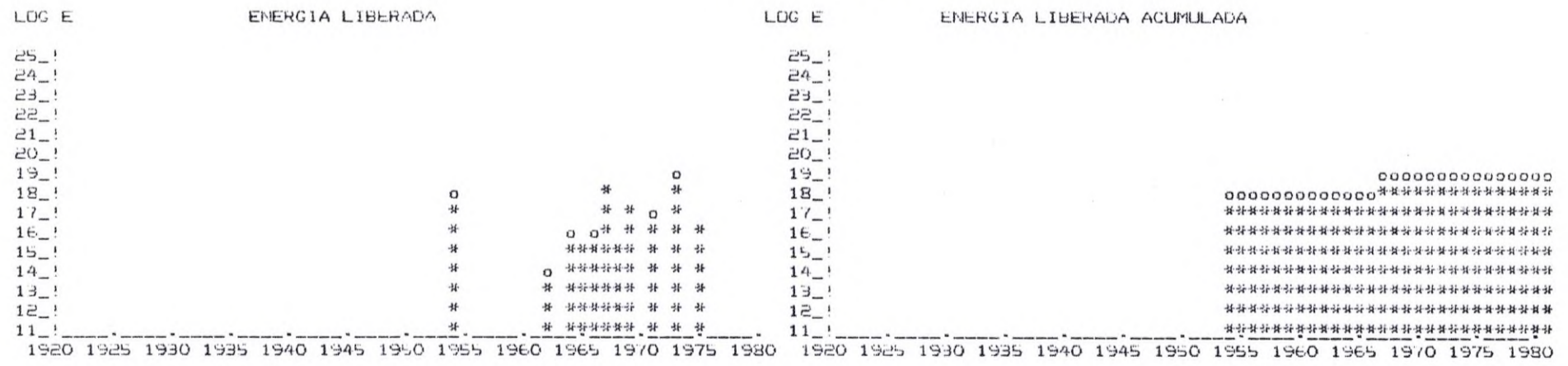
CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 75.0 Y 75.5 GRADOS DE LONGITUD W



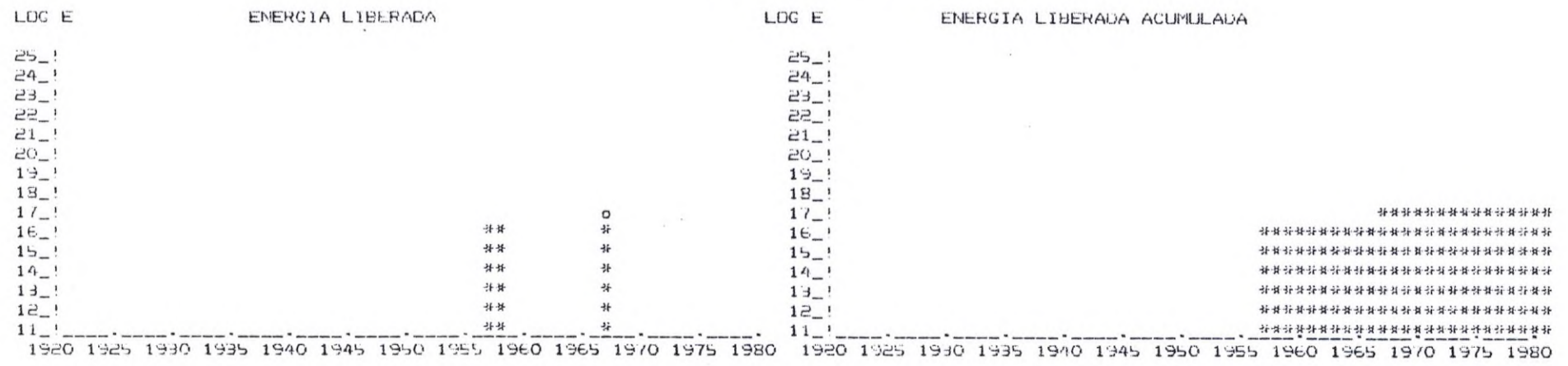
CAMBIO DE ENERGIA A ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO
 ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS **Página 9.**
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W



CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 3.0 Y 3.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.0 Y 74.5 GRADOS DE LONGITUD W



ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | * | 20_! | ***** |
| 19_! | * | 19_! | ***** |
| 18_! | *o | 18_! | ***** |
| 17_! | o *** | 17_! | o ***** |
| 16_! | * ** | 16_! | ***** |
| 15_! | * ** | 15_! | ***** |
| 14_! | * ** | 14_! | ***** |
| 13_! | * ** | 13_! | ***** |
| 12_! | * ** | 12_! | ***** |
| 11_! | * ** | 11_! | ***** |

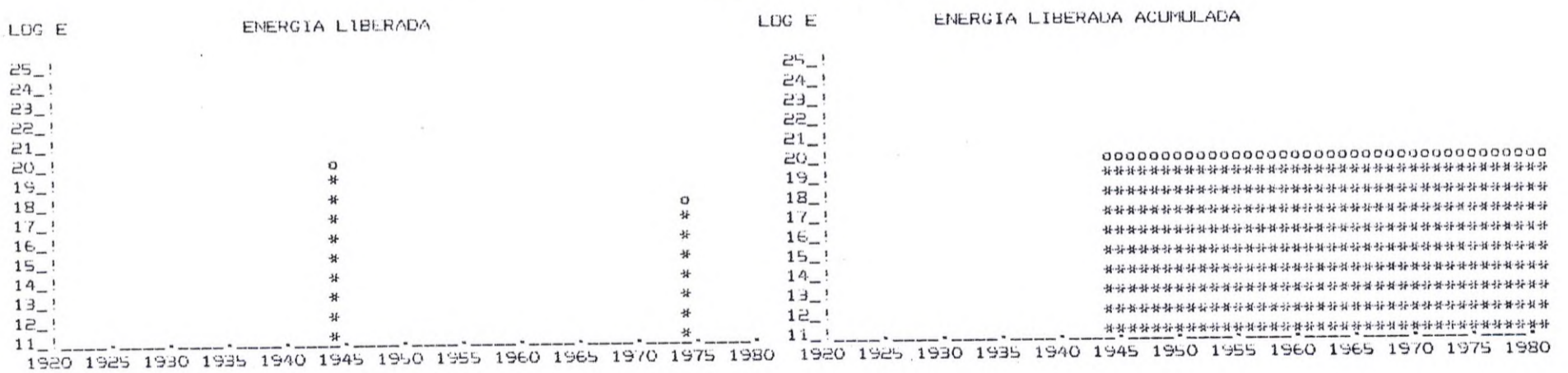
CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | ***** |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * * *o | 16_! | ***** |
| 15_! | * * ** | 15_! | ***** |
| 14_! | * * ** | 14_! | ***** |
| 13_! | * * ** | 13_! | ***** |
| 12_! | * * ** | 12_! | ***** |
| 11_! | * * ** | 11_! | ***** |

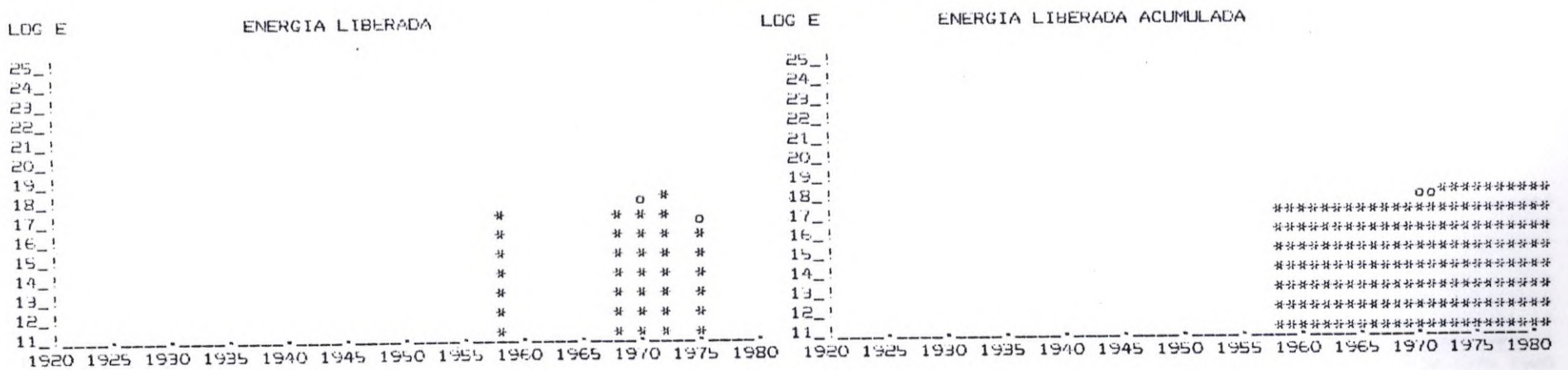
CONSULTORES DE INGENIERIA CIVIL Y HIDRAULICA S.A.
 ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.5 Y 76.0 GRADOS DE LONGITUD W



CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.0 Y 75.5 GRADOS DE LONGITUD W



ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | * | 21_! | ***** |
| 20_! | * | 20_! | ***** |
| 19_! | ** | 19_! | ***** |
| 18_! | **0# | 18_! | ***** |
| 17_! | ***** | 17_! | ***** |
| 16_! | ***** | 16_! | ***** |
| 15_! | ***** | 15_! | ***** |
| 14_! | ***** | 14_! | ***** |
| 13_! | ***** | 13_! | ***** |
| 12_! | ***** | 12_! | ***** |
| 11_! | ***** | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

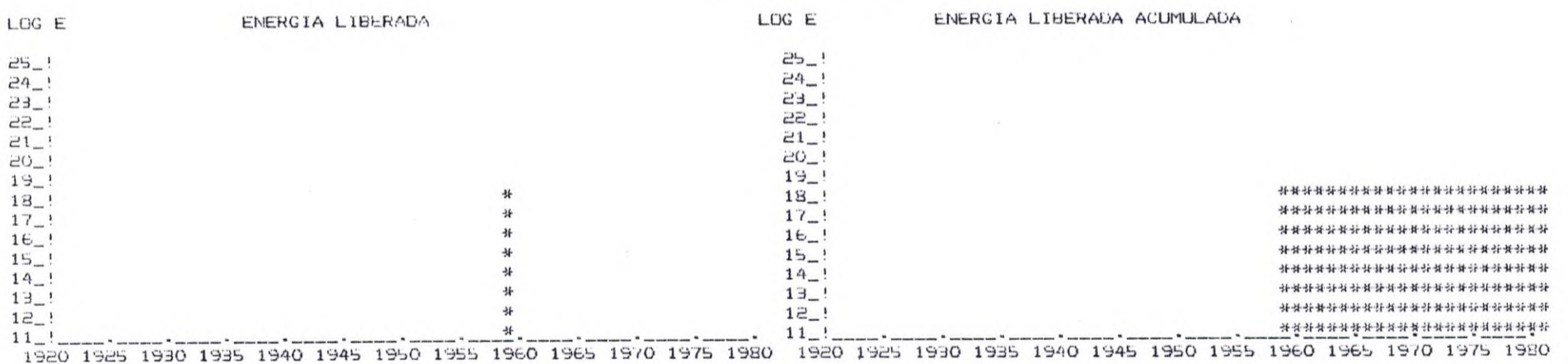
CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.5 Y 3.0 GRADOS DE LATITUD N
 74.0 Y 74.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | * | 19_! | ***** |
| 18_! | * | 18_! | ***** |
| 17_! | * * | 17_! | ***** |
| 16_! | * * | 16_! | ***** |
| 15_! | * * | 15_! | ***** |
| 14_! | * * | 14_! | ***** |
| 13_! | * * | 13_! | ***** |
| 12_! | * * | 12_! | ***** |
| 11_! | * * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

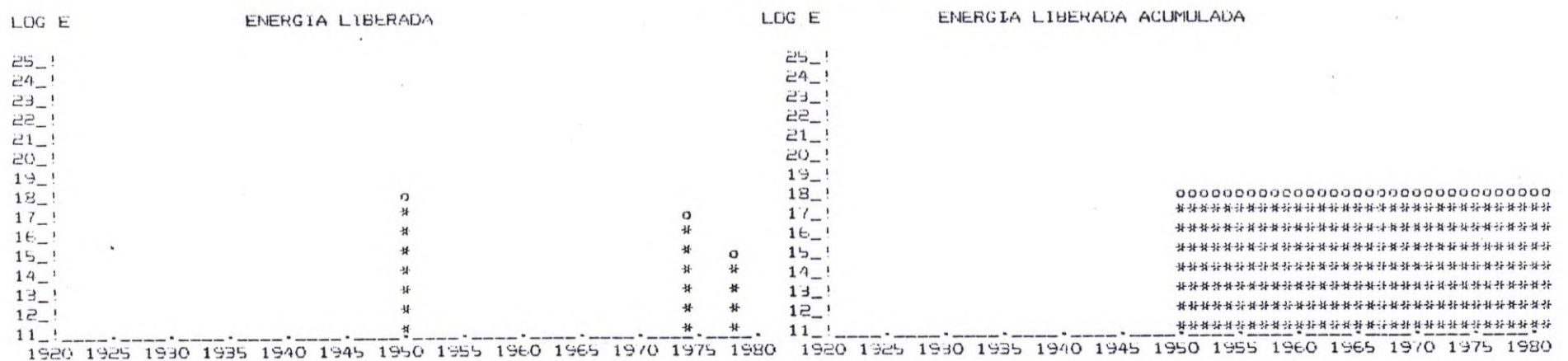
GRÁFICOS DE ENERGÍA Y ENERGÍA ACUMULADA VS TIEMPO

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS **Página 14.**
 GRÁFICOS DE ENERGÍA Y ENERGÍA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 77.5 Y 78.0 GRADOS DE LONGITUD W



CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 77.0 Y 77.5 GRADOS DE LONGITUD W



ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS

GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | * | 19_! | ***** |
| 18_! | * | 18_! | ***** |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

ESTUDIO SIMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Página 16.
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 75.5 Y 76.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | * 0 | 0 18_! | ***** |
| 17_! | * * | * 17_! | ***** |
| 16_! | * * | * 16_! | ***** |
| 15_! | * * | * 15_! | ***** |
| 14_! | * * | * 14_! | ***** |
| 13_! | * * | * 13_! | ***** |
| 12_! | * * | * 12_! | ***** |
| 11_! | * * | * 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 75.0 Y 75.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | * * | * 17_! | ***** |
| 16_! | * * | * 16_! | ***** |
| 15_! | * * | * 15_! | ***** |
| 14_! | * * | * 14_! | ***** |
| 13_! | * * | * 13_! | ***** |
| 12_! | * * | * 12_! | ***** |
| 11_! | * * | * 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

OPCIONES DE ENERGIA A ENERGIA VINTICINCO ANTES
 ENERGIA LIBERADA EN EL CUADRANTE ENTRE COORDENADAS 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Página 17.
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | | 17_! | |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |

1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980

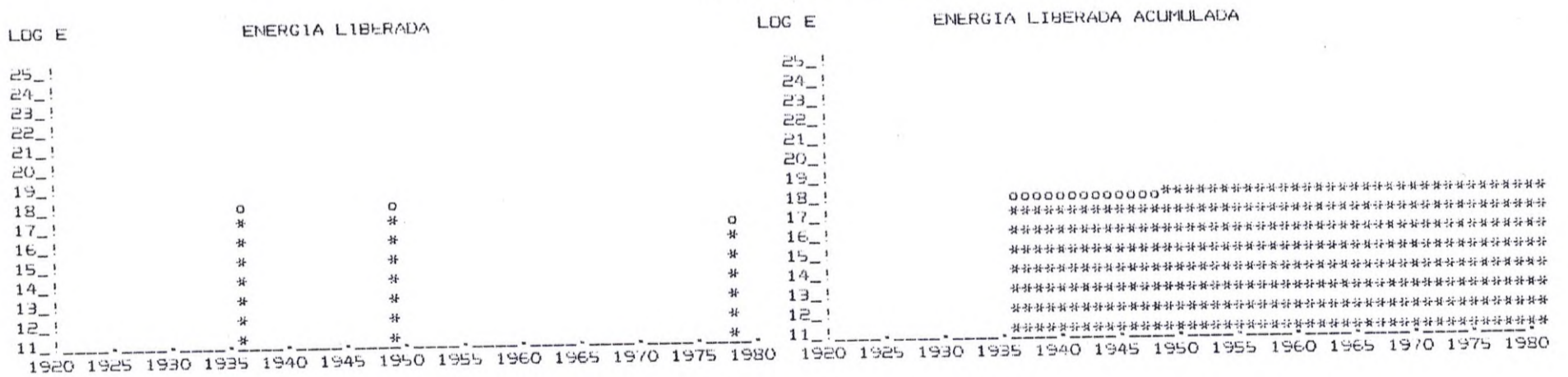
CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 2.0 Y 2.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.0 Y 74.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|-------|------------------|-------|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | | 17_! | |
| 16_! | | 16_! | |
| 15_! | o | 15_! | oooooooo***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |

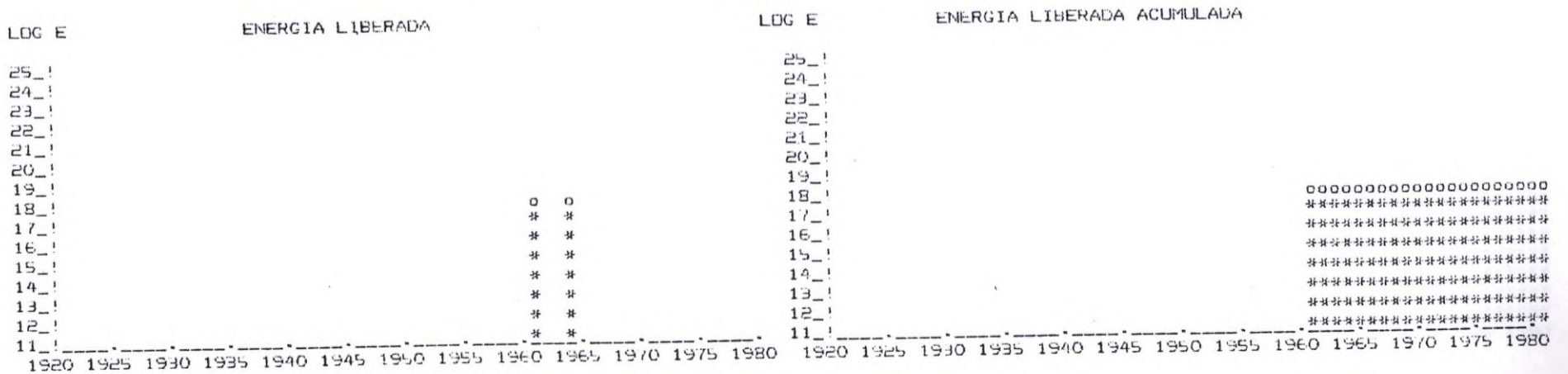
1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Página 18.
GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.5 Y 2.0 GRADOS DE LATITUD N
77.0 Y 77.5 GRADOS DE LONGITUD W



CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.5 Y 2.0 GRADOS DE LATITUD N
76.5 Y 77.0 GRADOS DE LONGITUD W



CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS CIENTÍFICOS
 INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA, CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS **Página 19.**
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.5 Y 2.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.5 Y 76.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | o | 18_! | o o o o o |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.5 Y 2.0 GRADOS DE LATITUD N
 75.0 Y 75.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | o | 17_! | o o o o o o |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

ANALISIS DE ENERGIA A ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO
 ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

ESTUDIO SISMOLOGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 GRAFICOS DE ENERGIA Y ENERGIA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.5 Y 2.0 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | | 17_! | |
| 16_! | | 16_! | 0000 |
| 15_! | | 15_! | ***** |
| 14_! | | 14_! | ***** |
| 13_! | | 13_! | ***** |
| 12_! | | 12_! | ***** |
| 11_! | | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.0 Y 1.5 GRADOS DE LATITUD N
 77.0 Y 77.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | * | 19_! | ***** |
| 18_! | * | 18_! | ***** |
| 17_! | * | 17_! | ***** |
| 16_! | * | 16_! | ***** |
| 15_! | * | 15_! | ***** |
| 14_! | * | 14_! | ***** |
| 13_! | * | 13_! | ***** |
| 12_! | * | 12_! | ***** |
| 11_! | * | 11_! | ***** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

OPORTUNIDAD DE ENERGIA A ENERGIA VIVA # 12 - 1980
 INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS

ESTUDIO SISMOLÓGICO PARA EL PROYECTO PAEZ-LA PLATA. CONSULTORES CIVILES E HIDRÁULICOS
 GRÁFICOS DE ENERGÍA Y ENERGÍA ACUMULADA VS TIEMPO

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.0 Y 1.5 GRADOS DE LATITUD N
 76.0 Y 76.5 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | o | 18_! | ooo |
| 17_! | * | 17_! | *** |
| 16_! | ** | 16_! | **** |
| 15_! | ** | 15_! | **** |
| 14_! | ** | 14_! | **** |
| 13_! | ** | 13_! | **** |
| 12_! | ** | 12_! | **** |
| 11_! | ** | 11_! | **** |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

CUADRANTE ENTRE COORDENADAS: 1.0 Y 1.5 GRADOS DE LATITUD N
 74.5 Y 75.0 GRADOS DE LONGITUD W

| LOG E | ENERGIA LIBERADA | LOG E | ENERGIA LIBERADA ACUMULADA |
|--|------------------|--|----------------------------|
| 25_! | | 25_! | |
| 24_! | | 24_! | |
| 23_! | | 23_! | |
| 22_! | | 22_! | |
| 21_! | | 21_! | |
| 20_! | | 20_! | |
| 19_! | | 19_! | |
| 18_! | | 18_! | |
| 17_! | | 17_! | |
| 16_! | | 16_! | |
| 15_! | | 15_! | |
| 14_! | | 14_! | |
| 13_! | | 13_! | |
| 12_! | | 12_! | |
| 11_! | | 11_! | |
| 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | | 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 | |

ANALISIS # 1 MISMO SISTEMA PROYECTO PAZ-LA PLATA - CONSULTORES CIVILES E HIRARRIQUIS
 ECUACION DE ATENUACION: A=B1EXP(B2M)*(R1+B3)**B3 CON LOS SIGUIENTES PARAMETROS REGIONALES Y EL USO DE LA ECUACION DE ~~...~~
 M0=3.00 B1=1.28 B1=0.481 B2=0.64 B3=1.30 B4=25.00 SIGMA=0.57 MEDIA=0.0

| NUMERO | TIPO | MUL | A | B | V | H | D | L | IDENTIFICACION |
|--------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|----------------|
| 1 | 1 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 2.000 | 60.00 | 40.00 | 150.00 | ORIENTALITAM |
| 2 | 1 | 7.50 | 1.60 | 7.56 | 1.500 | 60.00 | 80.00 | 150.00 | RUERKAL |
| 3 | 3 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 1.000 | 80.00 | 100.00 | 0.0 | SUBDUCCION |
| 4 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 30.00 | 10.00 | 150.00 | IGUIHA |
| 5 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.300 | 50.00 | 20.00 | 40.00 | NATAGA |
| 6 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 60.00 | 20.00 | 60.00 | MACDALENA |
| 7 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 40.00 | 30.00 | 120.00 | *DCC.MACDALE |
| 8 | 3 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 1.780 | 60.00 | 100.00 | 0.0 | ANULAR |

| INTENSIDAD | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.010 | 0.786759 | 0.362795 | 0.223833 | 0.065157 | 0.296069 | 0.151981 | 0.129117 | 0.468164 |
| 0.020 | 0.195768 | 0.087732 | 0.055184 | 0.013843 | 0.079246 | 0.035467 | 0.033853 | 0.094801 |
| 0.030 | 0.085599 | 0.036963 | 0.024013 | 0.004331 | 0.032450 | 0.013941 | 0.013286 | 0.025315 |
| 0.040 | 0.048515 | 0.019260 | 0.013119 | 0.001421 | 0.016106 | 0.006424 | 0.006102 | 0.001704 |
| 0.050 | 0.030945 | 0.011090 | 0.008034 | 0.000341 | 0.008554 | 0.002952 | 0.002985 | 0.0 |
| 0.060 | 0.021424 | 0.006653 | 0.005348 | 0.0 | 0.004458 | 0.001079 | 0.001465 | 0.0 |
| 0.070 | 0.015686 | 0.003968 | 0.003696 | 0.0 | 0.001992 | 0.000184 | 0.000665 | 0.0 |
| 0.080 | 0.011952 | 0.002238 | 0.002616 | 0.0 | 0.000473 | 0.000184 | 0.000236 | 0.0 |
| 0.090 | 0.009378 | 0.001138 | 0.001870 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000025 | 0.0 |
| 0.100 | 0.007517 | 0.000425 | 0.001331 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.110 | 0.006120 | 0.000000 | 0.000924 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.120 | 0.005036 | 0.0 | 0.000610 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.130 | 0.004172 | 0.0 | 0.000361 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.140 | 0.003466 | 0.0 | 0.000241 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.150 | 0.002878 | 0.0 | 0.000174 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.160 | 0.002377 | 0.0 | 0.000124 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.170 | 0.001945 | 0.0 | 0.000086 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.180 | 0.001566 | 0.0 | 0.000055 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.190 | 0.001230 | 0.0 | 0.000031 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.200 | 0.000928 | 0.0 | 0.000013 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

NOTA: LA INTENSIDAD ESTA EN TERMINOS ESPECIFICOS DE LA UNIDAD DE ENTRADA.

| INTENSIDAD | P | MU CORREGIDA | T DE RETORNO | PROBABILIDAD ANUAL DE EXCELENCIA | INTENSIDAD | P CORREGIDO | 95% T DE RETORNO |
|------------|----------|--------------|--------------|----------------------------------|------------|-------------|------------------|
| 0.010 | 0.916580 | 1.09 | 0.010 | 0.780441 | 1.28 | 1.28 | 1.28 |
| 0.020 | 0.448935 | 2.23 | 0.020 | 0.472073 | 2.12 | 2.12 | 2.12 |
| 0.030 | 0.211363 | 4.73 | 0.030 | 0.287404 | 3.48 | 3.48 | 3.48 |
| 0.040 | 0.106538 | 9.39 | 0.040 | 0.183794 | 5.44 | 5.44 | 5.44 |
| 0.050 | 0.062836 | 15.90 | 0.050 | 0.123310 | 8.11 | 8.11 | 8.11 |
| 0.060 | 0.039621 | 25.24 | 0.060 | 0.085967 | 11.63 | 11.63 | 11.63 |
| 0.070 | 0.025843 | 38.69 | 0.070 | 0.062061 | 16.11 | 16.11 | 16.11 |
| 0.080 | 0.017363 | 57.59 | 0.080 | 0.046014 | 21.73 | 21.73 | 21.73 |
| 0.090 | 0.012335 | 81.07 | 0.090 | 0.035052 | 28.53 | 28.53 | 28.53 |
| 0.100 | 0.009229 | 105.35 | 0.100 | 0.027220 | 36.74 | 36.74 | 36.74 |
| 0.110 | 0.007019 | 142.47 | 0.110 | 0.021483 | 46.55 | 46.55 | 46.55 |
| 0.120 | 0.005630 | 177.61 | 0.120 | 0.017187 | 58.18 | 58.18 | 58.18 |
| 0.130 | 0.004423 | 221.09 | 0.130 | 0.013908 | 71.90 | 71.90 | 71.90 |
| 0.140 | 0.003470 | 270.20 | 0.140 | 0.011471 | 87.17 | 87.17 | 87.17 |
| 0.150 | 0.002847 | 328.24 | 0.150 | 0.009351 | 104.70 | 104.70 | 104.70 |
| 0.160 | 0.002498 | 400.32 | 0.160 | 0.007943 | 125.90 | 125.90 | 125.90 |
| 0.170 | 0.002029 | 492.97 | 0.170 | 0.006717 | 148.87 | 148.87 | 148.87 |
| 0.180 | 0.001620 | 617.31 | 0.180 | 0.005718 | 174.88 | 174.88 | 174.88 |
| 0.190 | 0.001260 | 793.36 | 0.190 | 0.004895 | 204.27 | 204.27 | 204.27 |
| 0.200 | 0.000941 | 1000.00 | 0.200 | 0.004211 | 237.38 | 237.38 | 237.38 |

| NUMERO | TIPO | MLL | VALIOS DE LA FUENTE | | | | | | | IDENTIFICACION |
|--------|------|------|---------------------|------|-------|-------|--------|--------|-----------------|----------------|
| | | | A | B | V | H | D | L | | |
| 1 | 1 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 2.000 | 60.00 | 40.00 | 150.00 | ORIENTIFICACION | |
| 2 | 1 | 7.50 | 1.60 | 7.56 | 1.500 | 60.00 | 80.00 | 150.00 | ORIENT/ALTIM | |
| 3 | 3 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 1.000 | 80.00 | 100.00 | 0.0 | ROPERAL | |
| 4 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 80.00 | 10.00 | 150.00 | IGUIRA | |
| 5 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.300 | 50.00 | 20.00 | 40.00 | NATAGA | |
| 6 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 60.00 | 20.00 | 60.00 | MADALENA | |
| 7 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 40.00 | 30.00 | 120.00 | DCC.MADALENA | |
| 8 | 3 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 1.780 | 60.00 | 100.00 | 0.0 | ANULAR | |

| INTENSIDAD | CONTRIBUCION DE LAS FUENTES | | | | | | |
|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 |
| 0.016 | 0.470082 | 0.182879 | 0.103120 | 0.035556 | 0.254975 | 0.104568 | 0.099464 |
| 0.026 | 0.101581 | 0.036973 | 0.022752 | 0.005294 | 0.051294 | 0.020081 | 0.020016 |
| 0.036 | 0.041626 | 0.013263 | 0.008843 | 0.000976 | 0.018087 | 0.006315 | 0.006477 |
| 0.046 | 0.022223 | 0.005559 | 0.004424 | 0.000025 | 0.007330 | 0.001855 | 0.002444 |
| 0.056 | 0.013696 | 0.002218 | 0.002323 | 0.0 | 0.002623 | 0.000223 | 0.000832 |
| 0.066 | 0.009203 | 0.000627 | 0.001257 | 0.0 | 0.000363 | 0.0 | 0.000232 |
| 0.076 | 0.006520 | 0.0 | 0.000616 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.086 | 0.004763 | 0.0 | 0.000300 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.096 | 0.003523 | 0.0 | 0.000182 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.106 | 0.002596 | 0.0 | 0.000108 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.116 | 0.001869 | 0.0 | 0.000057 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.126 | 0.001275 | 0.0 | 0.000021 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.136 | 0.000774 | 0.0 | 0.000001 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.146 | 0.000343 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.156 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.166 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.176 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.186 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.196 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.206 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

NOTA: LA INTENSIDAD ESTA EN TERMINOS ESPECIFICOS DE LA UNIDAD DE ENTRADA.

| INTENSIDAD | P NO CORREGIDA | PERCENTUAL ANUAL DE EXCEDENCIA | T DE RETORNO | INTENSIDAD P CORREGIDA | PERCENTUAL ANUAL DE EXCEDENCIA | T DE RETORNO |
|------------|----------------|--------------------------------|--------------|------------------------|--------------------------------|--------------|
| 0.010 | 0.772812 | 1.29 | 0.010 | 0.599287 | 1.67 | |
| 0.020 | 0.247945 | 4.04 | 0.020 | 0.358800 | 2.79 | |
| 0.030 | 0.091161 | 10.97 | 0.030 | 0.232386 | 4.30 | |
| 0.040 | 0.042317 | 23.36 | 0.040 | 0.159802 | 6.26 | |
| 0.050 | 0.021734 | 46.01 | 0.050 | 0.115049 | 8.69 | |
| 0.060 | 0.011614 | 86.10 | 0.060 | 0.085618 | 11.68 | |
| 0.070 | 0.007111 | 140.63 | 0.070 | 0.065524 | 15.26 | |
| 0.080 | 0.005050 | 198.01 | 0.080 | 0.051186 | 19.54 | |
| 0.090 | 0.003699 | 270.38 | 0.090 | 0.040819 | 24.50 | |
| 0.100 | 0.002700 | 370.32 | 0.100 | 0.033023 | 30.28 | |
| 0.110 | 0.001924 | 519.72 | 0.110 | 0.027034 | 36.99 | |
| 0.120 | 0.001296 | 771.72 | 0.120 | 0.022341 | 44.76 | |
| 0.130 | 0.000975 | 1066.44 | 0.130 | 0.018770 | 53.28 | |
| 0.140 | 0.000743 | 1444.44 | 0.140 | 0.015746 | 63.51 | |
| 0.150 | 0.000550 | 1920.00 | 0.150 | 0.013427 | 74.48 | |
| 0.160 | 0.000400 | 2560.00 | 0.160 | 0.011366 | 87.98 | |
| 0.170 | 0.000300 | 3360.00 | 0.170 | 0.009803 | 102.01 | |
| 0.180 | 0.000225 | 4320.00 | 0.180 | 0.008499 | 117.65 | |
| 0.190 | 0.000170 | 5580.00 | 0.190 | 0.007403 | 135.07 | |
| 0.200 | 0.000125 | 7200.00 | 0.200 | 0.006476 | 154.43 | |

ANALISIS # 1 RIESGO SISMICO PROYECTO PAZ-LA PLATA . CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS

EQUACION DE ATENUACION: A=B1EXP(B2M)²*(R+R)²*B3 CON LOS SIGUIENTES PARAMETROS REGIONALES Y EL USO DE LA ECUACION DE ~~WELLS~~ MEDIA=0.0
 MD=3.00 B1=1.28 B2=0.80 B3=2.00 B4=25.00 SICHIA=1.19 MEDIA=0.0

DATOS DE LA FUENTE

| NUMERO | TIPO | MUL | A | B | V | H | D | L | IDENTIFICACION |
|--------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|----------------|
| 1 | 1 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 2.000 | 60.00 | 40.00 | 150.00 | ORIENT/ALTAM |
| 2 | 1 | 7.50 | 1.60 | 7.56 | 1.500 | 60.00 | 80.00 | 150.00 | NUMERAL |
| 3 | 3 | 8.20 | 1.60 | 7.56 | 1.000 | 80.00 | 100.00 | 0.0 | SUBDUCCION |
| 4 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 80.00 | 10.00 | 150.00 | IGUIRA |
| 5 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.300 | 50.00 | 20.00 | 40.00 | NAIAGA |
| 6 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 60.00 | 20.00 | 60.00 | MAGDALENA |
| 7 | 1 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 0.200 | 40.00 | 30.00 | 120.00 | -DCC.MAGDALE |
| 8 | 3 | 6.20 | 1.60 | 7.56 | 1.780 | 60.00 | 100.00 | 0.0 | ANULAR |

CONTRIBUCION DE LAS FUENTES

| INTENSIDAD | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 0.01G | 0.044454 | 0.014560 | 0.009974 | 0.001152 | 0.018499 | 0.006688 | 0.006711 | 0.0 |
| 0.02G | 0.014811 | 0.002803 | 0.002748 | 0.0 | 0.002886 | 0.000321 | 0.000963 | 0.0 |
| 0.03G | 0.007746 | 0.000241 | 0.001001 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000040 | 0.0 |
| 0.04G | 0.004756 | 0.0 | 0.000319 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.05G | 0.003100 | 0.0 | 0.000155 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.06G | 0.002024 | 0.0 | 0.000072 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.07G | 0.001247 | 0.0 | 0.000029 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.08G | 0.000646 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.09G | 0.000160 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.10G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.11G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.12G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.13G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.14G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.15G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.16G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.17G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.18G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.19G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.20G | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

NOTA: LA INTENSIDAD ESTA EN TERMINOS ESPECIFICOS DE LA UNIDAD DE ENTRADA.

RECEPCION ANUAL DE EXCELENCIA

| INTENSIDAD | P | NO CORREGIDA | T DE RETORNO | INTENSIDAD P CORREGIDA | T DE RETORNO |
|------------|----------|--------------|--------------|------------------------|--------------|
| 0.010 | 0.097366 | 10.27 | 0.010 | 0.210637 | 4.75 |
| 0.020 | 0.024234 | 41.26 | 0.020 | 0.106220 | 9.41 |
| 0.030 | 0.008988 | 111.26 | 0.030 | 0.065631 | 15.24 |
| 0.040 | 0.005063 | 197.52 | 0.040 | 0.044856 | 22.29 |
| 0.050 | 0.003250 | 307.70 | 0.050 | 0.032710 | 30.57 |
| 0.060 | 0.002093 | 477.78 | 0.060 | 0.024227 | 40.28 |
| 0.070 | 0.001269 | 787.81 | 0.070 | 0.019480 | 51.33 |
| 0.080 | 0.000646 | 1197.81 | 0.080 | 0.015620 | 64.02 |
| 0.090 | 0.000160 | 1897.81 | 0.090 | 0.012524 | 77.98 |
| 0.100 | 0.000000 | 2797.81 | 0.100 | 0.010680 | 93.64 |
| 0.110 | 0.000000 | 3997.81 | 0.110 | 0.009396 | 111.16 |
| 0.120 | 0.000000 | 5597.81 | 0.120 | 0.007648 | 130.75 |
| 0.130 | 0.000000 | 7897.81 | 0.130 | 0.006623 | 150.98 |
| 0.140 | 0.000000 | 10997.81 | 0.140 | 0.005714 | 175.00 |
| 0.150 | 0.000000 | 15197.81 | 0.150 | 0.005018 | 199.27 |
| 0.160 | 0.000000 | 20797.81 | 0.160 | 0.004373 | 228.69 |
| 0.170 | 0.000000 | 28497.81 | 0.170 | 0.003880 | 257.71 |
| 0.180 | 0.000000 | 38997.81 | 0.180 | 0.003459 | 289.12 |
| 0.190 | 0.000000 | 52997.81 | 0.190 | 0.003095 | 323.07 |
| 0.200 | 0.000000 | 72997.81 | 0.200 | 0.002780 | 359.72 |

| | Pág. |
|--------------------------------------|------|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- OBJETIVOS | 4 |
| 3.- METODOLOGIA Y PLAN | 7 |
| 3.1. <u>Ecología</u> | 7 |
| 3.2. <u>Salud</u> | 8 |
| 4.- LOS DATOS TEMPERALES DE LOS RIOS | 15 |
| 5.- CONCLUSIONES | 17 |
| 6.- BIBLIOGRAFIA | 19 |
| 6.1. <u>Fase 1</u> | 19 |
| 6.2. <u>Actividad Volcánica</u> | 22 |

APENDICE 4

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- TECTONICA | 4 |
| 3.- GEOLOGIA Y FALLAS | 7 |
| 3.1. <u>Geología</u> | 7 |
| 3.2. <u>Fallas</u> | 8 |
| 4.- LOS MAYORES TEMBLORES EN LA HISTORIA | 15 |
| 5.- CONCLUSIONES | 17 |
| 6.- RECOMENDACIONES | 19 |
| 6.1. <u>Fase I</u> | 19 |
| 6.2. <u>Actividad Volcánica</u> | 22 |

APENDICE 4

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Fallas importantes en los sitios de presa propuestos del Proyecto Páez - La Plata.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1 Plano del Proyecto Páez - La Plata
- Figura 2 Modelo Tectónico del Noroeste de Suramérica
- Figura 3 Imagen Landsat de la región Páez - La Plata.
- Figura 4 Fotografía de la Falla Iquirá
- Figura 5 Fotografía de la Falla Guanito
- Figura 6 Fotografía de la Terraza de Lodo volcánico
- Figura 7 Fotografía de la Falla Fraile
- Figura 8 Fotografía de la Falla Macama
- Figura 9 Principales fallas de la zona del Proyecto

1. INTRODUCCION

Esta investigación preliminar de riesgo sísmico para el proyecto Páez - La Plata en el sur de Colombia corresponde a los estudios de prefactibilidad - conducidos por el consorcio CONSULTORIA COLOMBIANA Y CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS de Bogotá. El consorcio efectúa un contrato con el Instituto - Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) y la Electrificadora del Huila S.A. para estudiar la factibilidad de un desarrollo hidroeléctrico de la cuenca del río Páez al sur occidente del departamento del Huila y al este del de - partamento del Cauca. El proyecto está localizado al sur occidente de la ciudad de Neiva. La presa de Betania, actualmente en construcción, se loca liza en el río Magdalena aguas abajo de su confluencia con el río Páez.

El proyecto propuesto consiste de cuatro sitios de presa diferentes, cada u no de los cuales requiere largos túneles para tomar agua hacia o desde las casas de máquinas. (Figura 1).

Las presas sugeridas son:

- PAICOL - Altura 150 mts; túnel de carga de 3.2 Kms, y el túnel de fuga de 23 Kms.
- GUINEA - Altura 90 mts; túnel de carga de 11.22 Kms.
- MACAMA - Altura 120 mts; túnel de carga de 14.85 Kms.
- P. GRANDE - Altura 120 mts; túnel de carga de 6.3 Kms.

Todas las presas serán de construcción de enrocado con pantalla de concreto. Las anteriores presas, cuando se integren con la presa de Betania y otras - propuestas en la parte alta del río Magdalena, formarán una muy importante fuente energética para la ayuda en el continuo crecimiento y desarrollo de esta región de Colombia.

En Noviembre de 1.982, CONSULTORIA COLOMBIANA Y CONSULTORES CIVILES E HI - DRAULICOS solicitaron a WOODWARD - CLYDE CONSULTANS (WCC) para ayudarlos en

una evaluación preliminar sobre riesgos sísmicos para el área del proyecto. Los objetivos de la investigación fueron:

1. Identificar el sistema mayor de fallas en la región y las fallas en el área del proyecto que podrían ser potencialmente significativas para el diseño sísmico de las presas estudiadas.
2. Examinar cada uno de los sitios de presa acerca de la posibilidad de encontrar fallas activas en o cerca a los sitios.
3. Revisar la información existente de terremotos históricos.
4. Formular un programa de investigación para los estudios de factibilidad.

Fué beneficioso para el proyecto Páez - La Plata el que, en Septiembre de 1.982, WCC hubiera completado una evaluación inicial del riesgo sísmico para el proyecto del Alto Magdalena. Este proyecto se encuentra al oeste del proyecto Páez - La Plata y está dentro de la misma zona geológica general. (Woodward - Clyde Consultans, 1.982 a.). Debido a que este trabajo previo incluía un día de reconocimiento en helicóptero para localizar las fallas - mayores de la región, el trabajo realizado para el proyecto Páez - La Plata se concentró en un reconocimiento de campo en jeep de los sitios de proyectos y presas. El alcance incluyó lo siguiente:

1. Un repaso de la literatura considerando las fallas activas en la región.
2. Un estudio de las imágenes LANDSAT de la región.
3. Un estudio de las fotografías aéreas de cada sitio de presa con la excepción de Piedragrande.
4. Una discusión de los terremotos históricos con Alberto Sarria, el con -

sultor sismológico del proyecto, y un repaso de la historia de los terremotos recopilado por el Padre Ramírez (1.975).

5. Tres días de reconocimiento terrestre en jeep de los cuatro sitios de presa y sus alrededores.

En este informe, las descripciones de geología, tectónica y de las fallas regionales, han sido modificadas de anteriores estudios efectuados por Woodward - Clyde Consultans en Colombia. Las descripciones de las fallas en el área de Páez - La Plata, se muestran en el presente estudio.

2.

TECTONICA.

El avalúo del porcentaje y tipo de fallamiento y del grado de actividad de la falla requiere de un conocimiento de las fuerzas tectónicas y las fechas en las cuales ocurrió una deformación tectónica en la región. La parte norte de los Andes ha sido periódicamente levantada desde el Jurásico. Desde el cretáceo medio, han ocurrido levantamientos regionales durante tres diferentes orogenias; la orogenia del Cretáceo tardío (hace 100 millones de años), la orogenesis inferior del Mioceno Proto - Andino (de 24 a 21 millones de años atrás) (Duque - Caro 1.978; Irving, 1.975; Martin, 1.978).

Una subducción antigua de la placa de Nazca debajo de la placa Suramericana en la edad del Mioceno Medio, probablemente causó un levantamiento sustancial de las tres cordilleras. Seguidamente, una erosión de estos rangos resultó de una deposición de una gruesa secuencia de sedimentos en el Alto Magdalena y a lo largo de la Costa Caribe (Duque - Caro, 1.978).

Después de este período de quietud y erosión, una subducción aparentemente se reanudó durante la orogenia tardía Andina y las tres nuevas cordilleras se levantaron. Esta última orogenia estuvo acompañada de una erupción volcánica extensiva de la Cordillera Central, cerca y hacia el sur de Manizales. Se trata de la última orogenia Cenozoica, la mas importante en la evaluación de los riesgos sísmicos.

El período más reciente de un levantamiento de la Cordillera Oriental se inició hace 3 o 4 millones de años con una duración de 1.5 a 2.0 millones de años (Van der Hammen y otros, 1.973).

Las Cordilleras Central y Occidental probablemente fueron levantadas concurrentemente. Este período de levantamiento coincidió con la colisión de las masas continentales de la América Central y la América del Sur, las cuales aislaron el mar Caribe del Océano Pacífico, hace unos 3.5 a 3.1 millones de años (Keigwin, 1.978). La última orogenia Andina fué del período de levantamiento y deformación más extenso, y las fases más recientes de esta

orogenia comprenden el actual sistema tectónico del noroeste de Colombia.

En las regiones del mundo en donde solo dos cortezas platafórmicas interactúan entre sí, la zona de mayor deformación generalmente se localiza a lo largo de un simple límite de placa. En una región en donde existe una triple unión, donde las tres están interactuando entre sí, el modelo tectónico es más complicado. El noroeste de Colombia se localiza cerca de una triple unión, entre las placas de América del Sur, la de Nazca y la del Caribe, y tectónicamente es un área compleja (Figura 2). Hacia el centro y sur de Colombia (al sur de la latitud 6°N), el proceso tectónico dominante es la subducción: La placa oceánica de Nazca se mueve hacia el este y bajo las placas tanto de Sur América como del Caribe. A lo largo de la Costa norte occidental de Colombia, la placa Sur Americana está siendo empujada sobre la placa Caribeña. (Duque - Caro, 1.978; Dennington, 1.981; Isacks y Molnar, 1.971; Santo, 1.969; y Kellogg y otros, 1.980). Al mismo tiempo, en la parte norte de la región, la placa Suramericana se está moviendo hacia el Oeste, pasada la placa Caribeña, la cual parece estar moviéndose más lentamente que las otras dos placas.

El proyecto Páez - La Plata (al suroeste de Neiva en la figura 2) está localizado bien al sur de la triple unión. El ángulo de inclinación al oeste de la zona de subducción, parece ser relativamente alto, y la profundidad a la cima de la zona de subducción por debajo de la región del proyecto se estima entre los 100 y 200 kilómetros.

Un fallamiento dentro de la corteza por encima de la zona, es el resultado de esfuerzos que se generan en la placa, como es el resultado de una subducción activa. La más grande zona de falla en la región del proyecto, parece ser el sistema de la falla frontal del este, el cual se localiza a lo largo del frente oriental de la Cordillera Oriental. (Placa 1). Los más recientes desplazamientos del cuaternario a lo largo de este sistema de fallas parecen haber sido principalmente sobre fallas inversas.

Al sur de la frontera con Venezuela desde el río Arauca hasta cerca de Villavicencio, se han detectado fallamientos dramáticos y plegamientos de abanicos aluviales a lo largo del frente montañoso. (Woodward - Clyde Consultants, 1.982b y 1.982c). Sin embargo al sur de la Serranía de la Macarena, esta zona de intensa deformación activa parece disminuir.

3. GEOLOGIA Y FALLAS

3.1. GEOLOGIA.

La región del proyecto Páez - La Plata yace en un valle del alto Magdalena, donde la Cordillera Oriental se une a la Cordillera Central. (Placa 1). Esta región es tectónica y geológicamente compleja. Al Este, están las selváticas planicies de los Llanos Orientales.

Estas altiplanicies, a la cota 500 mts, subyacen en el terciario relativamente indeformado y otras rocas sedimentarias más antiguas que suprayacen un basamento precámbrico. Encontrando abruptamente a los Llanos, están las montañas de la Cordillera Oriental. Estas montañas, que alcanzan elevaciones de 2000 mts a 3000 mts en la región del proyecto, se componen principalmente de rocas igneas y metamórficas, del Precámbrico en el costado Oriental, y de rocas metamórficas y sedimentarias complejamente plegadas y falladas del Paleozoico y Mesozoico en el costado Occidental.

El valle del Alto Magdalena está al Oeste de la Cordillera Oriental. Está ocupado por bajas colinas y bajas tierras con elevaciones entre 500 y 1500 mts. Las rocas bajo el valle son generalmente rocas sedimentarias suavemente plegadas y falladas, pertenecientes al Cretáceo y Terciario Superior. Localmente en el sur y comunmente en el norte, se presentan terrazas y abanicos del cuaternario. Sobre el costado Occidental del valle, donde se localiza el proyecto Páez - La Plata existen lodos de flujo que se originaron de los volcanes todavía activos de la Cordillera Central. Los volcanes Huila y Puracé están en las cabeceras de los ríos Páez y La Plata. (Figura 3).

La Cordillera Central limita con el valle del río Magdalena al Oeste. Alcanza elevaciones de 3.500 mts a 4.000 mts y tiene picos volcánicos que alcanzan los 5.000 mts. Las principales rocas son sedimentarias del Triásico, del Jurásico y del Cretáceo que están complejamente plegadas y falladas y rocas plutónicas intrusivas del Triásico y del Jurásico. Estas están cu-

biertas por depósitos del Terciario Superior y del Cuaternario. Varios de los volcanes han estado activos desde tiempos históricos (Ramírez, 1.975).

Muchas fallas se han mapeado en el Alto Magdalena (Arango, Caldad y otros, 1.976; Torres y otros, 1.959; Kroonenberg y Diederix, 1.982; Empresa Colombiana de Petróleos, 1.978). El sistema principal de fallas que ha dejado una evidencia de actividad durante la era Cuaternaria son los grupos de fallas del norte y noroeste (Placa 1 y Figura 3).

3.2. FALLAS.

Las fallas de interés del proyecto Páez - La Plata son: El sistema de fallas del frente Oriental y de la Cordillera Oriental, Altamira, Magdalena, Iquira, Guamito, Azufrada, La Plata, Fraile, Macama, Simbola y Romeral. Todas estas fallas poseen evidencias de desplazamientos durante el cuaternario excepto la falla Simbola. La época del movimiento más reciente de la falla Simbola se desconoce. Típicamente las fallas tienen un sentido inverso de desplazamiento. Todas parecen estar reactivadas, zonas viejas de corrimiento y fallamiento y por esto las zonas de falla son amplias, del orden de cientos de metros.

Ninguna falla activa (del cuaternario reciente) se observó atravesando alguno de los sitios de presa propuestos; sin embargo, las fallas del cuaternario reciente se encontraron en un rango de 1 a 2 kilómetros de todos los sitios (excepto, tal vez, el sitio de Piedragrande, si la falla Simbola se muestra como inactiva). Todos los túneles propuestos para las presas atraviesan las fallas del cuaternario reciente (excepto el de la presa Piedragrande).

La perforación del túnel a través de esta amplia zona de falla sin duda presentará dificultades. Las rocas de tales zonas son blandas y fracturadas. Las fallas también pueden ser barreras de aguas subterráneas y podrían ocurrir repentinas infiltraciones de grandes volúmenes de agua donde los túne-

les atraviesan las fallas. Dependiendo de la cantidad de agua en el túnel también pueden sucederse escurrimientos.

Un riesgo relativo es la inclinación tectónica y la deformación del terreno cercano a las fallas. Tal deformación podría alterar la pendiente de los túneles y su inclinación puede continuar a medida que se crean esfuerzos en la región sin necesidad de un terremoto. La probabilidad de un desplazamiento repentino de falla a lo largo de una falla específica, que resulte en un desplazamiento de un túnel, es probablemente baja, de acuerdo con la presente información.

Los riesgos que se corren en las zonas de falla durante el diseño y construcción de los túneles, pueden cuantificarse en futuros estudios geológicos detallados. Los túneles se pueden diseñar y construir acomodando tales riesgos siempre que estos sean localizados y descritos exactamente.

El cuadro 1 presenta una lista de las fallas más significativas para los sitios de presa propuestos y se describen a continuación:

3.2.1. SISTEMA DE FALLAS DEL FRENTE ORIENTAL.

El sistema de fallas del frente Oriental es probablemente el sistema maestro de la Cordillera Oriental. Entre la Macarena y Florencia, se inclina a lo largo de la base de la Cordillera Oriental en forma de fallas escalonadas. Al norte, el sistema de fallas es de un empuje mayor con inclinación al oeste, y entre Villavicencio y Venezuela, probablemente tiene el más alto grado de actividad que cualquier falla en esta parte de Colombia (Woodward - Clyde Consultans, 1.982b, 1.983c). Sin embargo, al sur de Florencia, la falla parece ser menos activa y probablemente acabada; su interpretación geomorfológica de imágenes LANDSAT es muy débil y más hacia el sur del Ecuador, la falla no es una falla prominente del Cuaternario. (J.N. Alt, 1.982, comunicación oral).

3.2.2. FALLA DE ALTAMIRA.

La falla de Altamira es notablemente derecha, aparentemente vertical la cual aparece como un lineamiento dramático en las imágenes LANDSAT. Corta diagonalmente la Cordillera Oriental, limitando generalmente el basamento precámbrico al Este, con las rocas cretácicas y otras rocas sedimentarias al Oeste. En el área de Algeciras, las terrazas del cuaternario y los depósitos aluviales han sido fallados (Torres y otros, 1.959), dejando dramáticos escarpes como evidencia de actividad reciente. Al sur de Algeciras, la falla posee varios ramales. El ramal que pasa cercano a Pitalito tiene una sugestiva evidencia de una geomorfología prominente de actividad del Cuaternario reciente. Otra rama menor pasa al Oeste dentro del valle del Magdalena donde yuxtapone las rocas del Cretáceo y del Terciario.

3.2.3. FALLA DEL MAGDALENA.

La falla del Magdalena tiende hacia el noroeste desde el oriente de San Agustín hasta cerca de Nieva, mas o menos arriba de la parte central del Valle del río Magdalena. Consiste en varios ramales subparalelos diferentes que abarcan una zona de 1 a 4 kilómetros de ancho. Una de estas fallas, la falla de Betania, se expuso por medio de una trinchera cerca al sitio de presa de Betania (Sedic, Ltda. y Harza Engineering Company, 1.976). Aquí la falla tiene un desplazamiento en sentido inverso con buzamiento de 70°W y desplaza un coluvión ("talus") de 30 cms. La falla del vertedero, otro ramal de la falla del Magdalena, a pocos kilómetros al sur de Betania, parece desplazar 10 mts los depósitos de terraza. (Woodward - Clyde Consultans, - 1.982a). Cercana a la desembocadura del río Páez, la falla del Magdalena atraviesa el río Páez y aparentemente desplaza aproximadamente 20 mts el relleno superior de terraza (un flujo de lodo volcánico) hacia el Oeste. El túnel de fuga del proyecto Paicol atravesará la falla en esta área. Cerca a Salado Blanco, 80 Kms al sur de Betania, la zona de falla del Magdalena es más angosta, con un ancho de 0.5 Kms o menos. La falla principal, tal como

se observa a lo largo de una pequeña quebrada, tiene mas de 100 mts de ancho y tiene una expresión geomórfica pronunciada incluyendo depresiones de ladera, alineamientos de ladera y pendientes sobre escalonadas. En esta área, Interdiseños, la compañía Consultora del proyecto del Alto Magdalena, excavó una trinchera a través de la falla. Los suelos sobre la falla indicaron un posible desplazamiento de unos pocos centímetros. (Woodward - Clyde Consultans, 1.982a).

3.2.4. FALLA DE IQUIRA.

La falla de Iquira se dirige hacia el noroeste a lo largo del costado occidental del Valle del río Magdalena. Esta bien identificada al oeste de Neiva y al norte de Tesalia. En cercanías a Iquira y Teruel, forma varios alineamientos muy pronunciados (Figura 4) que están definidos por tramos rectos del río, y desfiladeros profundos. Esta evidencia geomorfológica indica claramente que la falla es activa en esta área. Al sur de Tesalia, se divide en las fallas Guamito, La Plata y Nataga la cual posiblemente es la falla Fraile al sur que se dirige hacia la Cordillera Central. La falla de La Plata es la mas larga y continua. Estas fallas se describen por separado.

3.2.5. FALLA GUAMITO.

La falla Guamito se dirige al norte, extendiéndose cerca de 25 Kms desde el municipio de Paicol hacia el norte de Tesalia, donde se une con la falla de Iquira. Eventualmente podría ser un ramal de dicha falla. Esta es una falla inversa con un buzamiento pronunciado al oeste (cerca de 60°); las rocas volcánicas masivas del Jurásico estan presionando contra las rocas sedimentarias del Cretáceo y del Terciario. (Figura 5). Al oeste de Tesalia y a todo lo largo del frente montañoso, los abanicos aluviales se han desplazado desde 20 m hasta 40 m al oeste. La terraza mas pronunciada a lo largo del río Páez no presenta anomalías atribuibles al fallamiento en dirección

a su proyección. Esta terraza está cubierta por un extenso relleno de lodos volcánicos (Figura 6). La edad de este relleno se calcula en el cuaternario reciente.

3.2.6. FALLA AZUFRADA.

La falla de la Azufrada se dirige al norte por mas de 70 Kms a lo largo del lado oriental de la parte mas baja del valle del río La Plata, al este de la población de La Plata. Se trata de una falla inversa con buzamiento este, dentro de la montaña. En el extremo norte, la falla esta expuesta en una pequeña corteza con buzamiento de 20° al oriente; sin embargo, a juzgar por su expresión geomorfológica dicho buzamiento parece inclinarse más en su extremo sur. Adicionalmente dicho extremo se divide en dos ramales. El ramal occidental esta a lo largo del quiebre de la pendiente entre las cabezas de los abanicos aluviales en la base de la montaña; observando fotografías aéreas e imágenes LANDSAT, parece desplazar antiguos abanicos aluviales en cercanías a la quebrada El Avispero. Dicho ramal pierde su expresión geomorfológica y parece desaparecer cerca a la confluencia de la quebrada Moscopán con el río La Plata, pocos kilómetros al norte del sitio de presa de Guinea. El ramal oriental se dirige a través del frente montañoso aproximadamente a mitad de montaña pasando cerca de 1 Km. al oriente del sitio de Guinea.

3.2.7. FALLA LA PLATA.

La falla de La Plata es una falla inversa con buzamiento al oeste con dirección al noroeste, pasando a 2 Kms al oeste de la población de La Plata. Tiene más de 70 Kms de longitud. Al norte, cerca a Nataga, probablemente cerca a la falla de Iquira y al sur se dirige más allá y al oeste de la Argentina. La falla tiene una topografía pronunciada entre el río Moscopán y Nataga, donde esta señalada por cambios abruptos de pendiente a lo largo de la base del frente montañoso. Los antiguos aluviales de la quebrada Calam-

bre, a 10 Kms al suroeste de La Plata, presentan una anomalía probablemente debido a un desplazamiento de falla de cerca de 10 mts al oeste. Sin embargo, los abanicos de las quebradas adyacentes no presentan aparentes desplazamientos. En cercanías al Hato, al noroeste de La Plata y norte del río Páez, remanentes de antiguos abanicos aluviales parecen estar fallados con desplazamientos al oeste. Los abanicos más jóvenes no presentan anomalías. Al sur de la quebrada Moscopán, los depósitos de lodo volcánico se tuercen sobre la proyección sur de la falla (Woodward - Clyde Consultans, 1.982a). Este depósito se estima que sea del cuaternario medio, basándose en lo extenso de la erosión: se encuentra fuertemente disectado por grandes áreas de la superficie topográfica original.

3.2.8. FALLA FRAILE.

La falla fraile (posiblemente la falla de Nataga para Woodward - Clyde Consultans, 1.982a), se dirige al norte y probablemente se une con la falla de Iquirá al norte de Nataga. Sin embargo, la falla Fraile parece ser casi vertical, con base en su topografía, mientras que la falla de Iquirá es una falla inversa con buzamiento al oeste. En la confluencia de la quebrada el Fraile con el río Páez, una terraza de lodo volcánico ha sido fallada verticalmente unos 10 mts a 20 mts con un escarpe pronunciado. (Figura 7). Esta terraza pertenece al cuaternario reciente. Entre 20 y 30 Kms al sureste de la quebrada Fraile, alineamientos moderadamente pronunciados de abanicos de lodo volcánico del cuaternario medio están golpeando con la falla - Fraile y tienen su misma dirección.

3.2.9. FALLA MACAMA.

La falla de Macama pasa a 1 Km al oeste de Ricaurte y cerca de 2 Kms al este del sitio de presa de Macama, con tendencia norte - noroeste. Por su topografía, parece ser una falla vertical de más de 20 Km de longitud. Sin embargo, puede ser más larga ya que parece que continúa hacia el norte

con un alineamiento regularmente pronunciado visto sobre la imagen LANDSAT y la falla Saldaña; en forma similar al sur, este podría continuar con la - falla Simbola. En la confluencia de la quebrada Macama con el río Páez, la falla desplaza una terraza de lodos volcánicos, en tres lugares (Figura 8). Las tres fallas estan parcialmente expuestas en los cortes de los acantilados. El desplazamiento acumulado es hacia el oriente unas pocas decenas de metros. Dos de las fallas tienen estructuras tipo "Y", o colapso "Keystones", indicando esfuerzos de tensión durante su formación. Estos rasgos podrían resultar del deslizamiento o del fallamiento normal a lo largo de la falla de Macama.

3.2.10. FALLA SIMBOLA.

La falla Simbola, con más de 30 Kms y tendencia norte, se localiza al este del volcán del Huila y se extiende a lo largo del río Simbola hacia el sur, cerca a Belalcázar y a lo largo de un tramo del río Páez, donde puede converger con la falla Macama. La falla pasa a pocos kilómetros de los sitios de presa de Macama y Piedragrande. Sobre la imagen LANDSAT (Figura 3), se observa con un alineamiento pronunciado. Su geomorfología indica que tiene un buzamiento casi vertical. Durante el reconocimiento a lo largo del río Páez, no se observó ninguna evidencia de actividad en el cuaternario más reciente y la edad de su último desplazamiento no es conocida.

3.2.11. FALLA ROMERAL.

La falla Romeral es la más grande de la zona, con 1.000 Kms de longitud y se dirige a lo largo de la margen occidental de la Cordillera Central. Estudios cercanos a Medellín indican que esta es una falla inversa y vertical con una componente paralela. Allí desplaza los depósitos cuaternarios y está asociada con una actividad microsísmica (Woodward - Clyde Consultans, - 1.979 y 1.980a). Al oriente de Cali, la falla también parece ser inversa - en abanicos del cuaternario con desplazamiento al este (Woodward - Clyde -

Consultans, en proceso).

4.0

LOS MAYORES TEMBLORES EN LA HISTORIA.

Los resúmenes sobre terremotos históricos que han ocurrido en la región del proyecto han sido recopilados por Ramírez (1.975 - 1.978). Estos estudios señalan que la región ha sido sometida a un gran número de ellos, reflejando tanto una profunda subducción bajo la región como un fallamiento en la corteza superior. Aún cuando los temblores de magnitud 6 o menores pueden producir movimientos terrestres potencialmente dañinos para la infraestructura de los proyectos, solamente se discuten aquí los cuatro terremotos que ocurrieron en el área del Alto Magdalena y que tuvieron una magnitud mayor a 6. Los eventos anteriores demuestran que los temblores muy largos son posibles en la región del proyecto.

El terremoto del 16 de Noviembre de 1.827 tuvo una magnitud aproximada de 8 basados en reportes de intensidad (A. Sarria, 1.982, comunicación verbal) o una magnitud de 6.5 a 6.9 en la escala Richter., según Ramírez (1.975). Se localizó a 40 Kms al sureste de Pitalito a 15 Kms al sur de San Agustín. Un movimiento sísmico secundario se registró el día siguiente (Noviembre 17) y tuvo una magnitud estimada de 6. Los efectos de estos dos temblores fueron devastadores en la región. El movimiento del primero duró por lo menos tres minutos y según algunos entre 6 y 8 minutos. (Esta es una duración muy larga y es anormalmente larga si se compara con un record histórico mundial). Registró doscientos muertos en Neiva y grandes daños en Bogotá, Popayán y Pasto. La población de Timaná se destruyó completamente. Ocurrieron miles de deslizamientos de laderas; uno de ellos bloqueó el río Suaza por 55 días.

El temblor del 20 de enero de 1.834, se localizó en cercanías de Santiago, Putumayo y al oeste de Pasto y se le asignó una magnitud de 7 según Ramírez (1.975). Sin embargo, según Alberto Sarria (1.982, comunicación verbal) -

realmente pudo haber ocurrido en la parte sur de la región Páez - La Plata y pudo haber sido de una magnitud mayor. El temblor destruyó a Santiago, - Putumayo y a Pasto así como también otros pueblos de la región (Ramírez - 1.975).

Un temblor en Abril o Mayo de 1.895 tuvo una magnitud aproximada de 6. Causó daños en todo el Huila, con mayor intensidad a Suaza.

El temblor más reciente en la región ocurrió al este de Neiva el 9 de febrero de 1.967. Este acontecimiento duró 1 minuto, tuvo una magnitud de 6.7 - en la escala Richter y una profundidad de 50 Kms (Ramírez, 1.975). El daño fué cuantioso. Pennington (1.981) señala el mecanismo focal de este temblor como lateral derecho, si la falla tiene un golpe al noroeste, el cual es basado probablemente en la geología regional.

5. CONCLUSIONES.

El siguiente es el resumen de lo obtenido en el análisis de prefactibilidad para el proyecto Páez - La Plata.

5.1. El proyecto está localizado en una región en donde el proceso tectónico dominante es la subducción. La zona de subducción, la cual es una fuente de terremotos, está aproximadamente a 100 o 200 Kms bajo la zona del proyecto.

5.2. Los registros históricos de temblores indican que la cuenca del Alto Magdalena ha tenido varios terremotos dañinos con magnitudes Richter entre 6 y 8.

5.3. Todas las fallas menores de la región del proyecto tienen evidencias geomorfológicas, incluyendo abanicos aluviales y depósitos, de una actividad en el cuaternario reciente, con excepción de la falla Simbola. La edad de desplazamiento más reciente de la falla Simbola se desconoce.

5.4. Ninguno de los sitios de presa propuestos; Paicol, Guinea, Macama o Piedragrande, parecen estar atravesados por fallas del cuaternario; todas (excepto Piedragrande, siempre y cuando la falla Simbola no sea activa), están dentro de 1 o 2 Kms de las fallas del cuaternario.

5.5. Todos los túneles propuestos, excepto posiblemente el de la presa de Piedragrande atravesarán las fallas del cuaternario.

El túnel Paicol - Magdalena atravesará las fallas Guamito y Magdalena; el túnel Guinea - La Plata probablemente atravesará el ramal occidental de la falla de La Azufrada; el túnel Macama - Chapetón atravesará las fallas de Macama y Fraile.

Las zonas de falla abarcan decenas a cientos de metros de ancho y la perforación de los túneles a través de estas sin duda presentará dificultades.

6. Aunque no es parte de la investigación de los riesgos sísmicos, se puede notar que el proyecto está en una región volcánica activa. Los dos volca-

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

nes más grandes están en las cabeceras de las cuencas. El volcán del Huila está en las cabeceras del río Páez y el volcán Puracé está en las del río - La Plata. Si cualquiera de estos volcanes presentara una gran erupción, se podría añadir grandes cantidades de sedimentos a los ríos. También, los flujos de escombros volcánicos podrían posiblemente transportarse valle abajo en grandes distancias.

Un pequeño volcán parece insinuarse al oeste de la presa de Guinea. Si erupciona durante la vida de la estructura, un flujo de lava, de escombros o de ceniza de este volcán podría afectar las zonas de toma de esta presa.

6. RECOMENDACIONES.

Con base en esta evaluación preliminar de riesgo sísmico se recomienda el siguiente programa Fase I para futuros estudios del proyecto. Esta fase se aconseja para la etapa de factibilidad. El alcance de los trabajos en las fases siguientes, para determinar cuantitativamente el riesgo sísmico y sostener un diseño detallado, dependería de los resultados de los estudios de la Fase I.

6.1. FASE I.

6.1.1. Sismicidad y Geología Sísmica.

Durante la etapa de factibilidad del proyecto, se recomiendan varios trabajos para lograr mejores parámetros de diseño. Estos trabajos están encaminados a obtener información de geología sísmica para:

- 6.1.1.a. Localizar con mayor precisión las fallas significantes del proyecto.
- 6.1.1.b. Determinar los intervalos de frecuencia de temblores en estas fallas.
- 6.1.1.c. Determinar el tamaño y frecuencia de temblores en la zona de subducción.
- 6.1.1.d. Determinar el potencial de desplazamiento de la falla a lo largo de los alineamientos de los túneles propuestos y en los sitios de presa (si se encuentran fallas de algunos de los sitios).
- 6.1.1.e. Evaluar el sismo de mayor intensidad.
- 6.1.1.f. Determinar el potencial para deformación e inclinación en y cerca a las fallas a lo largo de los túneles.

La mayor parte del trabajo propuesto, en particular los estudios regionales, será utilizable en los proyectos del Alto Magdalena y, si se realiza para el proyecto Páez - La Plata no tendrá que ser repetido para ningún otro proyecto.

6.1.2. Parte A : Estudios Regionales.

6.1.2.a. Sismicidad Histórica.

Estudio de grandes terremotos en la región para determinar su relación con las fallas conocidas y, si es posible, calcular sus mecanismos focales. La región investigada se deberá extender desde el oeste de la Cordillera Occidental hasta los Llanos en el oriente y desde Ecuador en el sur hasta Iba - gué en el norte. Especial atención se debe prestar a los temblores del 9 - de febrero de 1.967 y del 16 de noviembre de 1.826.

6.1.2.b. Localización de Fallas Regionales.

Luego de un repaso de la literatura existente, se debe llevar a cabo un reconocimiento en helicóptero y avioneta y un estudio en el terreno para localizar con mayor precisión las mayores fallas regionales.

6.1.2.c. Determinación de la actividad de las fallas.

Varias áreas pequeñas en donde se presentan los depósitos deben ser mapeadas en detalle.

El estudio deberá incluir una interpretación de fotografías aéreas, trincheras e identificaciones de la edad de los depósitos cuaternarios.

6.1.2.d. Fechado de Depósitos Cuaternarios.

Varias áreas donde los depósitos cuaternarios son extensos y sobre expuestos deberán investigarse hasta establecer la secuencia de los depósitos, su edad, y los acontecimientos geomórficos regionales. Dicha información es necesaria para proveer un marco en el tiempo y así determinar el grado de actividad de la falla.

Técnicas tales como el fechado relativo, el paleomagnetismo, la huella de -

la fisión, el fechado de argón potásico o aún la más precisa del Carbono 14 deberán ser empleadas, si se encuentran muestras adecuadas.

6.1.2.e. Microsismicidad.

Para obtener mayor información sobre la secuencia de los terremotos, el tiempo de falla reciente, la profundidad de la zona de subducción y la actividad posible de fallas de superficies específicas, deberá llevarse a cabo un levantamiento de microtemblores detallado en el área del Alto Magdalena.

6.1.3. Parte B : Estudios Específicos al Proyecto.

6.1.3.a. Fallas a lo largo de los túneles.

Un mapeo detallado, incluyendo trincheras y perforaciones sobre las fallas mayores que atraviesan los alineamientos propuestos para los túneles, se deberán efectuar para definir el ancho de las zonas de falla, el buzamiento de las mismas y el tipo de material. Como parte del estudio, se debe hacer un levantamiento con nivel de precisión de las terrazas predominantes que atraviezan las fallas para determinar el grado de inclinación y fallamiento futuro de estas terrazas. Se requeriría de un fechado para determinar la rata de desplazamiento e inclinación de la falla.

6.1.3.b. Fallas en los sitios de presa.

Se deberá efectuar un mapeo geológico detallado para confirmar que ninguna falla activa pase a través de alguna de las presas. Este mapeo se puede hacer como parte del programa de mapeo geológico general del sitio.

6.1.3.c. Temblores significantes y determinación de deformaciones tectónicas.

La información geológica y sísmica obtenida de los estudios regionales se -

debe combinar con conocimiento de la tectónica regional y con la información sobre actividad de fallas en el mundo para determinar el grado de actividad de cada una de las fallas significativas a los sitios.

Se debe estimar la máxima magnitud de temblor y su frecuencia deberá calcularse teniendo en consideración el potencial de sismicidad inducida en el embalse. Se debe examinar la cantidad potencial de desplazamiento y deformación cerca a las fallas con respecto a los alineamientos de los túneles.

ACTIVIDAD VOLCANICA.

Para determinar el significado del riesgo sísmico del proyecto, se debe evaluar la frecuencia de las erupciones pasadas y la extensión y magnitud de sus efectos. Un detallado programa de trabajo podría ser diseñado después de un reconocimiento inicial y así determinar como abarcar el problema efectivamente.

1. Descripción de la planta de estudio.
2. Características de la planta de estudio.

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | 20 | 30 | 40 |
| 50 | 60 | 70 | 80 |
| 90 | 100 | 110 | 120 |

CUADROS

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 | 95 | 105 |
| 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 |

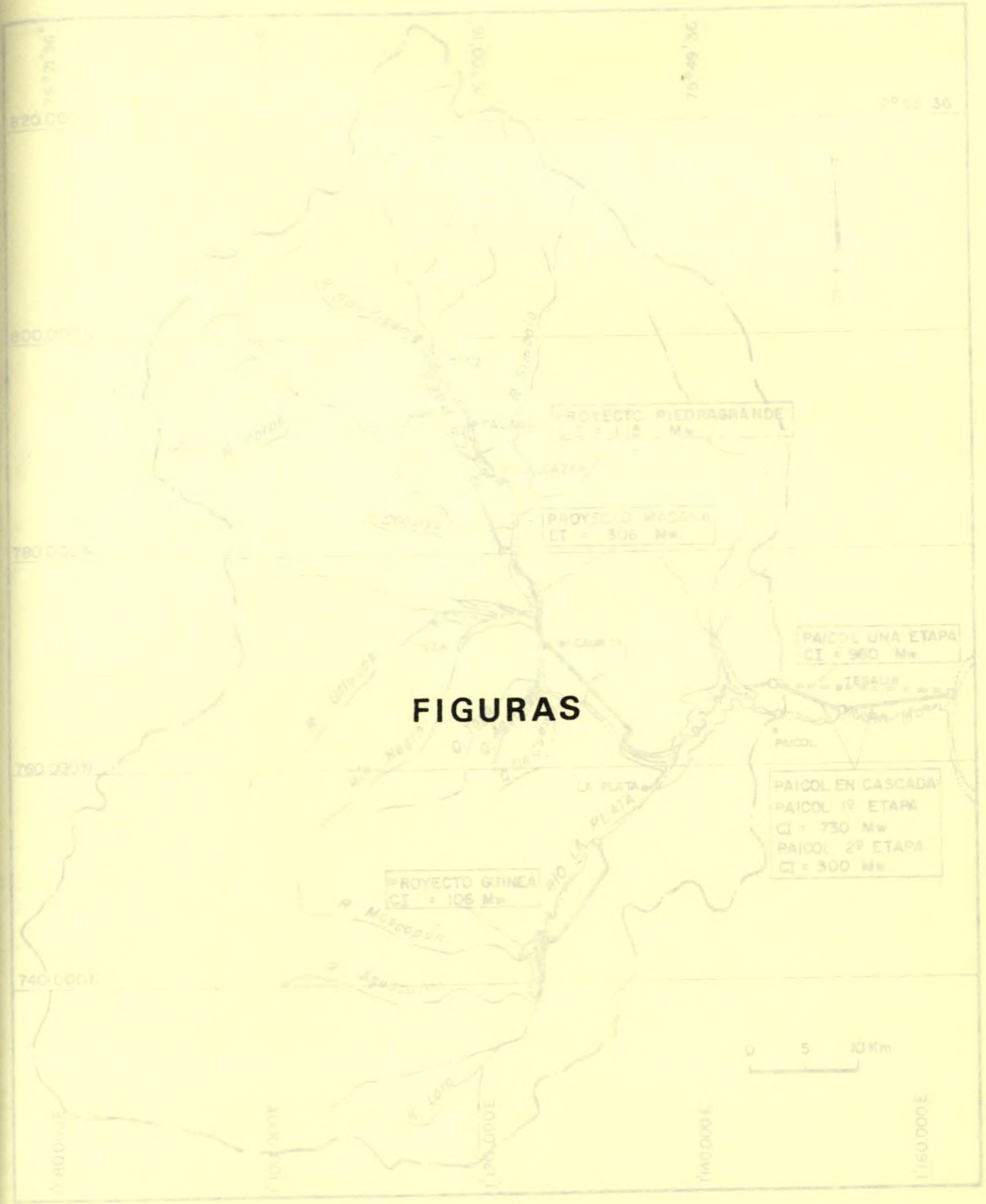
Los datos obtenidos en los experimentos realizados en el laboratorio de fisiología vegetal del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.

CUADRO N° 1

FALLAS IMPORTANTES EN LOS SITIOS DE PRESA PROPUESTOS
DEL PROYECTO PAEZ - LA PLATA

| <u>Fallas Regionales.</u> | Distancia aproximada (Km) a los sitios propuestos | | | |
|---------------------------|---|---------|---------|-----------|
| | PAICOL | GUINEA | MACAMA | P. GRANDE |
| Zona de Subducción | 100-200 | 100-200 | 100-200 | 100-200 |
| Falla del frente Oriental | 70 | 75 | 95 | 110 |
| Altamira | 35 | 35 | 55 | 70 |
| Magdalena | 15* | 15 | 35 | 45 |
| Iquirá - La Plata | 8 | 2 | 10 | 25 |
| Romeral | 65 | 55 | 45 | 35 |
| <u>Fallas Locales.</u> | | | | |
| Guamito | 2* | - | - | - |
| Azufrada | - | 1 - 2* | - | - |
| Fraile | - | - | 8* | - |
| Macama | - | - | 2* | - |
| Simbola (?) | - | - | 2 - 4* | 2 - 4* |

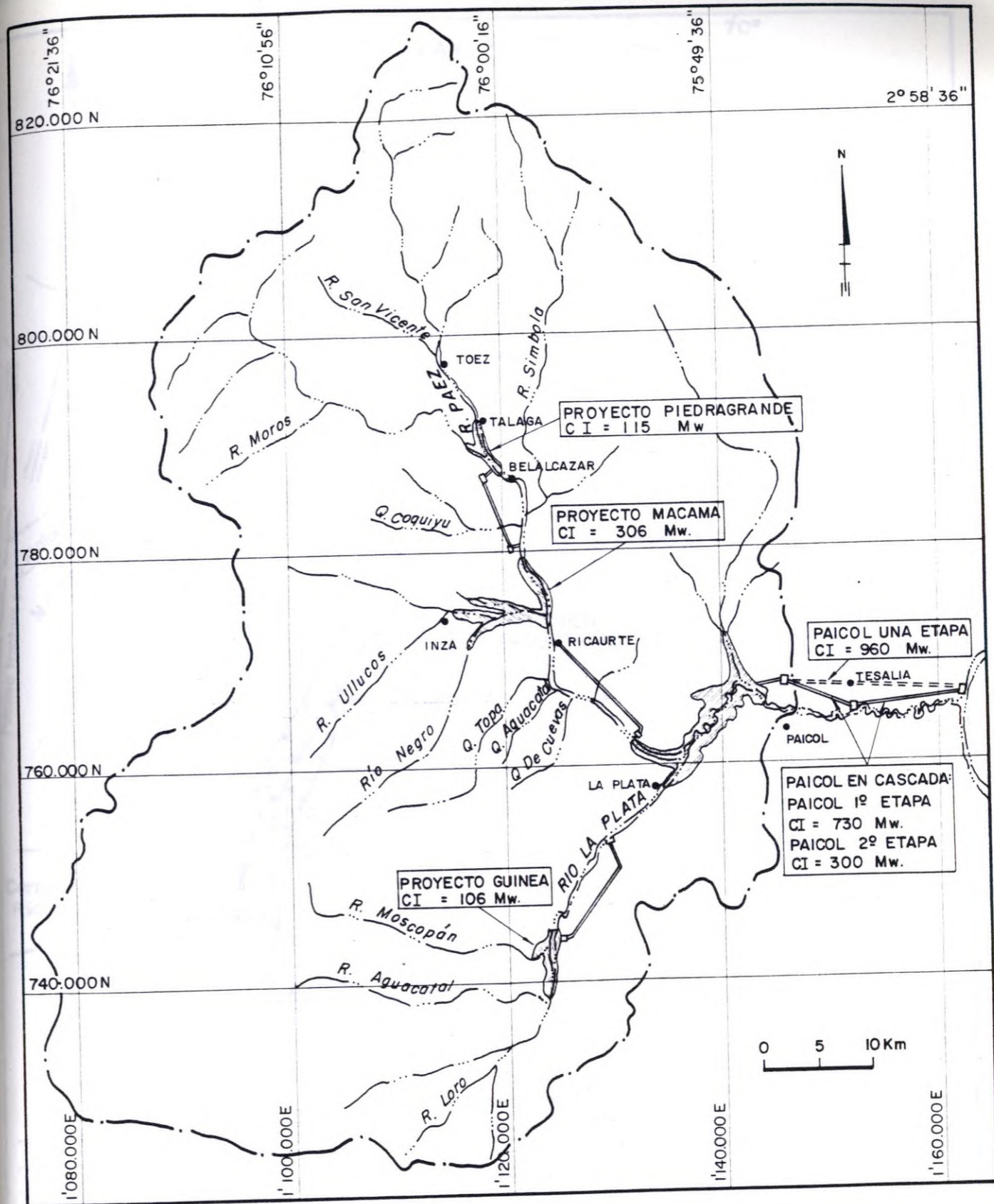
- * La falla será atravesada por el túnel de fuga.
- * Distancias a la presa más cercana.



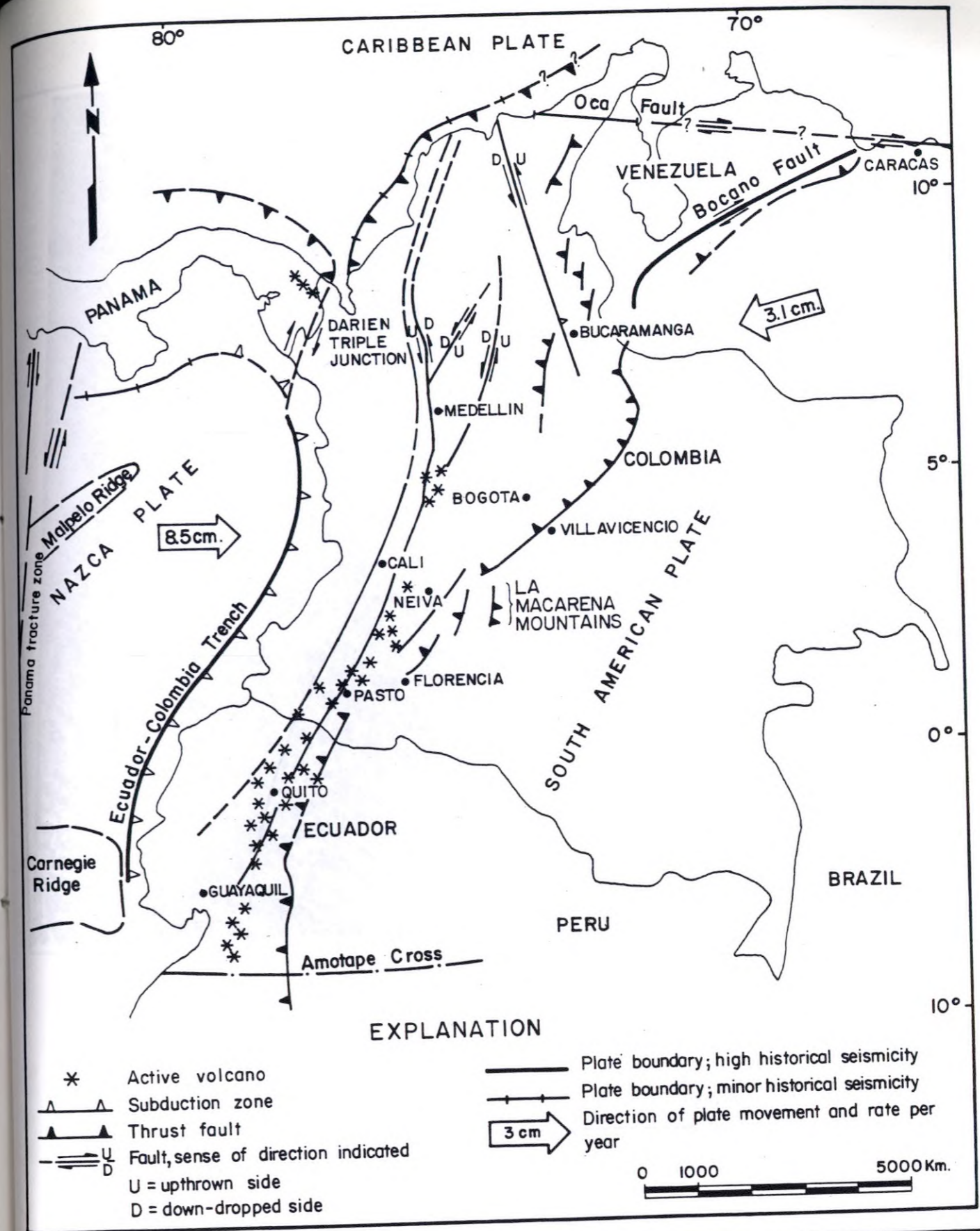
FIGURAS

| | | | |
|---|--|------------------------------|----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA | | MAP OF PAEZ-LA PLATA PROJECT | |
| ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S.A. | | | |
| CONSULTORIA COLOMBIANA Y CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS | | | |
| Woodward-Clyde Consultants | | PROYECTO PAEZ-LA PLATA | Figure 1 |

FIGURAS



| | | | |
|---|--|------------------------------|--|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S.A. CONSULTORIA COLOMBIANA Y CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Woodward-Clyde Consultants | | MAP OF PAEZ-LA PLATA PROJECT | |
| PROYECTO PAEZ - LA PLATA | | Figure 1 | |



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 ELECTRIFICADORA DEL HUILA. S. A.
 CONSULTORIA COLOMBIANA AND
 CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 Woodward-Clyde Consultants

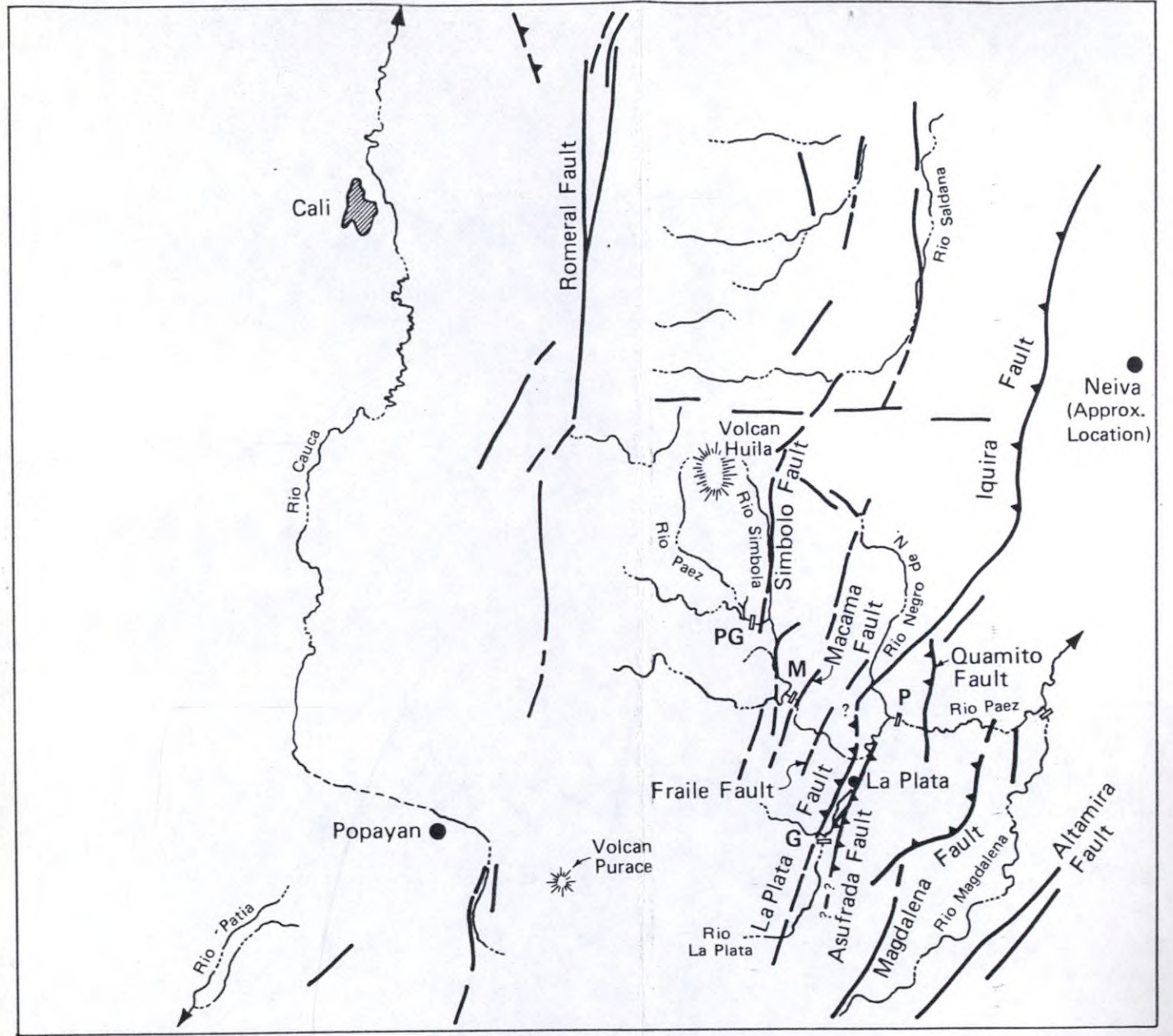
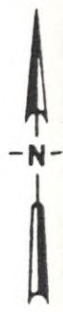
TECTONIC MODEL OF
 NORTHWESTERN SOUTH AMERICA

Paez La Plata Project

Figure 2



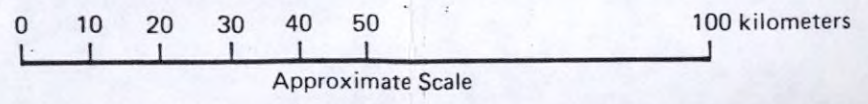
This LANDSAT image shows the major faults in the region.
The image is 12 August 1977, LANDSAT E-2, 933-14143-7.



Interpretation of faults from LANDSAT image. The Paez-La Plata dam sites are indicated.

EXPLANATION

- Fault or prominent lineament
 - ▲▲▲ Reverse fault, barbs on upper plate
 - Major river
 - Paez-La Plata dam sites
- PG - Piedragrande, M - Macama, P - Paicol, G - Guinea



| | | | |
|---|--|--|----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A. | | LANDSAT IMAGE OF THE PAEZ-LA PLATA REGION | |
| CONSULTORIA COLOMBIANA AND CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Woodward-Clyde Consultants | | Paez - La Plata Project | Figure 3 |



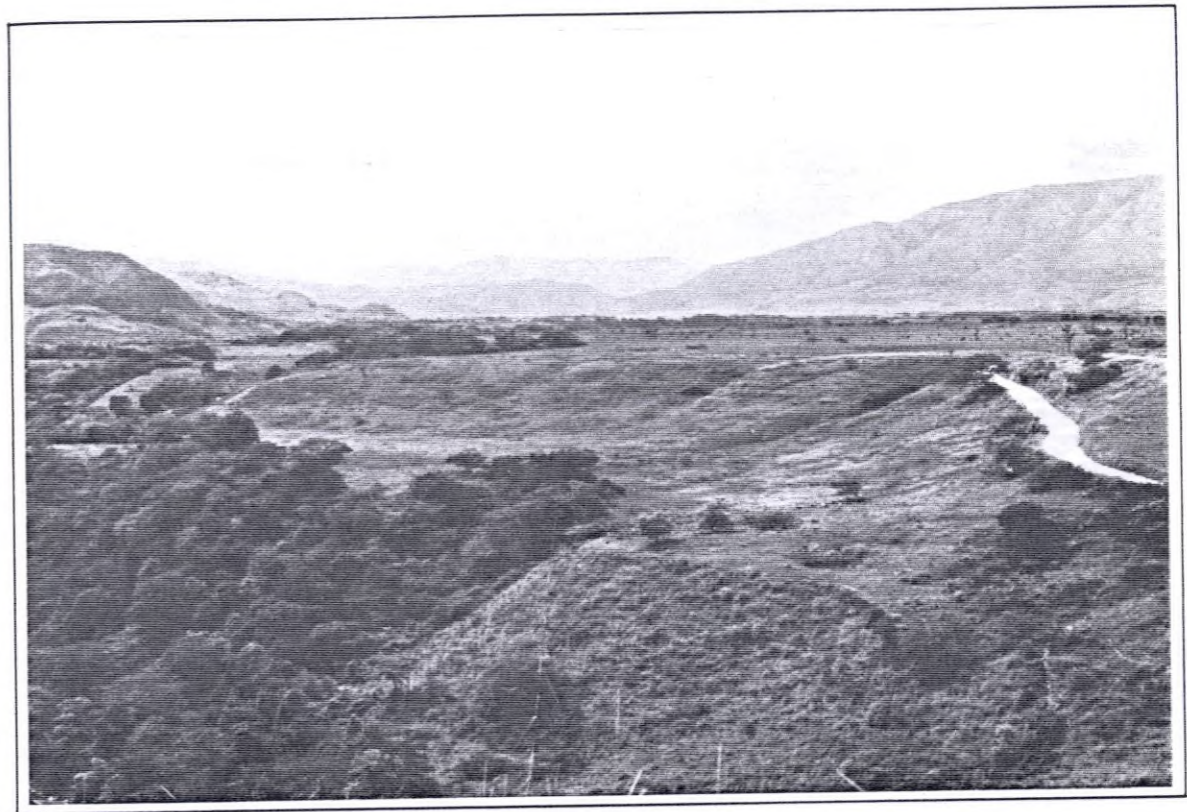
The Iquira fault, a reverse fault, has several branches (↘), which are expressed as strong lineaments (↗). View is north, toward Iquira (center of photograph).

| | | |
|---|----------------------------|----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA | PHOTOGRAPH OF IQUIRA FAULT | |
| ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A. | | |
| CONSULTORIA COLOMBIANA AND CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS | Paez — La Plata Project | Figure 4 |
| Woodward-Clyde Consultants | | |



Quamito fault (↗) across the Rio Paez near Paicol. The Paicol dam site is 1 km west of photographed area. The fill terrace in the foreground is a lahar (volcanic alluvium). It does not appear to be displaced where the fault projects across the terrace. View is north, across the Rio Paez.

| | | |
|---|-----------------------------|----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA | PHOTOGRAPH OF QUAMITO FAULT | |
| ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A. | | |
| CONSULTORIA COLOMBIANA AND CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS | Paez — La Plata Project | Figure 5 |
| Woodward-Clyde Consultants | | |



This is the major fill terrace (lahar) along the Rio Paez. The good preservation of the terrace surface and its extent make it a good marker for recording late Quaternary deformation. View is west, from the Magdalena fault toward Tesalia (in front of the mountains in the right distance).

| | | |
|---|----------------------------------|----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A. | PHOTOGRAPH OF LAHAR FILL TERRACE | |
| CONSULTORIA COLOMBIANA AND CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS Woodward-Clyde Consultants | Paez – La Plata Project | Figure 6 |



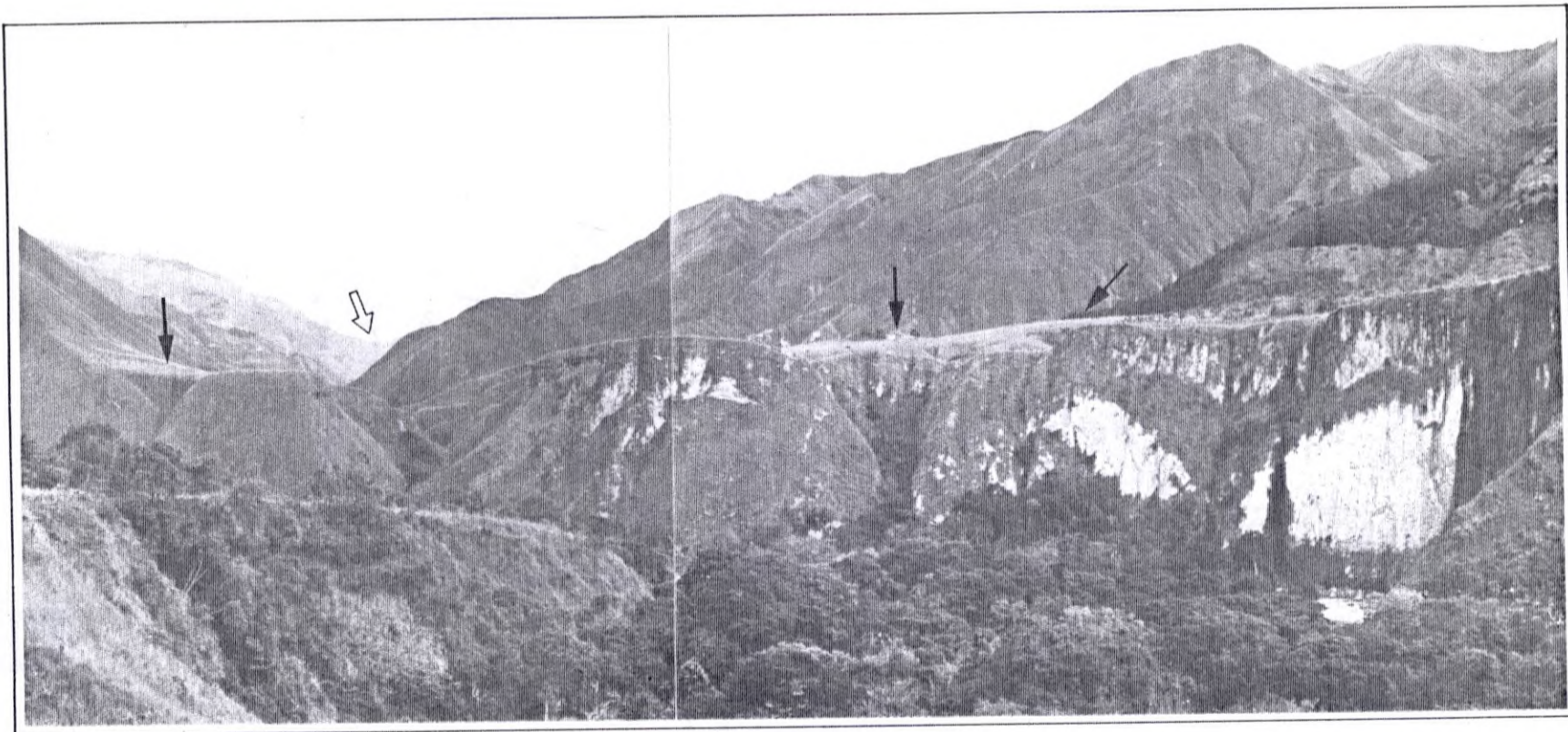
This is the Fraile fault (↙) at the junction of the Rio Paez and the Quebrada Fraile. The lahar fill terrace in the foreground has a fault scarp that is displaced 10 to 20 m, up on the east. View is north, up the canyon of the Quebrada Fraile.

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A.
 CONSULTORIA COLOMBIANA AND
 CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 Woodward-Clyde Consultants

PHOTOGRAPH OF FRAILE FAULT

Paez — La Plata Project

Figure 7



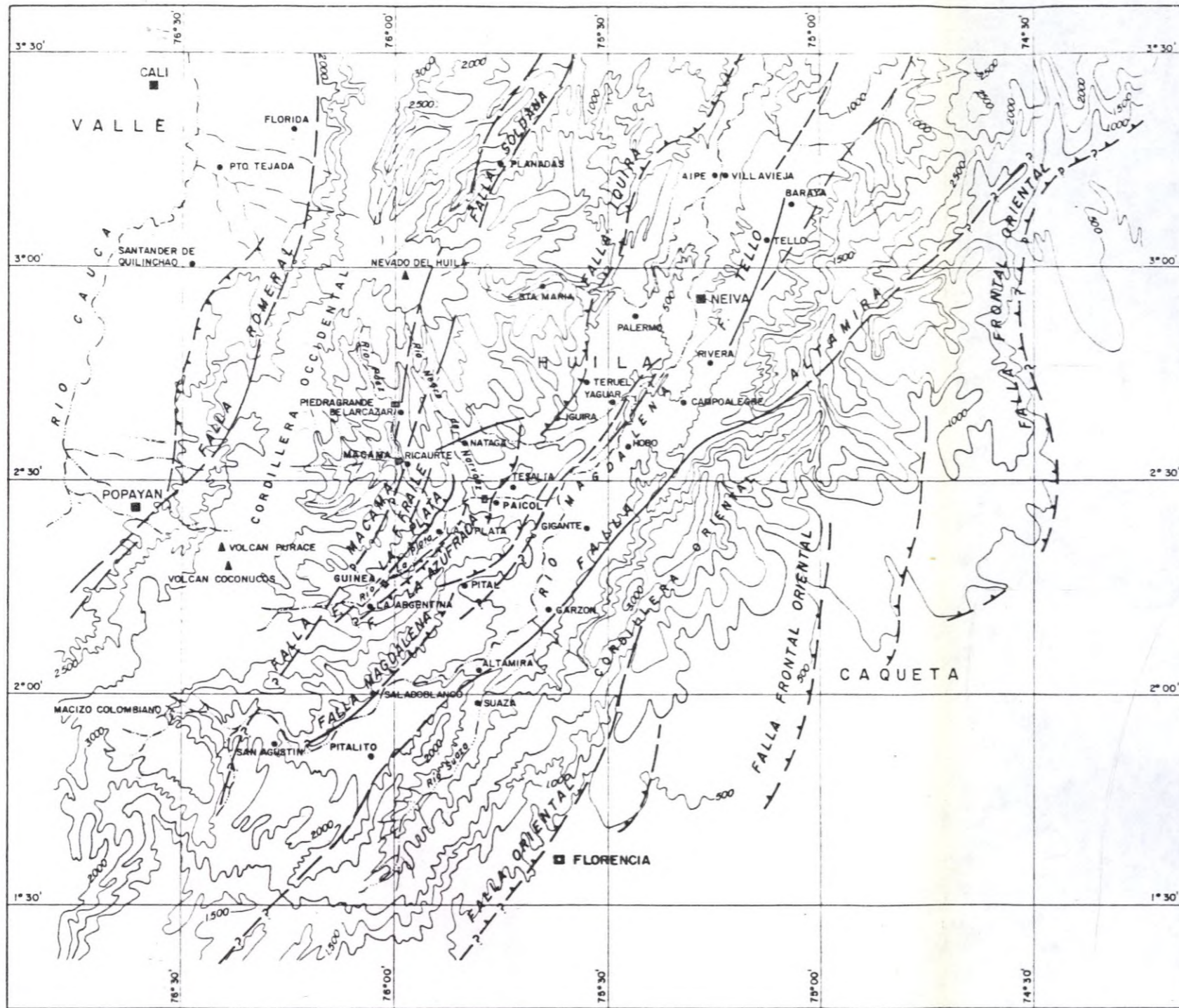
This is the Macama fault (Y) at the junction of the Rio Paez (along foreground) with the Quebrada Macama (in left center). The lahar fill terrace is faulted in several places (↘); note the two Y-shaped collapse structures at the fault. View is north, up the Quebrada Macama; Recuarte is on the terrace, to the right of the photograph.

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 ELECTRIFICADORA DEL HUILA, S. A.
 CONSULTORIA COLOMBIANA AND
 CONSULTORES CIVILES E HIDRAULICOS
 Woodward-Clyde Consultants

PHOTOGRAPH OF MACAMA FAULT

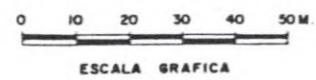
Paez - La Plata Project

Figure 8



CONVENCIONES

- Falla normal
- Falla inferida
- Falla inversa
- Ríos y quebradas
- Curvas de nivel
- Capitales
- Volcanes activos
- Poblaciones
- Sitios de presa



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A.

PROYECTO PAEZ-LA PLATA

PRINCIPALES FALLAS DE LA ZONA DEL PROYECTO

| Diseño | Cálculo | Presente |
|---|---------|--|
| Diseño: B.R.C. | Revisó: | Aprobó: |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> EMPRESA DE ENERGÍA DEL HUILA S.A. PLANO No. DE </div> | | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A. </div> |

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01000377

BIBLIOTECA

Estudio de prefactibilidad técnica
de los aprovechamientos
hidroeléctricos Rios Paez y la
Plata : contrato No. 4257 / Instituto
Colombiano de Energía Eléctrica
333.91409861 I59e V.4 Ej.1

FECHA