

77-75



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.V.C.

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO
DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL
RIO OVEJAS.

ENERO 1.977

GEMCO Ltda.
CONSULTORES DE GEOLOGIA Y MINERIA

BOGOTA D. E., COLOMBIA

Copia No Controlada CVC

GEMCO Ltda.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

C. V. C.

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO
DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL
RIO OVEJAS.

BOGOTA, ENERO 1.977

G E M C O L T D A.

Consultores de Geología y Minería

Copia No Controlada CVC

C O N T E N I D O

Página

RESUMEN

| | | |
|---------|--|----|
| I. | INTRODUCCION 1 | 1 |
| I.1 | Propósito del estudio. | 1 |
| I.2 | Método de trabajo. | 1 |
| I.3 | Estudios previos. | 4 |
| II. | GEOGRAFIA. | 6 |
| II.1 | Localización y accesibilidad | 6 |
| II.2 | Clima y vegetación. | 7 |
| III. | GEMORFOLOGIA | 8 |
| III.1 | Intemperismo | 8 |
| III.2 | Erosión , | 9 |
| III.3 | Deposición.. | 10 |
| III.4 | Provincia Geomorfológica de la formación Po- payán. | 10 |
| III.4.1 | Miembro superior | 10 |
| III.4.2 | Miembro inferior , | 11 |

| | <u>Página</u> |
|------------|--|
| III.5 | Provincia Geomorfológica de las rocas metamórficas. 11 |
| III.6 | Provincia Geomorfológica del grupo del Cauca. 12 |
| III.7 | Provincia Geomorfológica de las Rocas volcánicas 12 |
| III.8 | Provincia Geomorfológica de las Rocas Ignemas Hipoabisales. 13 |
| IV.- | GEOLOGIA. 14 |
| IV.1 | Estratigrafía 15 |
| IV.1.1 | Rocas precretáceas 15 |
| IV.1.1.1 | Grupo de Cajamarca (pKcJ) 15 |
| IV.1.2 | Rocas cretáceas 18 |
| IV.1.2.1 | Grupo dolerítico (Kd). 18 |
| IV.1.2.2 | Otras rocas 18 |
| IV.1.3 | Rocas terciarias 19 |
| IV.1.3.1 | Grupo del Cauca (Tc). 19 |
| IV.1.3.2 | Grupo Rocas volcánicas (TvTap). 21 |
| IV.1.3.2.1 | Andesita hornbléndica finamente porfirítica. (Tv). 22 |

| | <u>Página</u> |
|------------|---|
| IV.1.3.2.2 | Andesita porfirítica (Tap). 23 |
| IV.1.3.3 | Rocas ígneas hipocámbias. 24 |
| IV.1.3.3.1 | Pórfido tonalítico anfibólico - (Tto.). 24 |
| IV.1.4 | Rocas Terciario Cuaternario. 26 |
| IV.1.4.1 | Formación Popayán (TQpop). 26 |
| IV.1.5 | Sedimentos cuaternarios 28 |
| IV.1.5.1 | Terrazas (Qt). 28 |
| IV.1.5.2 | Coluvios (Qc). 29 |
| IV.2 | Tectónica 29 |
| IV.2.1 | Fallas 30 |
| IV.2.1.1 | Falla de Jambaló 30 |
| IV.2.1.2 | Falla de Granadillo 31 |
| IV.2.1.3 | Falla de Plan de Zúñiga 31 |
| IV.2.1.4 | Falla de Guatía 32 |
| IV.2.1.5 | Falla de Quichayá 32 |
| IV.2.1.6 | Falla de Piendamó 32 |
| IV.2.1.7 | Falla del río Cauca 32 |
| IV.2.2 | Pliegues. 33 |
| IV.2.2.1 | Sinclinal del Turco ,. 33 |

| | | <u>Página</u> |
|-------|--|---------------|
| V.- | GEOLOGÍA DE INGENIERIA | 35 |
| V.1 | Parte superior de la formación popayán. . | 36 |
| V.1.1 | Características geotécnicas de los ma- teriales. | 36 |
| V.1.2 | Condiciones del agua subteránea . . . | 40 |
| V.1.3 | Degradación de taludes. | 40 |
| V.2 | Parte media y baja de la formación Popayán. | 41 |
| V.2.1 | Características geotécnicas de los ma- teriales | 41 |
| V.2.2 | Condiciones del agua subteránea. . . . | 42 |
| V.2.3 | Degradación de taludes | 43 |
| V.3 | Rocas volcánicas igneas. | 45 |
| V.3.1 | Características geotécnicas de los mate- riales. | 45 |
| V.3.2 | Condiciones del agua subteránea. . . . | 46 |
| V.3.3 | Degradación de taludes. | 47 |
| V.4 | Rocas metamórficas | 47 |
| V.4.1 | Características geotécnicas | 47 |
| V.4.2 | Condiciones del agua subterránea . . . | 48 |
| V.4.3 | Degradación de taludes. | 48 |
| V.5 | Casos particulares de inestabilidad. . . | 49 |
| V.6 | Clasificación geotécnica del área. . . . | 52 |

| | | <u>Página</u> |
|--------|--|---------------|
| V.7 | Conclusiones | 53 |
| V.8 | Recomendaciones | 55 |
| V.8.1 | Mapeo de deslizamientos y áreas potenciales de deslizamiento | 55 |
| V.8.2 | Control y corrección de deslizamiento | 63 |
| VI.- | GEOLOGIA APLICADA | 71 |
| VI.1 | Arcillas caoliníticas. | 71 |
| VI.1.1 | Usos | 72 |
| VI.2 | Otros depósitos de arcillas. | 72 |
| VI.3 | Arcillas bauxíticas. | 72 |
| VI.3.1 | Usos | 74 |
| VI.4 | Dro. | 74 |
| VI.5 | Materiales de construcción. | 74 |
| VII.- | GEOLOGIA HISTORICA. | 76 |
| VIII.- | CONCLUSIONES | 78 |
| VIII.- | RECOMENDACIONES | 80 |
| | GLOSARIO . . | |
| | BIBLIOGRAFIA. | |

I L U S T R A C I O N E S

Informe petrográfico: Muestras: ICH-2034, 2034 A, 2035
(En bolsillo) 2036 y 2037

Planchas

Pl. No. 1-2-3-4- Mapa Geológico Escala 1:25.00
(Anexos)

Pl. No. 1-2-3-4 Mapa geomorfológico-Geotécnico
(Anexos) escala 1:25.000

Pl. No. 1-2-3-4 Mapa de Mineralizaciones Escala -
(Anexos) 1:25.000

Pl. No. 1-2-3-4 Mapa tectónico escala 1:25.000
(anexos)

Plancha No. V Columna estratigráfica de la base del
(En bolsillo) grupo del Cauca (carretera Tres esquinas
Guaitaná).

Plancha No. VI. Columna estratigráfica de la formación
(En bolsillo) Popayán (carretera Caldono-Siberia).

Plancha No. VII. Corte geológico A-B
(en bolsillo.)

F I G U R A S.

Figura No. I Mapa índice

Página

6

MICROFOTOGRAFIAS

| | |
|---------------------------------|----|
| Microfotografía No. 1 | 17 |
| Microfotografía No. 2 | 18 |
| Microfotografía No. 3 | 18 |
| Microfotografía No. 4 | 22 |
| Microfotografía No. 5 | 24 |

FOTOGRAFIAS

| | |
|------------------------------|------------|
| Fotografía No. 1 | 13 |
| Fotografía No. 2 | 10-28 |
| Fotografía No. 3 | 12 |
| Fotografía No. 4 | 8 |
| Fotografía No. 4 A | 8 |
| Fotografía No. 5 | 5 |
| Fotografía No. 6 | 20-28 |
| Fotografía No. 7 | 27 |
| Fotografía No. 8 | 51 |
| Fotografía No. 9 | 73 |
| Fotografía No. 10 | 50 |
| Fotografía No. 11 | 11, 13, 25 |
| Fotografía No. 12 | 27 |
| Fotografía No. 13 | 27 |
| Fotografía No. 14 | 7 |
| Fotografía No. 15 | 50 |
| Gráfico No. 1 | 47 |
| Gráfico No. 2 | 48 |

Provincia de la Formación Popayán con sus miembros superior e inferior.

Provincia de las rocas volcánicas.

Provincia de las rocas metamórficas

Provincia del grupo Cauca

Provincia de las rocas ígneas.

Practicamente correspondiente con estas unidades litológicas se ha hecho una clasificación geotécnica de la zona en tres rangos de estabilidad dentro de los cuales se agrupan las siguientes unidades geotécnicas:

- 1- La parte superior de la formación Popayán.
- 2- La parte media y baja de esta formación.
- 3- Rocas volcánicas.
- 4- Rocas metamórficas.
- 5- Depósitos recientes.

Por separado se han analizado estas unidades haciendo énfasis primordialmente en sus propiedades mecánicas, la condición del agua - subterránea y la degradación de taludes.

Del análisis de estos parámetros y la observación de zonas inestables se han agrupado, de acuerdo al grado de estabilidad así:

De aspecto estable: Formación Popayán, Rocas volcánicas, ígneas y sedimentarias.

De aspecto inestable: Rocas metamórficas .
De aspecto muy inestable: Zona con presencia
de rasgos de inestabilidad de significación.

Casos particulares de inestabilidad se localizaron en el camino Quichayá-Pueblo Nuevo, en el Km. 9 + 950 de la carretera Caldono-Pueblo Nuevo, en la carretera Usenda-Siberia y en la carretera Pescador-Buenos Aires.

Analizadas las condiciones, en cada caso se dan las recomendaciones correspondientes.

En términos generales, la cuenca presenta condiciones especiales de estabilidad.

Dada la variedad de los fenómenos de común - ocurrencia dentro del área, no es posible hacer un listado de recomendaciones particulares. Se ha considerado más conducente dar una orientación hacia la investigación y la obtención de elementos de juicio para la aplicación de - medidas de corrección.

I.- INTRODUCCION

I.1 Propósito del estudio.

De acuerdo a los términos contractuales, el propósito del presente estudio ha sido el de dotar a la Corporación Autónoma Regional del Cauca (C.V.C.) de un informe técnico que incluya los aspectos geológicos y geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del Río Ovejas, en el Departamento del Cauca, sobre un área de 106.000 Hectáreas, para efecto de programar su conservación y el aprovechamiento de los recursos existentes.

I.2 Método de trabajo.

Siguiendo la metodología sugerida por Gemco Ltda. y aceptada por parte de la C.V.C., el trabajo fué ejecutado en etapas sucesivas de acuerdo a un orden lógico que permitiera la iniciación de las investigaciones una vez completada la inmediatamente precedente.

Una vez que fué recopilada y analizada la información geológica existente, se practicó un reconocimiento preliminar del área, a través del cual se determinaron los puntos que debían ser complementados e implementados atendiendo al nivel de detalle exigido por los objetivos propuestos. Simultáneamente se inició la preparación de la base cartográfica que sería empleada posteriormente para proyectar sobre ella la información producto de una primera interpretación de las

fotografías aéreas.

Esta primera interpretación se llevó a cabo con dos criterios definidos: En primer término, el estrictamente geológico-geomorfológico con el fin de definir, en una primera instancia, las unidades litológicas presentes, sus interrelaciones y los acontecimientos tectónicos que las afectan así como también las regiones morfogenéticas a las cuales dan origen. En segundo lugar, el ingeniero-geológico encaminado a detectar las zonas de inestabilidad antigua y actual y, mediante una asociación con el tipo de litología presente y el aspecto morfológico, aquellas que podrían ofrecer condiciones potenciales de inestabilidad.

En lo referente a ubicación de presas y piscifactorías, preliminarmente se tuvieron como factores determinantes la menor dimensión de la obra y la capacidad de embalse aguas arriba. Marginalmente se consideró también la condición de estabilidad, a nivel de aspecto superficial, de las rocas que quedarían influenciadas por las aguas embalsadas.

Los datos obtenidos a través de esta primera interpretación fueron proyectados sobre la base planimétrica, obteniéndose, en esta forma, el mapa fotogeológico preliminar que serviría como base para el trabajo de cuantificación y verificación geológica de campo.

Al igual que la actividad descrita anteriormente, la verificación de campo comprendió los aspectos geoló-

gico, geomorfológico y geotécnico, adicionado de la parte correspondiente a la prospección de yacimientos minerales existentes en la zona de estudio.

En lo concerniente a la investigación geológica, esta se concretó a la definición de los aspectos litológicos y lito-estratigráficos, por una parte, y por otra a la comprobación, mediante la búsqueda de evidencias, de los rasgos estructurales y tectónicos detectados en la fotointerpretación.

Mediante secciones geológicas se comprobaron los contactos litológicos y se levantaron columnas estratigráficas para definir las unidades cronológicamente además de identificar sus propiedades estructurales y ambientes deposicionales.

Paralelamente se hizo un muestreo sistemático de las rocas aflorantes para su análisis petrográfico posterior.

Las provincias geomorfológicas y morfogenéticas se definieron atendiendo a los parámetros más importantes que las originan tales como litología, tectónica e influencia de los agentes de intemperización, tanto mecánicos como químicos.

Los aspectos ingeniero-geológicos comprendieron primordialmente un análisis cualitativo-cuantitativo de los fenómenos observados y la investigación de sus causas y factores contribuyentes. Se obtuvieron datos representativos de resistencia al corte empleando un

"torvane" el cual se aplicó en diferentes direcciones teniendo en cuenta las discontinuidades geológicas derivadas de la estratificación y los sistemas de diaclasas. En los sitios de ocurrencia de fenómenos de inestabilidad se hizo una apreciación de las medidas correctivas más eficaces llegando, en algunos casos tales como aquellos que afectan las vías existentes, a hacerse un predimensionamiento de las obras. Sin llegar a un estimativo volumétrico de las posibles fuentes de materiales, se localizaron las que ofrecen mayores posibilidades en lo referente a cantidad y calidad. En lo referente a sitios de presa se llegó a nivel preliminar de estimación de condiciones de estabilidad considerando las características geotécnicas generales de las rocas para efecto de fundaciones y el comportamiento de los suelos residuales que se verían afectados por las aguas embalsadas. Visualmente se estimó la sedimentación de las corrientes, relacionándola con la facilidad de lixiviación de los materiales de los valles.

1.3 Estudios Previos.

Existen informes de numerosos estudios geológicos anteriores, la mayoría de ellos a escala regional, los cuales, con fines diferentes, han considerado parcialmente la zona de estudio.

Los más antiguos, realizados por E. Hubach datan del año 1.934. En ellos y los realizados durante los años de 1.951 a 1.955, se hace una clasificación cronoestratigráfica de las unidades aflorantes la cual, con algu-



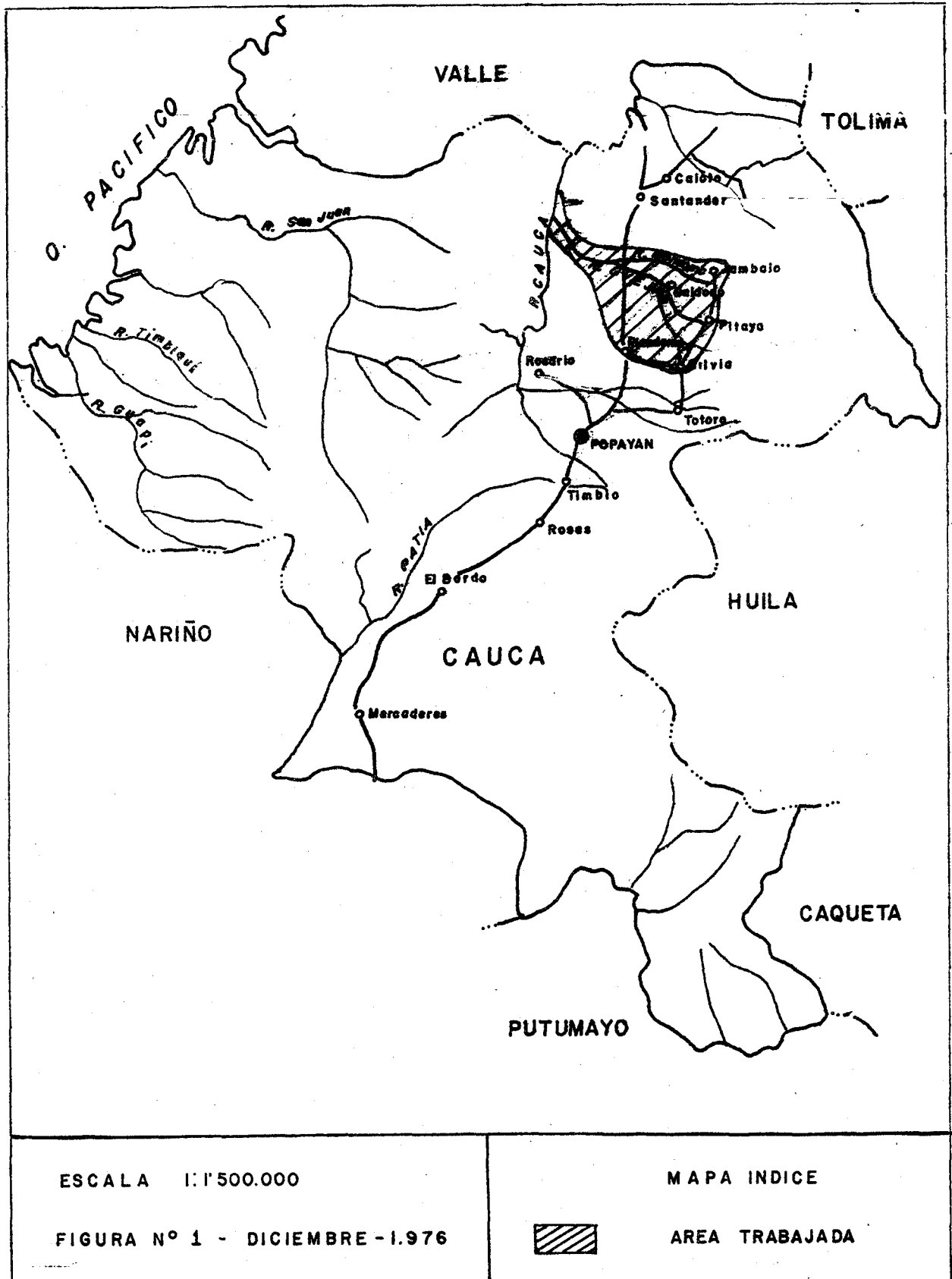
Fotografía No. 5 Zona de inestabilidad carretera
Usenda-Siberia.

nas modificaciones, se ha empleado en el presente trabajo.

De los más recientes cabe destacar los realizados por el Instituto de Investigaciones Geológico Mineras (Ingeominas). Cucalón Ignacio y Restrepo Hernán, a través del trabajo sobre lateritas gibbsíticas en la costra de la formación Popayán, hacen un reconocimiento de la totalidad del área en el área de 1.969 concretándose específicamente a la parte más superior de este miembro el cual se describe con detalle.

En 1.975, con autoría del geólogo Abigail Orrego, la dirección regional de Popayán publicó el informe número 1.690 el cual contiene el estudio de la parte oeste del cuadrángulo N-6. En este estudio se hace una descripción geológica de las rocas presentes en la cuenca, aguas abajo de la población de Piendamó hasta la desembocadura del río Ovejas en el Cauca. Se introducen algunas modificaciones en la nomenclatura estratigráfica y se describen las unidades con mayor exactitud. Así mismo, la interrelación entre las formaciones presentes es más clara, presentándose mayor número de evidencias.

El informe más reciente, que cubre tan solo una pequeña zona del área de la cuenca, fué realizado por el mismo Instituto en el año de 1.975. Su autor es el geólogo Humberto Rosas y la investigación fué realizada por solicitud de la Gobernación del Departamento del Cauca.- Comprende un rectángulo de aproximadamente 9 kilómetros localizado en el extremo Nororiental de la cuenca.



ESCALA 1:1'500.000

FIGURA N° 1 - DICIEMBRE - 1.976

MAPA INDICE



AREA TRABAJADA

Este estudio fué realizado con el fin práctico de evaluar a nivel más detallado del que se hubiera hecho - hasta entonces, los yacimientos de caliza existentes en la región de Pitayó.

El autor describe, además de los horizontes calcáreos propiamente dichos, dos unidades metamórficas y una de rocas ígneas hipobasales. En la parte estructural menciona acontecimientos locales e introduce uno importante que no había sido observado por otros investigadores el cual es determinante respecto al potencial explotable del yacimiento.

II. GEOGRAFIA

II.1 Localización y accesibilidad.

El área correspondiente a la cuenca del río Ovejas se encuentra localizada en el extremo Nor-oriental del Departamento del Cauca, en las estribaciones de la cordillera central. (Ver mapa Índice Fig. No. 1)

Presenta una forma triangular cuyos vértices son las poblaciones de Suárez, Silvia y Jambaló. En el límite sur de la cuenca, la carretera Panamericana atraviesa el área de sur a norte por su parte centro-occidental. A partir de esta localidad parten dos vías principales, una en dirección sur-este hacia la población de Silvia para luego continuar hacia el nor-este uniendo las poblaciones de Pitayó y Jambaló. La otra, en dirección nor-este hacia la localidad de Morales y El Hato.



Fotografía No. 14 Clase de vegetación en el grupo
volcánico cerros al Este de Piedra
dama.

En la localidad de Pescador parte la carretera que une las poblaciones de Siberia, Caldoño y Pueblo Nuevo, en el extremo nor-oriental del área.

Otras vías de penetración parten de estas vías principales comunicando varias veredas.

Existen caminos de herradura numerosos entre los cuales vale mencionar el que une los caseríos de Quichayá y Pueblo Nuevo.

II.2 Clima y Vegetación.

No existen estaciones meteorológicas completas dentro de la zona estudiada. Se dispone solamente de datos sobre cantidades de lluvia en las poblaciones de Silvia y Suárez.

La precipitación promedio anual de la parte baja a la parte alta, siendo de aproximadamente 1.300 mm. a 2.000 mm. respectivamente. Los meses de máxima precipitación son los de Octubre, Abril y Mayo.

La temperatura, igualmente, presenta variaciones que van de los 10°C a 29°C, siendo los meses de Julio y Agosto los que registran temperaturas más altas.

De acuerdo a la clasificación de Holdridge del mapa Ecológico de Colombia (1.962) la parte baja corresponde a la clasificación de "Bosque Seco Tropical" y la parte alta a "Bosque Húmedo Tropical". (Fotografía No. 14)



Fotografía No. 4 Parte baja de la cuenca mirando al
NW desde los cerros al este de la -
población de Piendamó.



Fotografía No. 4 A Desde el cerro al Este de Piendamó
se observa la parte baja de la cuenca
del río Ovejas.

III. GEOMORFOLOGIA

No existiendo diferencias considerables en el clima - existente dentro de la región estudiada, el paisaje geomorfológico está influido directamente por la naturaleza y composición de la roca y la manera como actúan los agentes degradacionales y agradacionales. (Fotos 4 y 4 A)

Se analizarán, en primer término los agentes endógenos y exógenos asociados al intemperismo y la erosión y posteriormente las unidades geomorfológicas derivadas de su acción sobre las unidades rocosas.

III.1 Intemperismo.

Considerado como la reacción de los materiales, que alguna vez estuvieron en equilibrio dentro de la corteza de la tierra, a las nuevas condiciones impuestas por el contacto con el aire, el agua o la materia viviente, permite tipificarlo de acuerdo a la naturaleza misma de los agentes que tienen ocurrencia, no obstante su relación íntima.

- a) Intemperismo mecánico.- Es evidente en su forma de fracturamiento en la roca fresca y ejerce gran influencia en la continuación de los procesos posteriores. Determina el sistema regional de drenaje y de él se deriva prácticamente la escultura actual del relieve.
- b) Intemperismo químico.- Denominado también descomposición, es un proceso más complejo que el intemperismo mecánico por cuanto, a diferencia de éste, que supone solamente el rompimiento de la roca en partículas

cada vez más pequeñas, sin cambio en su composición, transforma el material original en algo diferente.

En el caso particular, es el factor que puede considerarse como más importante al considerarlo como vehículo para la generación de una morfología dada.

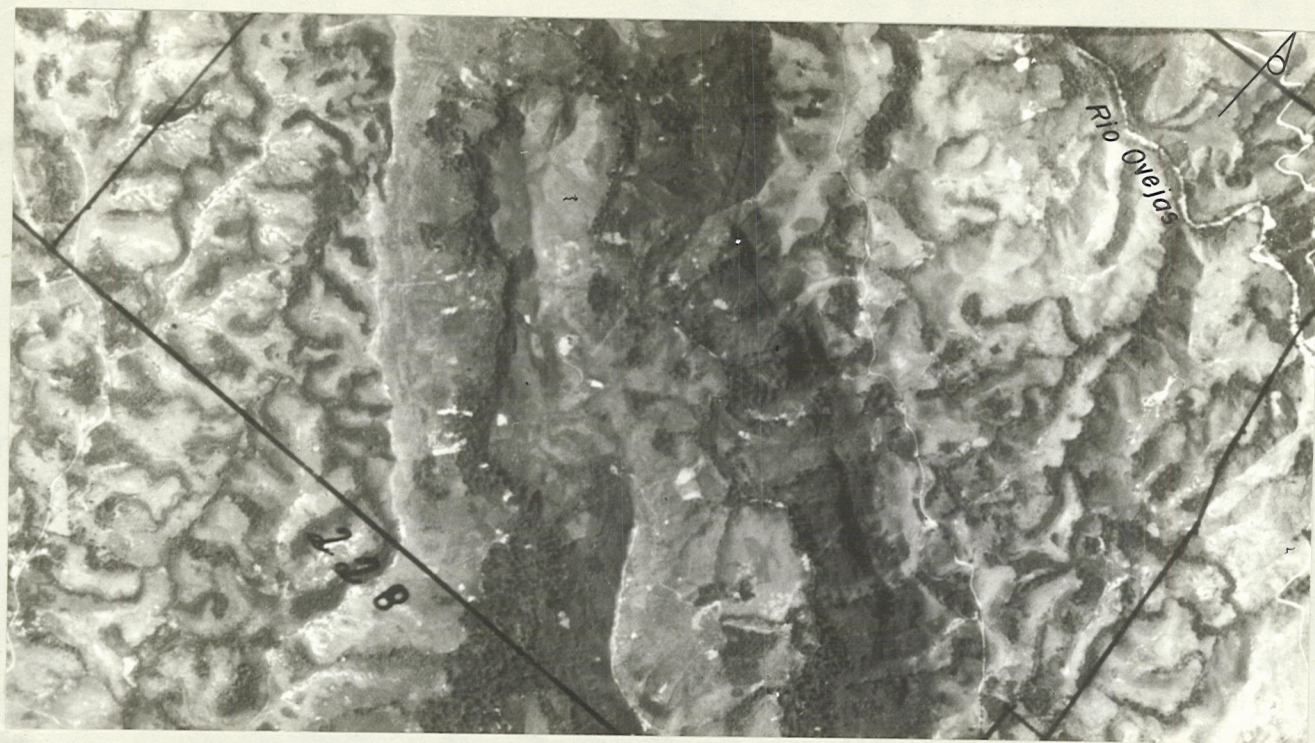
III.2 Erosión.

Dadas las condiciones climáticas de la zona, este agente degradacional tiene vital importancia en la configuración del relieve.

Dominantemente la erosión es de tipo fluvial y su intensidad depende, inicialmente, del grado de fracturamiento de la roca y en etapas posteriores del estado de alteración de la misma. La primera fase origina prácticamente el sistema regional de drenaje, limitándose las sucesivas a la remoción de las partículas producto de alteración y al labrado degradacional del relieve primario.

La erosión eólica es mínima debido, además de la poca velocidad de los vientos, a la cubierta vegetal existente y al hecho de presentar los suelos producto de la alteración de las rocas un grado aceptable de cohesión entre sus partículas por su naturaleza arcillosa.

Papel importante juega la vegetación en las etapas iniciales de erosión en la forma de aumentar el espaciamiento de las fracturas al penetrar las raíces en ellas, facilitando en esta forma la circulación del agua de percolación. Además, el material orgánico en descomposición suministra ácidos orgánicos que coadyuvan en la meteori-



Fotografía No. 2 Drenaje dendrítico típico de
la Formación Popayán.

zación química.

III.3 Deposición.

Por razón de la fase de relativa juventud de las corrientes principales y su perfil longitudinal, el proceso deposicional está restringido casi por completo a los materiales de fondo de los cauces de ríos y quebradas, existiendo remanentes de terrazas pequeñas originadas por accidentes muy locales tales como cambios en el nivel de base o represamientos en zonas estrechas de los cauces.

III.4 PROVINCIA GEOMORFOLOGICA DE LA FORMACION POPAYAN.

Son claramente diferenciables dos miembros dentro de esta provincia los cuales, aunque no generan unidades independientes por razón de su origen y homogeneidad de ambientes climáticos, presentan diferencias debido a su posición topográfica y al sometimiento diferencial a la acción de los agentes intemperizantes.

III.4.1 Miembro Superior. ✓

Comprende arcillas residuales de aproximadamente 10 mts. de espesor.

Topografía.- Se caracteriza por la presencia de colinas de mediana elevación y forma redondeada separadas por valles aluviales.

Drenaje.- De tipo dendrítico, bastante denso. Las corrientes son cortas y sinuosas. (Fotografía No.2)



Fotografía No. 11 Morfología del pórfido tonalítico al fondo en el cerro Santa Rosa en las zonas de erosión se observa los caolines, fotografía tomada mirando al Oeste.

La sección transversal de las corrientes presentan forma en V abierta con una pequeña convexidad en las paredes.

La parte más inferior se presenta marcadamente más cerrada, indicando una actividad reciente de erosión normal

III.4.2 Miembro Inferior.

Comprende el conjunto de capas de lava, conglomerados, aglomerados y cenizas volcánicas.

Topografía.- Se presenta abrupta, con escarpes pronunciados casi verticales de elevación considerable que conforman los valles profundos de los ríos.

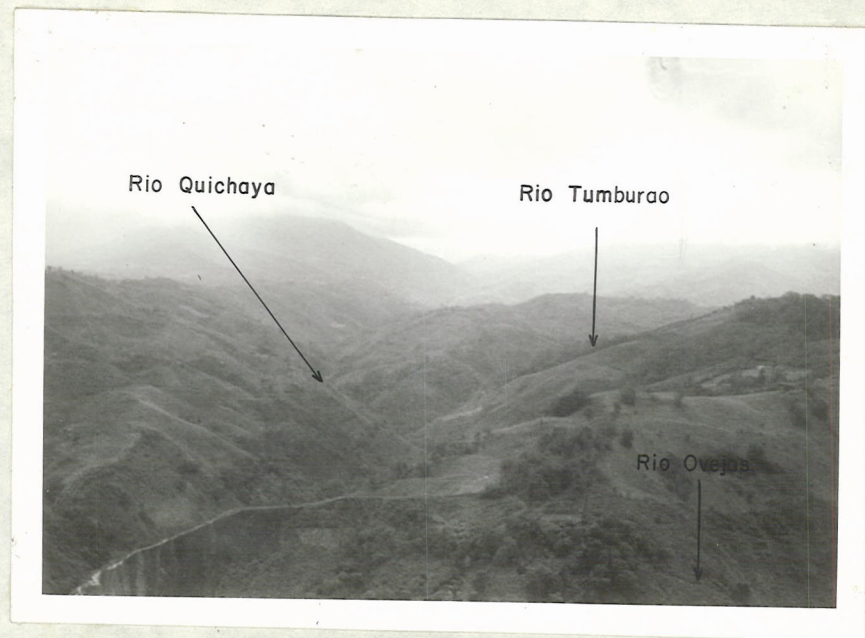
Drenaje.- Es predominantemente de tipo subparalelo, existiendo angularidad en las corrientes de segundo orden con respecto a la principal.

La sección transversal de los valles es la de una V cerrada.

III.5 PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS.

Esta unidad geomorfológica comprende las zonas de afloramiento de los esquistos.

Topografía.- Es la característica de este tipo de rocas. Irregular, con angularidades determinadas por el carácter laminar de la roca. Por la facilidad con que son erosionadas, las colinas presentan forma redondeada en la parte superior.



Fotografía No. 3. La cabecera della cuenca mirando al Este, al fondo la desembocadura del Tumburao en el río Quichayá y éste en el Ovejas al frente la morfología de las rocas volcánicas (a). Tomada desde la carretera Usenda-Siberia.

Drenaje.- Se presenta de tipo paralelo a sub-paralelo.

III.6 PROVINCIA GEOMORFOLOGICA DEL GRUPO DEL CAUCA.

La estratificación de las rocas, el tectonismo y la diferencia de resistencia a la erosión, originan una morfología característica.

Topografía.- Es angulosa, irregular, con relieves prominentes y escarpes pronunciados. Refleja claramente la naturaleza de las rocas presentes y su propia resistencia a la erosión.

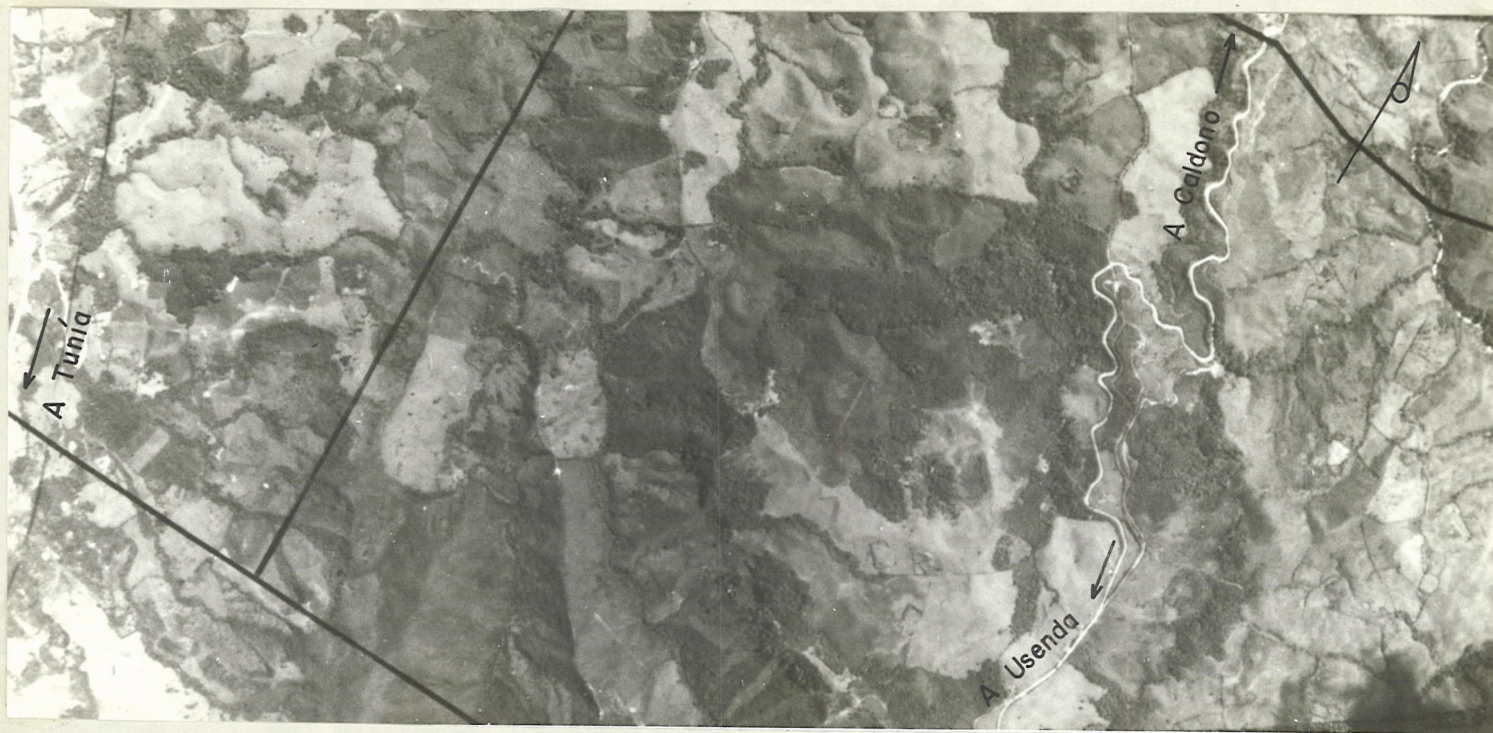
Drenaje.- Posee un definido control estructural. Regionalmente es de tipo angular presentándose, localmente, rectangular y dendrítico en zonas de fracturamiento y homoclinales respectivamente.

En las arcillas se presenta bastante denso y moderado en las areniscas. En estas últimas los valles son profundos y estrechos al contrario de la arcillas, donde ofrecen poca profundidad y paredes sumamente redondeadas.

III.7 PROVINCIA GEOMORFOLOGICA DE LAS ROCAS VOLCANICAS.

Comprende la parte central de la cuenca, zona donde afloran las rocas volcánicas andesíticas predominantemente. (Fotografía No. 3)

Topografía.- Se presenta prominente aunque de formas redondeadas por efecto de la erosión. Presenta un grado intermedio de juventud avanzada y temprana madurez.



Fotografía No. 1 Drenaje dendrítico a subangular
de las rocas volcánicas.

La prominencia se debe al efecto de profundización de los valles por parte de las corrientes.

Drenaje.- Por la ausencia de control estructural, el drenaje es de tipo dendrítico, formado por corrientes que se ramifican en forma arborescentes. (Fotografía No. 1)

Localmente puede considerarse de tipo sub-paralelo, atendiendo a la dirección general de las corrientes secundarias respecto a las de primer orden.

La sección transversal presenta forma en V, característica de la erosión dominante y la naturaleza de la roca. La densidad es moderada, variando ligeramente por localidades.

III.8 PROVINCIA GEOMORFOLOGICA DE LA ROCAS IGNEAS.HIPOABISALES

Presenta características similares a la propia de las rocas volcánicas, variando el sistema de drenaje que es de tipo radial. (Fotografía No. 11)

IV. GEOLOGIA

Con este estudio hemos observado la presencia de rocas de edades que van desde el precretáceo las cuales corresponden a las más antiguas aflorantes en la cuenca del río Ovejas hasta las recientes de edad cuaternaria.

Hacia la parte oriental de la cuenca o sea, hacia el nacimiento del río Ovejas afloran las rocas metamórficas cuya edad se la puede considerar precretácea por su similitud con el Grupo de Cajamarca, descrito por Hubach, E., (1.957). Estas rocas también afloran desde el norte del caserío de Guaitalá en una franja angosta pasando al oeste del caserío Cerro Alto para terminar al sur de la población de Caldonó.

En la parte central de esta cuenca predominan las rocas volcánicas de tipo andesítico cuya edad podría ser terciaria a cuaternaria las más recientes.

Los sedimentos terciarios que coinciden con el límite norte de la cuenca, especialmente hacia el oeste, donde se los observa intruídos por los ígneos tipo Pórfido Tonalítico y Dacítico.

La parte baja de la cuenca que forma parte del valle de Pubenza, el cual está limitado al oriente por los cerros formados por el grupo de rocas volcánicas y al oeste por el río Cauca, esta constituida por sedimentos de la formación Popayán de edad Terciario-Cuaternario.

La zona más afectada por fallas se encuentra al oriente de la cuenca cuyas principales fallas y diaclasas están

asociadas al sistema de la falla de Romeral que es uno de los más importantes rasgos tectónicos de la cordillera Central.

En la zona plana se observaron alineamientos en los sedimentos más recientes los cuales podrían tener relación con las intrusiones ígneas.

IV.1 ESTRATIGRAFIA

Las diferentes clases de rocas observadas en el campo, hemos tratado de correlacionarlas con la estratigrafía regional existente, utilizando los nombres de las formaciones usadas en los trabajos existentes (ver mapas Geológicos).

IV.1.1 ROCAS PRECRETACEAS.

IV.1.1.1 Grupo de Cajamarca (pKc1).

Por la similitud que tienen los esquistos sericíticos que nos afloran en el área, con los del Grupo de Cajamarca descrito por Hubach, E., 1.957, seguimos utilizando el nombre. Es el mismo grupo que Nelson, W., 1.962, lo llamó Serie de Cajamarca.

Estos esquistos son las rocas más antiguas que encontramos, los cuales los observamos en dos áreas: Una aflorando en la parte oriental de la cuenca hacia las cabezas del río Ovejas, en un área que se extiende desde el norte de la población de Silvia y se continúa hacia

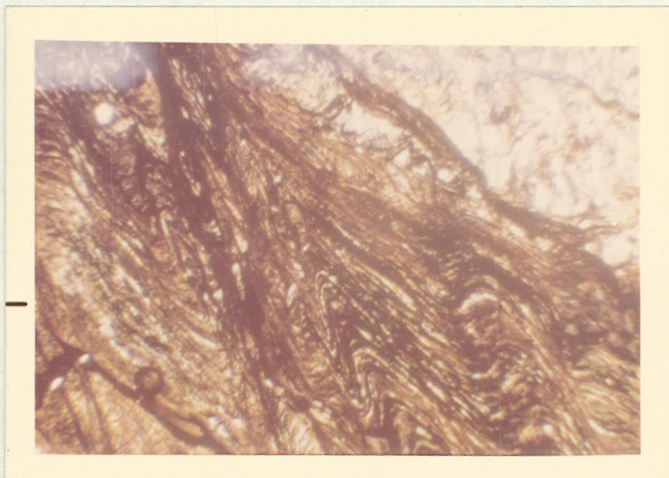
el norte del área correspondiendo con el límite de la cuenca. (Ver planchas 2 y 4), y la otra que se extiende en una franja angosta desde el norte del caserío Guaitalá, hacia el sur, pasando cerca de la población de Caldono para ir a terminar al suroeste del caserío de Pueblo Nuevo, (ver planchas 2 y 4), donde se los observó muy cataclisados y en pequeños afloramientos.

Hacia el norte de la población de Usenda están enmascarados por las rocas volcánicas, observándose pequeños y esporádicos cuerpos, los cuales no fueron cartografiados por su tamaño.

Los esquistos sericíticos que afloran al oriente son de color gris a verde, con tonalidades amarillentas a rojizas por alteración. En sección delgada presentan superficies lustrosas en los planos de esquistosidad, la cual está muy bien desarrollada debido a la buena orientación de los minerales micáceos, es muy clara la esquistosidad paralela a la estratificación. Presentan asociación de biotita, sericita, moscovita, cuarzo y plagioclasa.

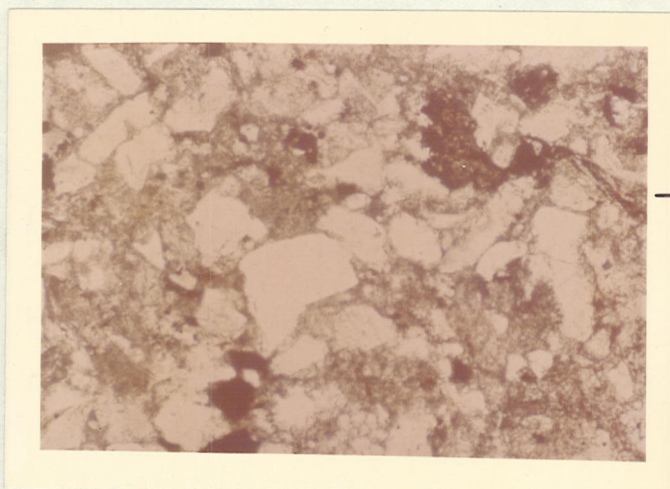
Los esquistos tienen una dirección general hacia el noroeste con inclinaciones entre 40° y 60° hacia el oeste, a veces varían su inclinación en algunas áreas, hacia el este, como al oeste de caserío de Ployá.

Esporádicamente se observan pequeñas venas de cuarzo - hasta de 10 cm. de espesor con diferentes direcciones. En el área más accidental, son de color gris a verde, con tonalidades amarillo-rojizos debido a la meteori-



MICROFOTOGRAFIA No. 1

MUESTRA : ICH 2034 A
LOCALIZACION : Carretera Caldono-Pueblo Nuevo
CLASIFICACION : Esquisto micáceo cataclisado.
DESCRIPCION : Se observa una estructura esquistosa con microplegamientos producto de presiones cataclásticas. En un extremo - (parte más clara) se presente enriquecimiento de cuarzo policristalino.
AUMENTO : 10 x 10 Nicceles cruzados.



MICROFOTOGRAFIA No.2

MUESTRA : ICH 2035

LOCALIZACION : Puente sobre el río Ovejás, carretera
Pescador-Buenos Aires.

CLASIFICACION : Grauwacke.

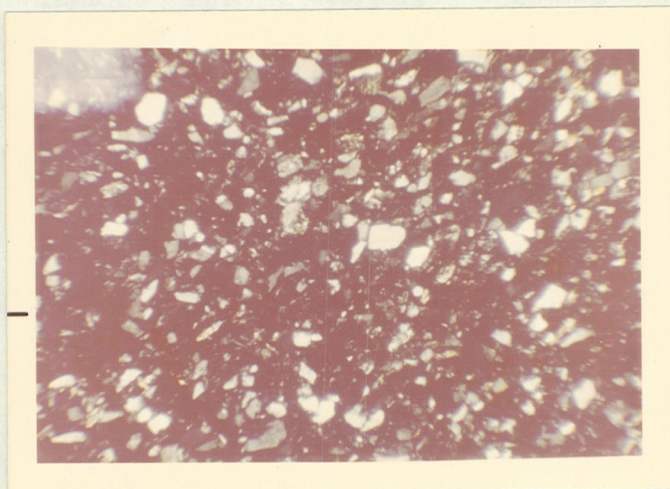
DESCRIPCION : Igual a la fotografía No. , ésta con
mayor aumento y nicoles paralelos para
apreciar mejor la angularidad de los
fragmentos.

AUMENTO : 10 x 10 Nicoles paralelos.

zación de las micas. Tienen un buen desarrollo de la esquistosidad con pequeñas capas de espesores variados y muy plegadas, con micropliegues con dirección del plano axial noroeste e inclinaciones de 40° a 60° hacia el este y oeste. Al microscopio se observa cuarzo siguiendo los planos de esquistosidad. La venas de cuarzo tienen hasta 10 cms. de espesor.

Al sur de la población Caldono, los esquistos son de color gris-verdoso, con tonalidades amarillo-rojizas por alteración de las micas. La esquistosidad está bien desarrollada, observándose capas hasta de 30 cms. de espesor. Macroscópicamente presentan superficie lustrosa en los planos de foliación. En algunas capas se observa la estratificación original, con muchos micropliegues y micro fallas y capas de mármoles y cuarcites muy deformados con espesores de 30 cms. Tienen una dirección general noroeste, con planos de exfoliación inclinados de 30° a 60° hacia el este.

En sección delgada se observan pliegues de deslizamiento en la esquistosidad por influencia dinámica, el cuarzo se presenta recristalizado con tamaño de grano medio y la mica biotita con alto contenido de hierro - siendo la predominante, íntimamente mezclada con la muscovita (Ver microfotografía No.1). Se observa un constituyente negro que puede ser materia orgánica o carbonosa, en general está el esquisto muy cataclisado. (ver análisis petrográfico muestra ICH 2034 A). En la parte central del área los esquistos están cubiertos por las rocas volcánicas.



MICRO FOTOGRAFIA No. 5

MUESTRA : ICH 2035
LOCALIZACION : Puente sobre el río Ovejas, carretera
Pescador-Buenos Aires.
CLASIFICACION : Grauvacs.
DESCRIPCION : Se observa textura clástica en matriz
(oscura) de arcilla. Nótese el bajo re-
dondeamiento y esfericidad en los clag
tos de cuarzo y feldespatos.
AUMENTO : 3.5 x 10 Nícoles cruzados.

IV.1.2 ROCAS CRETACEAS

IV.1.2.1 Grupo Dolerítico (Kd).

Las rocas que constituyen este grupo aflora en un área muy pequeña al norte de la cuenca, al este del caserío Tres Quebradas. Por su similitud con las del grupo dolerítico descrito por Cueslón, I., (1.969) y unificar nomenclatura, se ha utilizado el mismo nombre.

Estas rocas se las encuentra suprayaciendo a los esquistos en su contacto oriental, e infrayaciendo a los sedimentos terciarios y los de la formación Popayán, - en su contacto occidental. La roca tiene textura afanítica a fanerítica, color gris oscuro fresca, muy compacta, afectada por muchas diaclasas, con algunas venas de calcita hasta de 1 cm. de espesor. Sus componentes principales son feldespatos, piroxenos y clorita. En general la roca se la encuentra muy meteorizada tomando un color café oscuro cuando inicia la meteorización, dando suelos de arcillas rojas que se confunden con las arcillas producto de la meteorización de las rocas volcánicas y Formación Popayán.

IV.1.2.2 Otras rocas.

Por la carretera que del Pescador conduce a la población de Buenos Aires cerca al puente sobre el río Ovejas, se encontró una roca de color gris verdoso de grano fino muy compacta clasificada como una grauvaca, (ver microfotografías No.2-3) está muy diaclasa, aflora en un área pequeña por estar enmascarada por los sedimentos de

la formación Popayán.

Bajo el microscópio se presenta con una matriz compuesta por mezcla de minerales de arcilla, sílice y algo de mica, los feldspatos están ligeramente alterados y el cuarzo se lo observa reabsorbido en los bordes, la mica es principalmente de tipo muscovita y los fragmentos líticos son de chert y arcillolitas (ver análisis petrográfico muestra ICH 2035).

Esta roca parece haberse depositado en aguas profundas donde no ha sufrido retrabajamiento.

Solo se la observó en el sitio descrito, donde el afloramiento tiene varios metros de extensión, es problemática su posición estratigráfica por estar aislada, pero podría asociarse a una de las secuencias de rocas de la cordillera occidental descrita por Orrego, A., 1.975.

IV.1.3 ROCAS TERCIARIAS

IV.1.3.1 Grupo del Cauca (Tc).

Con este nombre se ha llamado al conjunto de sedimentos de edad terciaria que afloran al noroeste del área, los cuales corresponden a los estudiados por Hubach, E., 1957. Podrían correlacionarse también con la Formación Cauca descrita por Orrego, A., 1.975.

Estos sedimentos forman una delgada franja al norte de la cuenta con poca continuidad. Hacia el oeste la facies cubren un área mayor.



Fotografía No. 6 Contacto entre la Formación Popayán (a) y el grupo Cauca (b) carretera Mondomo-Caserío El Turco. Estación 160

La parte inferior del grupo se la observó al norte del caserío Cerro Alto por el carreteable caserío El Turco-Guaitalá (ver columna plancha No. 5) donde descansa discordantemente sobre el grupo dolerítico el cual posiblemente emergió por movimientos suaves de la cordillera. La secuencia estratigráfica consta en la base de una arenisca grauváquica de color gris verdoso grano fino a medio, masiva con un espesor de 30 mts. infrayaciendo a una secuencia de 8 bancos de conglomerados con espesores entre 3 y 8 mts. con cantos con tamaños de 5 a 15 cms. alargados y subredondeados, de dolerita, andesita y cuarzo. Ya el conglomerado a empezado a meteorizarse conservándose la estructura de la roca. Los bancos de conglomerados están intercalados por una facies de arenas de color grises, de grano fino, bien estratificada y arcillas grises de color amarillentas, plásticas, en bancos hasta de 10 mts.

Entre el caserío El Turco y la carretera central del sur (plancha No. 2) aflora una secuencia de limolites de color café a lila, estratificadas en bancos de 2 a 3 mts. de espesor, intercaladas por bancos hasta de 2 mts. de areniscas grises de grano fino a medio muy friables, un pequeño manto de carbón de 20 cm. de espesor está intercalando a las arcillas anteriores, en general las capas tienen una dirección general noroeste, con buzamientos al este y oeste. Este grupo está cubierto discordantemente por la formación Popayán (ver fotografía No. 6).

Hacia el oeste del área estudiada, el grupo cubre gran parte del área, especialmente hacia la margen derecha

del río Ovejas donde forma el límite de la cuenca. La secuencia observada consta de limolitas café oscuro a lila en bancos hasta de 3 mts. de espesor, con algunas intercalaciones de bancos hasta de 1 metro de areniscas grises de grano fino, muy friable y bien estratificadas que dan una morfología característica escalonada (ver fotografía No. 13) Esta secuencia aumenta de espesor hacia la desembocadura del río Ovejas. Hacia el cerro Santa Ana y Chapa están intruídos por el Pórfido Tonalítico. Se continúa la facies arcillosa por la margen derecha del río Cauca donde está muy fallada y diaclasada. Al noroeste del caserío Santa Rosa se lo encuentra intruído por un Pórfido Dacítico (ver fotografía No. 11) En gran parte estos sedimentos están cubiertos discordantemente por los de la formación Popayán.

La parte del grupo Cauca que aflora en el área estudiada puede corresponder a la formación Esmita descrita por León L. y otros (1.973) que le asignan una edad de mioceno superior.

IV.1.3.2 Grupo Rocas Volcánicas (Tv-Tap.).

Las rocas de este grupo están distribuidas principalmente en la parte central del área. Se las ha llamado así por su origen, las cuales se presentan en flujos que se depositaron rellenando las irregularidades de la morfología existente.

Donde se pudo observar la roca fresca se estableció la presencia de rocas tipo Andesita Hornbléndica finamente



MICRO FOTOGRAFIA No. 4

MUESTRA : ICH 2034
LOCALIZACION : Cantera, carretera Piendamó-Usenda
CLASIFICACION : Andesita hornbléndica finamente porfirítica.
DESCRIPCION : Se observa una matriz de grano muy fino con vidrio en la cual flotan rombos de anfíboles y hojas (prismas) de biotita de colores de interferencia pardos, se presentan también porifos de plagioclasa de hábito prismático.
AUMENTO : 3.5 x 10 Nícoles cruzados.

Porfirítica y Andesita Porfirítica (ver mapas geológicos).

IV.1.3.2.1 Andesita Hornbléndica finamente Porfirítica (TV).

Es la roca predominante en el área, cubre toda la parte central de ella (planchas Nos. 2 y 4).

Se presenta como una roca de color gris, masiva, con cristales y fragmentos, muy fracturada, se meteoriza rápidamente quedando testigos de la roca en la arcilla - que forma, dando suelos rojos con morfología de cerros redondos de pendientes suaves.

Bajo el microscopio se presenta como una matriz vítrea llena de microlitos de feldespato, fenocristales de plagioclasa intermedia zonada y hornblenda basáltica con bordes opacos recristalizados. (ver análisis petrográfico muestra ICH 2034). Por el índice de color y la presencia de anfíbol, se la ha llamado andesita pues podía tratarse de un basalto (ver Microfotografía No. 4)

De otra muestra estudiada bajo el microscopio y colectada al oeste del área central en los cerros al este de la población de Tunia (vereda Farallones (ver análisis petrográfico muestra ICH 2037) se observó, que la matriz está constituida por vidrio y microlitos de feldespatos los cuales se orientan alrededor de los fenocristales dando el carácter pilotáxico. El feldespato - aproximadamente Ab 52 se encuentra maclado y en partes zonado oscilatoriamente.

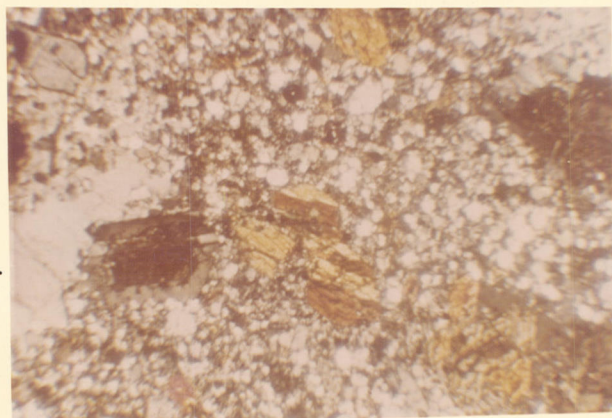
El anfíbol es pardo de la variedad hornblenda basáltica o lamprobolita el cual en gran parte está alterado totalmente a limolita. El piroxeno es agita baja en hierro. (ver fotografía No. 10.)

En el área las andesitas están completamente meteorizadas formando suelos de arcillas rojo-amarillentas con cerros redondeados. Los espesores de la arcilla varían hasta ocho metros, la cual enmascara completamente la roca fresca.

Es muy posible la existencia de flujos de composición basáltica y dolerítica, por algunos cantos de éstas rocas encontrados en las arcillas, lo cual nos hace pensar en la existencia de algunos flujos de ésta naturaleza pero de difícil observación en el campo por el grado de meteorización en que se encuentran las rocas.

IV.1.3.2.2 Andesita Porfirítica (Tap.)

Aflora al noroeste de la población de Silvia (ver plancha No. 4) presenta una morfología especial. En la fotografía aérea se ve una falsa foliación, forma cerros con paredes abruptas de un lado y un poco más suave hacia el otro, su posición es curiosa pues parecen que se hubiera depositado sobre las rocas metamórficas y que por erosión hubiesen quedado como cerros testigos, contrario a la teoría que existe que puede tratarse de una andesita porfirítica intrusiva.



MICROFOTOGRAFIA No. 5

MUESTRA : ICH 2036
LOCALIZACION : Quebrada San Antonio, carretera Pesca-
dor-Buenos Aires.
CLASIFICACION : Pórfido Tonalítico anfibólico.
DESCRIPCION : En la foto se aprecia la matriz fel-
sica de grano fino (color blanco) en-
cerrando cristales de anfíbol con co-
lores anaranjados de interferencia, -
maclados y mica biotita color oscuro
de interferencia.
AUMENTO : 3.5 x 10 Nícoles cruzados.

IV.1.3.3 ROCAS IGNEAS HIPOABISALES

Estas rocas se las encontró aflorando al noreste del área, al este del caserío Santa Rosa, entre el camino que de Quichayá va a Pueblo Nuevo y hacia el norte del caserío Quichayá donde se observaron cuerpos muy pequeños meteorizados no cartografiables (ver mapa geológico)

IV.1.3.3.1 Pórfido Tonalítico Anfibólico (Tto).

Esta roca se la encuentra bien expuesta al noroeste de la cuenca donde forma el alto de Santa Rosa y el cerro La Chapa (Plancha No. 1 y 3). Se lo encuentra intruyendo a los sedimentos del Grupo Cauca. Meteoriza formando suelos arcillosos, rojos claros, que se caracterizan por contener pequeños cristales de cuarzo. A pesar de estar tan meteorizado se lo encuentra fresco en los cauces de algunas quebradas. Es de color gris claro con cristales de plagioclasa, cuarzo y máficos, en una matriz de grano fino. Muy compacto y diaclasado (ver microfotografía No. 5).

Microscópicamente la matriz es fanerítica de grano fino y constituida por minerales félsicos (feldespatos y cuarzos). El porcentaje de pórfidos es de un 55% y el de la matriz de 45%. Algunos cuarzos presentan bahías. El feldespato predominante es la plagioclasa que se presenta con zonación oscilatoria y fuertemente maclada. El feldespato potásico está en baja proporción en pórfidos, pero su contenido en la matriz podría ser superior y darle a la roca carácter granodiorítico. El anfíbol es horn

blenda rica en hierro y la mica biotita (ver descripción petrográfica muestra ICH 2036).

Siguiendo el cauce del río Ovejas cerca a la desembocadura se encontraron varios cuerpos pequeños de esta roca las cuales han sido puestos al descubierto por la erosión (no han sido cartografiados todos por el tamaño). Por sus relaciones de campo se lo considera con el mismo origen que los del Cerro La Chapa y Santa Ana.

Otros cuerpos de interés que presentan las mismas características de estas rocas se lo observó en el camino Quichayá-Pueblo Nuevo, donde está enmascarado por las rocas volcánicas, esta meteorizado en arcilla clara a rojiza con pequeños cristales de cuarzo, estos cuerpos pequeños se presentan hacia el norte de Quichayá los cuales no fueron cartografiados.

El cuerpo que aflora al oeste del caserío de Santa Rosa (noroeste de Morales Plancha No. 3) aunque está fuera del área de estudio se lo cartografió por su relación con los otros cuerpos y por estar intruyendo a los sedimentos del Grupo Cauca, Está completamente meteorizado produciendo un suelo arcilloso algo arenoso de color blanco que es el predominante, aunque se encuentran arcillas abigarradas, con cristales muy pequeños de cuarzo y feldespatos (Ver fotografía No. 11). Su composición podría variar a dacita según estudios anteriores. (Tad.)

Estos cuerpos intrusivos tipo Pórfido Tonalítico pueden estar asociados con venas pequeñas de oro como en

el caso del cerro Catalina y Munchique al norte del -
área, cerca a la población de Santander de Quilichao -
fuera del área de estudio.

La edad de estas rocas ígneas hipoabisales se la puede
considerar terciario superior por la relación con las
rocas que han intruído. Los pequeños cuerpos cerca del
caserío de Quichayá podrían ser más viejos.

IV.1.4 Rocas Terciario-Cuaternario.

Estos sedimentos cubren la parte baja de la cuenca -
(ver mapa geológico).

IV.1.4.1 Formación Popayán. (TQ pop).

Esta formación fué descrita por Hubach, E., 1.957 cuya
localidad tipo está cerca a Popayán.

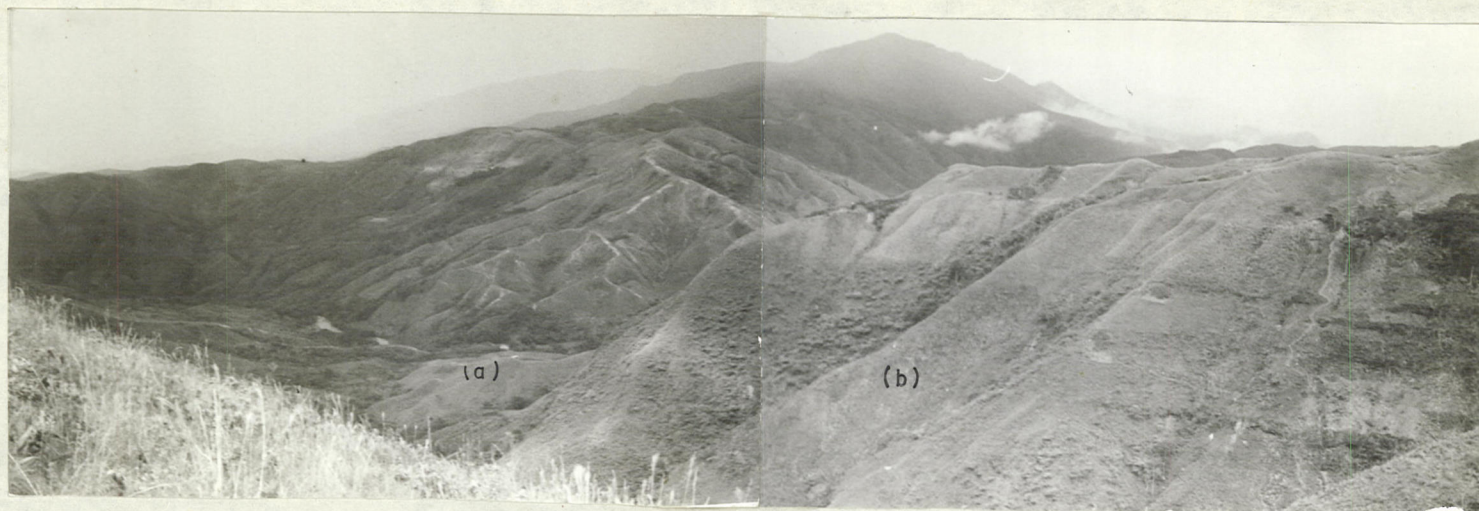
Esta formación se extiende en el área, por el oriente des-
de la falla de Piéndamó y la población de Caldon y hacia
el oeste hasta el río Cauca.

Se la encuentra horizontal aunque en algunos sitios -
tiene inclinaciones hasta de 10° . Forma el valle de Pu-
benza enmarcado por las cordilleras Occidental y Cen-
tral.

La parte baja de la formación se la observó entre la po-
blación de Caldon y el caserío de Siberia, donde descan-
sa discordantemente sobre los esquistos y rocas volcáni-
cas, con una inclinación de 10° al oeste (ver fotografía



Fotografía No. 12 La formación Popayán y sus horizontes de cenizas volcánicas con inclinaciones de 5° NW, al frente el río Pescador, fotografía tomada mirando al oeste.



Fotografía No. 13 Desde el caserío El Hato mirando al SE, se observa la formación Popayán con capas horizontales (b) descansando discordantemente sobre los sedimentos terciarios (a)



Fotografía No. 7 Mirando al S 70 E se observa a la izquierda la población de Caldono sobre la formación Popayán (a), que descansa discordantemente sobre los esquistos micáceos (b).

No. 7) Consta de bancos de cenizas volcánicas litificada de color gris claro, compactas, con espesores hasta de 3,5 mts. los cuales presentan una morfología escalonada donde sobresalen estos bancos. Intercalando a las tobas y cenizas, encontramos capas lenticulares de conglomerados con cantos redondeados hasta de 5 cms. de doleritas y andesitas, con una matriz de cenizas volcánicas; capas de tobas volcánicas de color gris con espesores hasta de 1.5 mts. en forma lenticular. Intercalando a los conglomerados y cenizas tenemos capas lenticulares de arenas grises de granos finos a medio redondeados con matriz volcánica.

La secuencia superior es de aglomerados en formas lenticulares con cantos subredondeados a redondeados de diámetros hasta de 1 mt. de andesita y doleritas cementadas por cenizas volcánicas de color gris. Los aglomerados están intercalados por bancos de cenizas volcánicas de color gris con espesores hasta de 3 mts., y con una inclinación de 5° a 10° hacia el oeste (ver fotografía No. 12).

El mayor espesor observado de la formación en el área estudiada fué de aproximadamente 250 mts. en las cercanías a Caldone el cual se aumenta hacia el oeste, volviéndose a adelgazar cerca al río Cauca, donde está descansando discordantemente sobre los sedimentos terciarios (ver fotografía No. 13).

Hacia el norte del área se observaron los menores espesores de sedimentos los cuales cubren la morfología existente de los sedimentos del grupo del Cauca (ver fo-

tografía No. 6).

Las rocas de la formación Popayán han sufrido una fuerte meteorización formando suelos arcillosos rojos a amarillentos con espesores hasta de 8 mts.

La formación está constituida por sedimentos, proveniente de rocas volcánicas y de erupciones volcánicas depositadas en un ambiente lacustre. En estos sedimentos se ha desarrollado una morfología que caracteriza a la formación (ver fotografía No. 2).

IV.1.5 SEDIMENTOS CUATERNARIOS

Estos sedimentos se los encontró en los lechos de los principales ríos formando sus valles. Al sur de la población de Caldono el río Ovejas empieza a ampliar su lecho y a formar sus valles, los sedimentos son arenas, gravas y aglomerados, el desarrollo de estos sedimentos es muy pobre y solo aumentan su espesor hacia la desembocadura. En los ríos Mondomo, Pescador y Tunia se han desarrollado pequeños valles con depósitos pequeños de gravas a partir del cambio de pendientes con la zona plana, formándose los siguientes depósitos.

IV.1.5.1 Terrazas (Qt).

Solo se observaron cerca de la desembocadura del río Ovejas en el Cauca, están compuestas por limos, arenas y cantos de andesita, dolerita chert.

IV.1.5.2 Coluvios (Qc).

Se los observó en la laderas del río Ovejas y en las del río Cauca, esta formado por cantos de rocas volcánicas, areniscas y arcillas provenientes de la formación Popayán y sedimentos Terciarios. En las zonas de las intrusiones ígneas, constata de caolines y arcillas.

IV.2 TECTONICA.

En esta época en que las ciencias de la tierra sufren una revolución con la teoría de la Tectónica de Placas se hace importante profundizar más, en el estudio de las deformaciones de la corteza terrestre. En este trabajo hemos tratado de estudiar los rasgos estructurales más importantes observados en el área de estudio, aunque se contó con muy pocos afloramientos.

Las principales deformaciones se observaron hacia el extremo oriental de la cuenca, donde afectan principalmente a las rocas del Grupo de Cajamarca y hacia el extremo occidental (ver mapa tectónico.)

Las estructuras superficiales y las estructuras más profundas son escasas en el área, habiéndose observado al norte del área un pliegue sinclinal en los sedimentos Terciarios característico de estructuras superficiales. Algunas estructuras profundas se han desarrollado en niveles estructurales diferentes, en las rocas metamórficas.

IV.2.1. Fallas.

Con las nuevas investigaciones sobre tectónica se habla de niveles estructurales superior, medio e inferior los cuales se caracterizan por un mismo mecanismo de deformación. Hemos creído conveniente aplicar estos conceptos en nuestra investigación de la cuenca del río Ovejas.

Por lo que se conoce sobre la cordillera Central sabemos que las rocas que la constituyen fueron sometidas a esfuerzos compresionales habiendo sufrido rompimiento, el cual se manifiesta por las fallas, siendo el mecanismo que ha actuado el cizallamiento (Mattauer, M., 1.973) el cual caracteriza al nivel estructural superior aunque por razones litológicas pueden aparecer en los niveles medios e inferior.

Las fallas de mayor interés en el área estudiada se presentan hacia el extremo oriental (planchas No. 1 y 3) y occidental (planchas 2 y 4).

N.2.1.1 Falla de Jambaló.

Que es la falla más oriental observada en el área, pasa cerca de la población de Jambaló con una dirección aproximada N-S, afecta los esquistos del Grupo de Cajamarca, su extensión en el área es corta pues solo llega hasta el norte de la población de Silvia donde se pierde enmascarada por las rocas volcánicas. Con la falla se presentan asociadas otras fallas de menor importancia fuera del área. La falla parece continuar hacia el norte donde se une a las fallas de Plan de Zúñiga y Granadillo, las cuales po-

drían ser la continuación de la falla oriental estudiada por (Cucalón, I., 1.969), en el Departamento del Valle donde forma un sistema constituido por varias fallas las cuales podrían corresponder al sistema de la falla de Romeral (Grosse, E., 1.926).

M.2.1.2 Falla de Granadillo.

Localizada al occidente de la falla de Jambaló entre el caserío de Granadillo y la población de Caldono, pone en contacto los esquistos con las rocas volcánicas. Su longitud en el área es de unos 20 kilómetros, con una dirección Noroeste-Suroeste. Se continúa hacia el sur, hasta cerca de la población de Pueblo Nuevo donde se pierde enmascarada por las rocas volcánicas (ver plancha No.2).

Por sus características podría tratarse de una falla inversa formada en la fase de compresión y podría estar asociada al sistema de Romeral.

M.2.1.3 Falla de Plan de Zúñiga.

Paralela a la de Granadillo, su treza se la observó muy bien al oriente del caserío de Plan de Zúñiga (plancha No. 2). Afecta a las rocas volcánicas en una extensión de 15 Kms. en el área de estudio. Tiene una dirección general de NE-SW terminando hacia el sur cerca a la población de Caldono, enmascarada por rocas volcánicas. Se continúa hacia el norte, donde parece formar parte del sistema - Romeral.

IV.2.1.4 Falla de Guaitalá.

Esta falla transversal a las anteriores pone en contacto los esquistos del Grupo de Cajamarca y las rocas del Grupo Dolerítico con las rocas volcánicas, su dirección general es oeste-este, hasta encontrar la falla de Plan de Zúñiga, donde se pierde para continuar al oeste del caserío de Pioyá con dirección hacia el sur, perdiéndose cerca al caserío de Pioyá.

IV.2.1.5 Falla de Quichayá.

Es una falla transversal la cual afecta las rocas volcánicas, en una extensión comprendida entre la falla de Pioyá al oeste y la falla de Jambaló al este.

IV.2.1.6 Falla de Piendamó.

Con una dirección norte-sur, se extiende por 12 kilómetros entre el sur de Piendamó y el noroeste del caserío Siberia, donde se pierde enmascarada por sedimentos recientes. Se caracteriza por marcar el cambio de pendiente brusco de los cerros formados por las rocas volcánicas y los sedimentos de la formación Popayán los cuales en algunos sectores la enmascaran.

IV.2.1.7 Falla del río Cauca.

Al occidente de la cuenca hay una falla que en algunos sectores controla al río Cauca, poniendo en contacto rocas del Grupo del Cauca con rocas de edad cretácea. Hacia

el norte cerca a la población de Suárez, está enmascarada^o por la formación Popayán (ver plancha No. 1). Localmente la hemos llamado falla del río Cauca, usando la misma nomenclatura de Orrego, A. (1.975). pero creemos que regionalmente corresponde al sistema de la falla de Cali descrito por Cucalón, I., (1.969).

Se observaron algunas fallas menores asociadas a las zonas de intrusiones, como las cartografiadas en el cerro de Santa Rosa, en el alto de Santa Ana y en el cerro La Chapa.

En las rocas volcánicas y en los sedimentos de la formación Popayán se observaron alineamientos con diferentes direcciones los cuales controlan el drenaje.

IV.2.2 PLIEGUES.

Cuando las rocas adquieren cierta ductibilidad, se pueden deformar sin romperse formando lo que llamamos pliegues, los cuales los podemos dividir en pliegues de plegamiento simple y los de un estado más evolucionado, que caracterizan al nivel estructural medio.

Dentro del primer caso o sea el de plegamiento simple solo tenemos el caso del:

IV.2.2.1 Sinclinal del Turco.-

Situado al oriente del caserío del Turco, tiene una dirección el eje de pliegue noreste-sureste. Las capas con inclinaciones suaves entre 20° y 40° . El espesor de las capas no ha sido afectado, observándose deformación -

solo en la charnela que da origen a un pliegue isópaco, en el cual el mecanismo que los forma es la flexión (plancha No. 2).

Hacia el noroeste del área tenemos esta clase de pliegues los cuales están en gran parte enmascarados por los sedimentos de la formación Popayán.

Hacia el oriente del área se observó un estado más evolutivo en la deformación de las rocas, lo que ha provocado la transformación de los elementos de las rocas debido al aplastamiento y produciendo una anisotropía de origen mecánico que es la esquistosidad, formándose los esquistos que constituyen parte del grupo de Cajamarca, los cuales han sufrido una fuerte deformación especialmente los observados cerca a la población de Caldono donde se los observa con muchos micropliegues con ejes de dirección noroeste-noreste y microfracturas (ver fotografía No.). En general se han desarrollado en esta parte de la cordillera de tipo anisópacos (Mattauer, M., 1.973) características de un nivel estructural inferior.

Como la mayor parte del área se le encuentra enmascarada por las rocas volcánicas, son muy pocos los afloramientos de los esquistos en la parte central del área, solo se observan al oriente de la cuenca del río Ovejas.

V. GEOLOGIA DE INGENIERIA.

Existiendo una íntima relación entre la litología propia de cada una de las formaciones aflorantes en el área con la geomorfología derivada de estas mismas, desde el punto de vista ingeniero-geológico es posible definir varias zonas que a su vez se relacionan íntimamente con los factores anotados anteriormente, de los cuales depende, en asocio de otros de carácter local, el grado de estabilidad natural.

Es necesario adoptar un sistema de nomenclatura particular para efecto de clasificar geotécnicamente el área en atención a que, en algunos casos, dentro de una formación crono-estratigráfica existen diferencias litológicas primarias o secundarias que imprimen características estructurales de las cuales se derivan propiedades mecánicas especiales.

En este orden de ideas se diferencian las siguientes unidades geotécnicas:

- 1- La parte superior de la formación Popayán.
- 2- La parte media y baja de esta misma formación.
- 3- Rocas volcánicas.
- 4- Rocas metamórficas.
- 5- Depósitos recientes (coluvios y aluviones).

Para cada una de estas unidades se hará una descripción de sus materiales constitutivos y sus características geotécnicas. Especial énfasis se hará en la parte superior de la formación Popayán por ocupar gran parte del

área y por ser suelos de tipo residual con características geotécnicas especiales poco tratados en la literatura correspondiente. Además, en estudios hechos en zonas aledañas por Gemco Ltda. se han conocido índices mecánicos importantes cuyos valores son extrapolables a la zona de interés.

V.1 Parte superior de la formación Popayán.

La morfología característica de esta unidad es la de colinas suaves de elevación media separadas por pequeños valles de origen aluvial. El material constitutivo predominante los forman limos y arcillas de plasticidad media alta a muy alta provenientes de la meteorización "in situ" de cenizas y aglomerados volcánicos depositados en capas sucesivas.

V.1.1 Características geotécnicas de los materiales.

Propiedades generales

- a) Materiales amorfos y alófanos: Son suelos de estructura amorfa o semicristalina que poseen una alta capacidad de retención de humedad con resistencias media a baja. La permeabilidad "in situ" puede estimarse entre 10^{-6} a 10^{-8} cm./sg. Poseen altos valores de límite líquido (mayores de 80) y generalmente clasifican como MH en la carta de plasticidad. Son materiales de difícil manejo tanto en excavaciones como en rellenos pues poseen una alta sensibilidad al remoldeo y baja reposición tixotrópica.

- b) Haloisita hidratada ($4 H_2O$).- De estructura cristalina con partícula tubulares que tienen gran capacidad de retención de agua. Límite líquido de medio alto a muy alto. Son suelos expansivos y de permeabilidad media. Resistencia baja, frágil y por tanto una vez se produce una falla la resistencia disminuye ostensiblemente.
- c) Matahaloisita ($2 H_2O$).- Estructura cristalina con partículas tubulares a semiplanares y por tanto con capacidad de retención de agua de media a baja. No son suelos expansivos. Límite líquido medio a medio alto. Resistencia de media a alta lo mismo que la permeabilidad. Fragilidad menor que para los suelos anteriores.
- d) Caolinita.- Es el más estable de los minerales arcillosos respecto a la alteración. Posee estructura cristalina de láminas exagonales, capacidad de retención de agua y permeabilidad bajas, límite líquido medio a bajo. La expansibilidad baja a nula y resistencia media. Fragilidad media a baja.
- e) Productos gibsíticos y bauxíticos.- Materiales permeables de baja plasticidad, compresibilidad y expansibilidad; límite líquido de bajo a medio. Resistencia media alta a muy alta.
- f) Veremiculita.- Arcilla 2: 1 expansiva, altos límites de Atterburg, baja resistencia y permeabilidad. Alta capacidad de retención de agua.

Las características generales de los suelos anotados anteriormente deben tomarse tan solo como una guía si se tiene en cuenta que el proceso de alteración no es está-

tico y por consiguiente el resultado será una mezcla de los productos descritos lo cual conduce a una variación de sus características en forma gradual dependiente del predominio de un material sobre los otros.

Como se anotan al principio del capítulo, en trabajos anteriores realizados por Gemco Ltda. sobre esta misma formación, se han conocido índices mecánicos que son interesantes de conocer y se consideran extrapolables dadas las similitudes encontradas.

Se utilizará como criterio de agrupación el del límite líquido de acuerdo a la siguiente tabla (CRAMSA, 1.975).

- Grupo I : Límite líquido mayor de 115
- Grupo II : Límite líquido entre 85 y 115
- Grupo III : Límite líquido entre 65 y 85
- Grupo IV : Límite líquido entre 45 y 65
- Grupo V : Límite líquido entre 20 y 45
- Grupo VI : Límite líquido inferior de 20 o NL.

En general en todos los ensayos se ha observado que el límite líquido decrece con la profundidad y existe también alguna tendencia a descender con la altura sobre el nivel del mar.

La variación, utilizando el valor promedio hasta una profundidad de 7.5 mts., ha indicado dos tipos principales de suelos: Uno que varía del grupo II al IV y otro del grupo V.

El análisis de los resultados de los límites de Atterberg indica para estos suelos un índice de plasticidad dado por:

$$IP = 0.47 (LL - 4) (\pm 7).$$

Las coloraciones amarilla a pardo amarillenta indican la presencia de hidróxidos ferricos, amorfos, septizados (amarillos) y floculandos (pardos) los cuales bajo calentamiento pasan a goetita (pardo rojiza) y ematita (color claro), materiales que pueden producir la aglomeración del suelo en el proceso de secado. Por esta razón, debe tenerse cuidado al determinar los porcentajes de finos - (fracción menor de tamiz No. 200). Este porcentaje tiende a aumentar con la profundidad y está directamente asociado al grado de intemperismo y/o lixiviación a que han estado sometidos los materiales.

Los valores de peso específico de sólidos (Gs) presentan variaciones entre 2.6 y 2.8. Se observan mayores en las partes bajas de la topografía. Los pesos específicos altos pueden asociarse con mayor presencia de compuestos de hierro.

La humedad natural, la cual debe variar en el transcurso del año, se observa un poco mayor en la parte superior del perfil, pero de unos 2 a 4 mts. hacia abajo permanece relativamente constante. La saturación, lógicamente, tiende a crecer en profundidad.

Se observaron suelos colapsibles en la parte superior del perfil. No obstante, para obras de ingeniería, debe investigarse detalladamente este aspecto en la profundidad.

Igualmente se observa gran fragilidad (índice de fragilidad de 0.5 a 0.95.) Además, las deformaciones a la falla no drenada son muy pequeñas (del 1 al 2%). Esto -

indica que no deben permitirse fallas en estos materiales pues con una escasa deformación se puede llegar a la ruptura. Luego de ésta la resistencia puede reducirse irreversiblemente hasta en un 95%. Es necesario entonces trabajar con factores de seguridad algo superiores a los corrientes ya que las medidas de reparación pueden ser muy costosas o aún imposibles.

V.1.2 Condiciones del agua subterránea.

Por ser las capas superiores de los suelos alterados bastante permeables, las condiciones de drenaje subsuperficial son predominantemente buenas.

No obstante, el flujo del agua subterránea está afectado en profundidad por la presencia de aglomerados volcánicos o por pequeñas masas de rocas con un grado menor de alteración. Por esta causa, el nivel freático en las partes altas se encuentra profundo (más de 10 mts.) y la descarga a los cauces y valles debe hacerse a cargas o gradientes hidráulicos no muy altos.

Esto hace presumir que gran parte del flujo subterráneo se hace hacia la zona de transición entre los materiales alterados permeables y los materiales inalterados impermeables.

V.1.3 Degradación de taludes.

Se observan muy pocos movimientos naturales de los taludes dentro de esta unidad, razón por la cual ha sido clasificada como "muy estable."

En los taludes artificiales de las carreteras existentes los deslizamientos y derrumbes son en su mayoría de tipo tralacional retrogresivo y están controlados - por la altura e inclinación del talud y las condiciones del agua subterránea.

Las superficies de fallas generalmente se infiere que son poco profundas y no necesariamente circulares, aunque probablemente curvas o compuestas.

V.2 Parte media y baja de la formación Popayán.

Aparecen en una región abrupta con escarpes fuertes y altos. La conformación tubular de las capas tobáceas - duras intercaladas con mantos de brechas y cenizas volcánicas, imprimen al conjunto un aspecto masivo y de - gran estabilidad.

Los materiales constitutivos, al igual que las de la unidad superior, provienen de erupciones volcánicas depositados en ambientes hídricos.

El conjunto tiene un grado de compacidad de alto a muy alto y no existe una gradación acentuada de tamaños con la profundidad.

V.2.1 Características Geotécnicas de los materiales.

Debido a la gran dureza de sus materiales constitutivos, esta unidad posee excelentes características desde el - punto de vista geotécnico: Altas resistencias al esfuerzo corante, compresibilidad y expansividad muy bajas o nulas, plasticidad baja a nula, permeabilidad de baja a

muy baja, ausencia casi total de fisuración y por consiguiente relativamente homogéneo, excepto por las diferencias de compacidad y las anisotropías derivadas de la estratificación.

La debilidad del grupo radica en la alta susceptibilidad a la meteorización por medio de la cual liberan su compacidad y otras de sus características favorables.- La alterabilidad es inversamente proporcional al tamaño del fragmento y al grado de compacidad original del conjunto.

El grado de permeabilidad, que incide en una mayor penetración del agua, varía también en forma inversa con la compactación. La secuencia del intemperismo y los materiales que de él se derivan es la misma explicada para la unidad superior.

V.2.2. Condiciones del agua subterránea

Considerando la naturaleza misma de las rocas y su bajo grado de permeabilidad, es de esperar la presencia de agua subterránea dentro del contacto gradacional entre la zona de alteración y la roca inalterada. Alguna importancia podría tener el agua de fisuras no obstante ser escasa la presencia de estas por la ausencia de tectonismo.

De mayor importancia es la esorrentía superficial si se tiene en cuenta la velocidad que alcanza el agua debido a lo pronunciado de la pendiente y las consecuencias inmediatas por su capacidad de lixiviación y arrastre de los materiales alterados.

V.2.3 Degradación de taludes.

Aun siendo considerablemente duros los materiales de este grupo, se presentan valles profundos lo cual indica claramente que la rate de formación de los productos de alteración y su anterior protección por la vegetación es inferior a la rate de erosión del agua de escorrentía superficial.

Se anotan las siguientes observaciones hechas durante la cuantificación del campo.

- 1- Las paredes del cañón varían en su ángulo de pendiente siendo a veces mayor en una margen que en la otra. Se nota que en superficie los materiales más resistentes y menos alterados corresponden con los taludes más empinados.
- 2- En las partes altas se observa la siguiente secuencia de degradación.
 - a) Inicialmente el talud aparece rizando, con escasa vegetación predominantemente de pastos. Esto indica una escasa profundidad de meteorización. La infiltración del agua continúa y así mismo el proceso de alteración.
 - b) En la siguiente etapa la cubierta vegetal no es uniforme, presentándose más abundante en algunos sitios que en otros. Existe entonces un progreso diferencial de alteración hacia la profundidad. La masa alterada aún no tiene suficiente volumen o no ha alcanzado el grado de saturación para iniciar el movimiento definitivo. Sólo se observan pequeños desprendimientos.

- c) La acción de meteorización continúa. Por los pequeños desprendimientos anteriores el agua penetra con mayor facilidad, alcanzando cierto punto crítico. - Una masa de magnitud compatible con la profundidad de meteorización, el grado de saturación y la pendiente del talud, inicia su desplazamiento gravitacional, posiblemente en una superficie curva. La parte inferior se abomba y en la parte superior aparece una superficie de despegue. En la zona media e inferior se incrementa la vegetación.
- d) Favorecida por la pendiente suave inmediatamente inferior a la grieta, la saturación aumenta. La rata de movimiento aumenta y se presenta desprendimiento total de la corona. El cuerpo del derrumbe se desliza talud abajo dando origen a coluvios o siendo arrastrado por el río.
- e) Una vez que se produce el derrumbe queda una cicatriz sobre la cual la meteorización actúa con mayor rapidez gracias a las condiciones más favorables de pendiente.

En la parte donde la superficie cambia de dirección se produce un punto de concentración de esfuerzos superiores a los existentes con anterioridad a la cicatriz. Esto puede conducir a la degradación retrogresiva del talud hasta encontrar un material más duro.

Este cuadro es solamente un esquema simplificado pues en los cañones se observan todas las etapas con diferentes intensidades y superposición de efectos. Debe tenerse en cuenta el efecto estabilizante de la vegeta-

ción y también la escorrentía y su acción erosiva superficial. Cabe anotar también la posibilidad de que el ciclo sea mantenido por el río al arrastrar permanentemente los materiales derrumbados.

V.3 Rocas volcánicas e ígneas.

Prácticamente el comportamiento de las rocas separadas en el capítulo de geología general en dos unidades diferentes, desde el punto de vista ingeniero-geológico es similar, existiendo diferencias de escala tan pequeña que no alcanzan a ser tratados en estudios del alcance del presente. En consecuencia serán tratados conjuntamente considerándose válidos para ellas las propiedades índices que se anotan.

V.3.1 Características geotécnicas de los materiales.

Se empleará la clasificación modificada de Deere y Miller¹ para las rocas intactas, entendiéndose como tal aquella de la cual pueden tomarse muestras para ensayo de laboratorio, no presentando características estructurales de gran escala como diaclasas, planos de estratificación, fracturas y zonas milonitizadas.

La clasificación se basa en dos propiedades importantes de la roca: La resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad, teniéndose las siguientes categorías atendiendo a estos dos parámetros.

a) De acuerdo a la resistencia.

| <u>Clase</u> | <u>Descripción</u> | <u>Resistencia (kg/cm²)</u> |
|--------------|----------------------|--|
| A | Resistencia muy alta | > 2.250 |
| B | Resistencia alta | 1.120 - 2.250 |

| <u>Clase</u> | <u>Descripción</u> | <u>Resistencia (Kg/cm²)</u> |
|--------------|----------------------|--|
| C | Resistencia media | 560-1.120 |
| D | Resistencia baja | 280-560 |
| E | Resistencia muy baja | <280 |

b) De acuerdo al módulo relativo:

| <u>Clase</u> | <u>Descripción</u> | <u>Módulo relativo</u> |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| H | Elevado módulo relativo | >500 |
| M | Módulo relativo medio | 200-500 |
| L | Módulo relativo bajo | <200 |

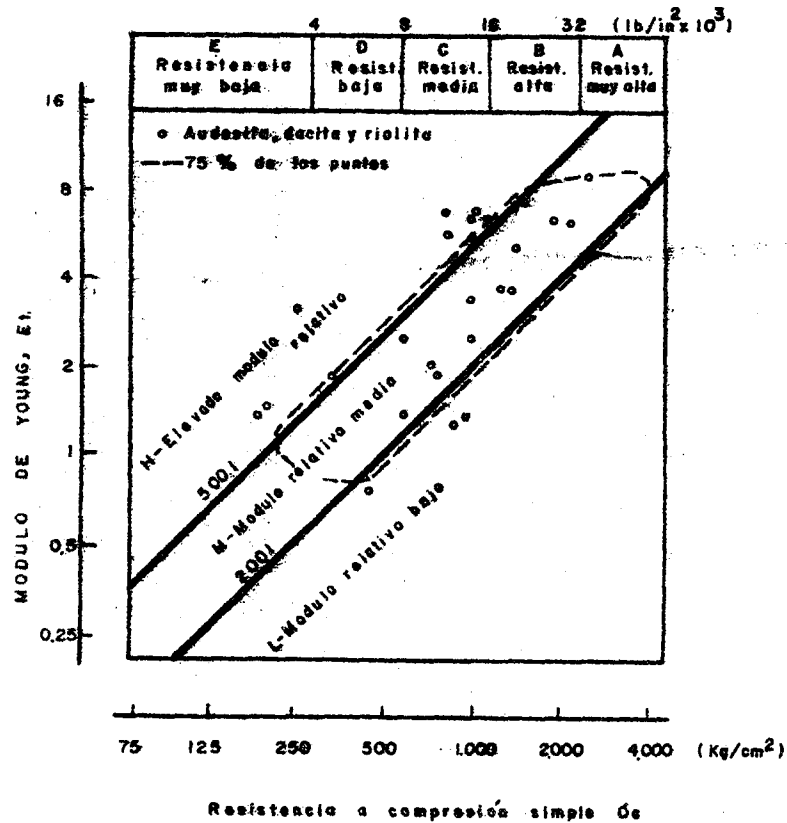
NOTA : El módulo empleado (módulo relativo) es el módulo tangente correspondiente a un nivel tensional igual al 50% de la carga de rotura.

La rocas se clasifican según su resistencia y módulo relativo como AM, BL, CM, etc.

Para tener una idea de las características mecánicas de estas rocas, se presentan en el gráfico No. 1 la clasificación de ellas con respecto a los dos parámetros anotados. Este gráfico corresponde a 70 muestras ensayadas por varios investigadores. Como era de esperar, los resultados abarcan una amplia gama de valores debido a la variación en la mineralogía, la porosidad, el tamaño del grano y la estructura de cristalización. La clasificación propuesta se considera útil y manejable, advirtiéndose que también se han considerado la mineralogía, textura, estructura y dirección de anisotropía de la roca.

V.3.2 Condiciones del agua subterránea.

La naturaleza masiva de estas rocas y su baja porosidad



Clasificación de rocas intactas andesita, dacita y otras rocas volcánicas (70 muestras, 20 emplazamientos, varios investigadores)⁴

E₁ = Modulo tangente para el 50 % de la carga de rotura.

La roca se clasifica como AM, BH, BL, etc.

GRAFICO No. 1

y permeabilidad, reducen la importancia del agua subterránea a alguna circulación intersticial por permeabilidad secundaria debido a fracturamiento.

V.3.3 Degradación de taludes.

Es operante en las zonas de alteración. En estas condiciones puede asimilarse a la correspondiente a la parte superior de la formación Popayán.

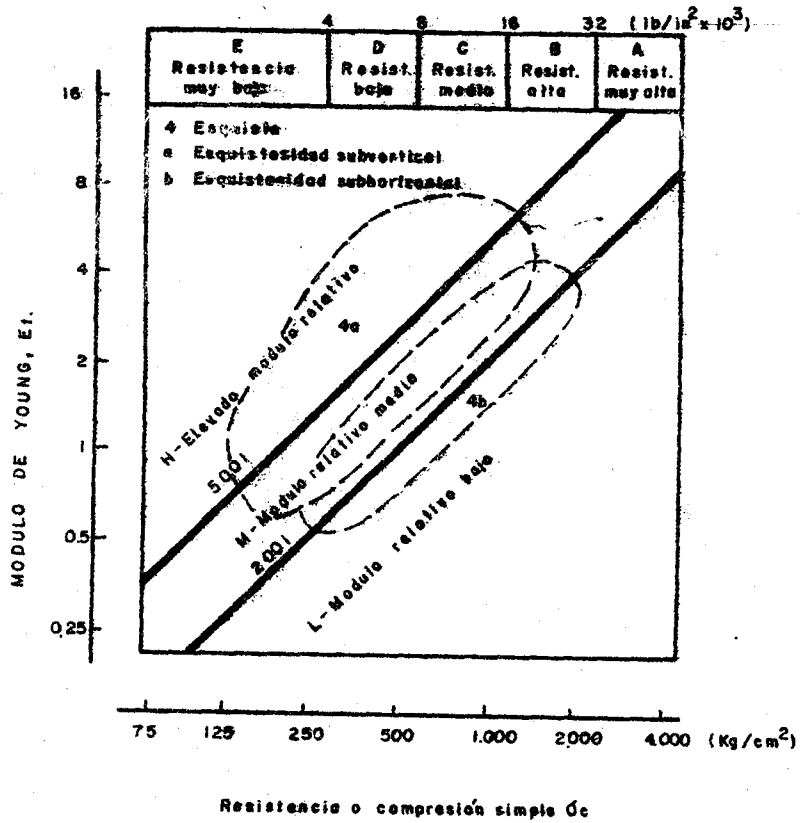
V.4 Rocas metamórficas.

Estadísticamente las rocas metamórficas son las que presentan las propiedades más desfavorables desde el punto de vista ingeniero-geológico. Esta característica radica, entre otros aspectos, en su alta fragilidad, bajas resistencias y módulo relativo y su facilidad de alteración. A estos parámetros se suma el origen mismo de la roca, en el caso particular mecánico, lo cual involucra, de hecho, alto grado de deformación y fracturamiento, permeabilidad incrementada y pérdida de la resistencia propia del material primario. Además, la estructura lamibar hidrófila con presencia de minerales micáceos que producen materiales saponificables por la alteración.

V.4.1 Características geotécnicas.

Las características son claramente expuestas en el gráfico No. 2.

La roca clasificada como MD a LD, clasificación que se ve mermada por las anisotropías que imprime la foliación delgada y el fracturamiento.



Clasificación de rocas intactas-resumen de rocas metamórficas (167 muestras, 75 % de los puntos)⁴

E_i = Modulo tangente para el 50 % de la carga de rotura.
La roca se clasifica como AM, BH, BL, etc.

GRAFICO No 2

V.4.2 Condiciones del agua subterránea.

El alto grado de fracturamiento imprime a esta unidad alta permeabilidad no obstante ser impermeable la roca original.

Esta situación no modifica sustancialmente la situación del agua subterránea regionalmente si se tiene en cuenta que los esquistos subyacen un grupo donde la percolación del agua superficial se limita a la capa de máxima alteración. Se exceptúa, naturalmente, el caso en que la roca se encuentra aflorando y por consiguiente la infiltración se efectúa directamente a través de las fisuras. Aquí existe una tabla de agua colgada cuya base se localiza en la zona de menor fracturamiento.

V.4.3 Degradación de taludes.

Se presentan dos situaciones diferentes:

La operante en la zona de roca alterada la cual es la más intensa de todas las unidades litológicas presentes por la facilidad de alteración de sus materiales constituyentes.

La presente es la roca con bajo grado de alteración pero fracturada intensamente.

El primer caso se puede asimilar a la parte superior de la formación Popayán agregando un mayor efecto nocivo de la saturación y la circunstancia de ocurrencia de fenómenos de movimientos gravitacionales en condiciones de poca humedad debido a la presencia de minerales de estructura laminar.

La degradación en la zona de fracturamiento es primordialmente de tipo desprendimiento y caída de bloques. Su mayor intensidad está circunscrita a pendientes escarpadas y a los valles de ríos y quebradas de cauces tortuosos donde la acción de zapamiento está presente.

V.5 Casos particulares de inestabilidad.

Dentro de la zona estudiada se localizaron algunos casos de estabilidad actual entre los cuales, por su magnitud e incidencia inmediata, vale la pena considerar lo siguiente .

1- Localización : Camino Quinchayá-Pueblo Nuevo
Quebrada El Palmar.

Deslizamiento de tipo gravitacional rotacional de ocurrencia en arcillas residuales sobre material de acarreo.

Longitud aproximada en la base 50 metros.

Altura de la corona 25 metros.

Como causa evidente del fenómeno se puede anotar la sobresaturación de los materiales arcillosos lo cual trae como consecuencia aumento en la presión de poros y disminución en la cohesión.

Como factor contribuyente principal se atribuye la acción de zapamiento del agua de la quebrada sobre las paredes del valle y la remoción y acarreo de los materiales derrumbados de la base,

Como medida correctiva inmediata se aconseja la protección del valle contra la acción erosiva de las aguas. Un muro de mampostería gavionada con relleno de material impermeable compactado es operante y de fácil construc-



Fotografía No. 10 Zona de inestabilidad en la banca
de la carretera Morales-El Hato -
K. 6 + 800



Fotografía No. 15 Zona de inestabilidad carretera
Pueblo Nuevo-Caldono K. 9 + 950.

ción. Como material de relleno de los gaviones se pueden utilizar los aluviones del río y la quebrada las cuales son abundantes.

Otra medida que se debe adoptar, una vez protegida la orilla, es la reforestación de la zona de cicatrices producidas por el movimiento.

2. Localización : Km. 9+950 Carretera Caldono-Pueblo Nuevo Derrumbe gravitacional del talud superior de la vpiá-Cenizas alteradas y conglomerados volcánicos. (Foto No.15) Longitud de la base 30 metros. Altura de la corona: 30 metros.

Como causa se determinó la humedad alta de los materiales y su baja cohesión.

El factor contribuyente inmediato es el corte de la carretera, sobrepasando seguramente la altura crítica y el ángulo de tolerancia del material.

Teniendo en cuenta la poca magnitud del movimiento y que la roca fresca no se encuentra muy profunda, se recomienda la construcción de un muro de contención y un filtro de piedra por debajo de la cuneta anterior.

Una vez logrado el ángulo de reposo de los materiales del talud, se recomienda reforestar.

3. Localización : Carretera Usenda-Siberia (sin abscisado).
Morales-El Hato.
Presencia de un deslizamiento de la banca de la carretera en una longitud aproximada de 60 metros (Fotografía No. 5, y 10)

El material deslizado lo componen arcillas residuales de color amarillo con valores de cohesión entre .70 y



Fotografía No. 8 Zona de inestabilidad en la carretera
Pescador-Buenos Aires pasando el río
Ovejas.

1.0 Kg/cm². y arcillas de color rosado con menor cohesión (.35-.40 Kg/Cm²).

Existen evidencias de que el problema tiene vigencia antigua por ~~cuanto~~ el corte se ha venido aumentando por derrumbes sucesivos de la banca.

La medida hasta la fecha no ha sido efectiva por haberse omitido otras de carácter complementario como son el confinamiento del talud exterior e interior y la eliminación de las aguas de infiltración, bastante abundantes en el sitio.

Como causas se determinaron la acción combinada de la gravedad y de las aguas de saturación.

El factor contribuyente ha sido, sin lugar a dudas, la construcción misma de la carretera sin haber provisto las obras necesarias de contención y drenaje.

Las medidas correctivas inmediatas son las siguientes:

- a) Muro de pata de 60 metros de longitud y 6 metros de altura (no se incluye la parte subsuperficial).
- b) Sistema de drenaje en la cuneta interior y alcantarilla para recolectar y evacuar las aguas colectadas.

4. Localización: Carretera Pescador-Buenos Aires.
(pasando el río Ovejas.)

Deslizamiento de tipo gravitacional traslacional en arcillas residuales. (Fotografía No.8)

Se anota la presencia de otros movimientos antiguos similares que se han estabilizado naturalmente sin obras correctivas.

Está involucrada la zona más superficial de la capa alterada (1.50 - 2.0 mts.) y la causa es la pendiente pronunciada y el exceso de humedad.

Contribuye parcialmente al movimiento el corte practicado en la construcción de la carretera, localizada en la zona media inferior de la ladera.

No se justifica en este caso la adopción de obras de contención por su alto costo y las posibilidades remotas de éxito. Se deberá esperar la estabilización natural, recomendándose solamente reforestación sobre la superficie que quede expuesta una vez que ocurra el desprendimiento definitivo. Es de esperar su ocurrencia en la próxima estación lluviosa.

V.6 Clasificación geotécnica del área.

Atendiendo a las características anotadas para cada una de las unidades aflorante en el área, es posible hacer una clasificación geotécnica regional la cual deberá tomarse como de carácter preliminar ya que está basada esencialmente en la observación estereoscópica de las fotografías aéreas y un rápido control de superficie.

Exceptuando algunos casos particulares, las áreas son correspondientes con las formaciones geológicas, coincidencia que se debe al hecho de haberse separado primordialmente unidades roca, criterio que se consideró el más acertado para los fines del estudio.

En esta forma, se separan los siguientes rangos de estabilidad, los cuales tienen el significado que se angta:

A- De aspecto estable.

Comprende zonas donde los rasgos de movimientos antiguos y actuales están ausentes.

Las condiciones geológicas son favorables en lo referente a estructuras, asociación litológica y topografía.

Existe cubierta vegetal moderada que permite la observación de los detalles en las fotografías aéreas

B- De inestabilidad potencial.

No se observan rasgos de inestabilidad actual.

Las condiciones geológicas permiten suponer situaciones inducidas de inestabilidad.

Existe algún factor que puede variar las condiciones en un tiempo relativamente corto (zapamiento, erosión, labores agrícolas, obras de ingeniería).

C- De aspecto inestable.

Se observan rasgos de inestabilidad y/o actual.

Las condiciones geológicas suponen situaciones de inestabilidad natural.

D- Muy inestable.

Existen evidencias de inestabilidad actual.

Las condiciones geológicas ofrecen alto grado de inestabilidad.

Los volúmenes de materiales en movimiento no aseguran posibilidades de corrección a costos moderados.

V.7 Conclusiones.

En el aspecto ingeniero-geológico, una vez analizados

los aspectos anotados a través de las discusiones anteriores, se puede concluir.

1- En términos generales, teniendo en cuenta la magnitud del área y las zonas ocupadas por los fenómenos de inestabilidad, la cuenca del río Ovejas, ofrece condiciones especiales de estabilidad.

No obstante la deforestación indiscriminada a la cual ha sido sometida la escasa cubierta vegetal - protege los suelos de los agentes erosivos.

La acción erosiva dominante se restringe de manera primordial a las zonas alta y media de los perfiles de las quebradas afluentes.

2- La observación de las carreteras existentes indica condiciones favorables para este tipo de obras ya que, a pesar de la carencia de obras de drenaje, se mantienen en buen estado de servicio.

3- Por razón del perfil longitudinal tan pronunciado - del río, no se localizan sitios que reúnan condiciones completamente favorables para la construcción de represas. Se han señalado algunos estrechamientos rocosos aptos para el abclaje de la presa en sí pero la capacidad de embalse es bastante limitada. Además, la pendiente pronunciada del río supondría la construcción de presas muy altas a costos elevados.

4- En lo referente a piscifactorías, dada la poca magnitud de las mismas, no existe limitación para su localización desde el punto de vista ingeniero-geológico.

Se deberá tener en cuenta el aspecto de la sedimentación y la contaminación de las aguas por efecto del lavado de la cabuya, labor ésta que se practica casi en la totalidad de las quebradas afluentes.

- 5- Se estima que el cultivo de la cabuya, el cual ha determinado una deforestación intensa, no tiene justificación si se comparan sus efectos nocivos con el mercedado rendimiento económico que tiene en la actualidad.

V.8 Recomendaciones

Se han dado en aparte V.5 recomendaciones específicas para la solución de problemas particulares de inestabilidad.

Debido a la diversidad de fenómenos cuya ocurrencia es de esperar en áreas de magnitud tal como la considerada en este estudio, se ha considerado más conducente dar, en este capítulo, una orientación hacia la investigación de los problemas y elementos de juicio para la aplicación de medidas correctivas por parte de los ingenieros encargados del manejo de la cuenca.

V.8.1 Mapeo de deslizamientos y áreas potenciales de deslizamiento.

El propósito de una investigación sobre deslizamientos, después de su reconocimiento, es determinar las causas y planear las medidas de prevención y corrección. La magnitud del estudio depende del propio daño causado o de la amenaza, los valores, la importancia de la tierra concerniente, el tiempo permitido para el estudio y la

urgencia de las medidas de control o correctivas.

El alcance está determinado por el aspecto económico y por el riesgo actual o potencial planteado por el deslizamiento. La mayoría de los deslizamientos requieren solamente una investigación de tipo reconocimiento más que detallada.

El esbozo de los distintos factores esenciales para cualquier análisis puede ser el siguiente:

- 1- Localización : Estación, abscisa, distancia de un punto conocido. (
- 2- Efecto sobre el tráfico: Vía cerrada, parcialmente cerrada o abierta.
- 3- Tamaño : Límite superficiales; Corona, pie, flancos; límites subterráneos; profundidad máxima de la superficie de ruptura.
- 4- Material: Tipos de suelo y de roca.
- 5- Condiciones del agua.
- 6- Condiciones atmosféricas.
- 7- Evidencias del movimiento.
- 8- Historia de la zona que se produce.

El informe de reconocimiento es una base para determinar si es necesario un informe más detallado antes de tomar una decisión final sobre las medidas correctivas o de control que se han de implantar.

Procedimiento para el mapeo y el informe.

Localización.- Es esencial localizar el deslizamiento de tal manera que no haya dudas respecto a su posición

geográfica.

Métodos de investigación de campo.- Los métodos regulares de plancheta pueden ser empleados para la preparación de mapas planimétricos y para la determinación de puntos de referencia dentro y fuera del área de deslizamiento. Mapas más exactos podrían elaborarse a partir de fotografías aéreas pero por su elevado costo no puede hacerse sino en casos especiales de considerable magnitud.

Para obtener un alto grado de exactitud en el mapeo de deslizamientos, se puede establecer una triangulación sobre terreno estable, fuera del área de deslizamiento. A partir de ésta, se puede establecer una línea base por encima o por debajo de la masa afectada, determinar puntos dentro del área de deslizamiento y chequear periódicamente el movimiento.

El mapa final debe mostrar el propio deslizamiento, el agua y todas las demás condiciones pertinentes, así como los detalles geográficos.

El área que se va a mapear debe ser determinada con cuidado. Debe incluir algo más que el terreno afectado actualmente. La posición del deslizamiento respecto al terreno adyacente y a detalles tales como carretera, ferrocarriles, edificios, puentes, etc. debe señalarse. Un sistema más o menos arbitrario empleado para deslizamientos pequeños consiste en incluir una distancia de más o menos el doble del ancho del deslizamiento a cada lado. Un margen un poco menor se emplea para deslizamientos mayores. La distancia mínima hacia la parte alta, desde la corona, debe extenderse hasta la primera ruptu-

ra de pendiente. Así mismo a partir del pie hacia -
abajo.

Los propios límites del deslizamiento podrían ser ma-
peados primeramente con el objeto de ilustrar sobre su
tamaño y su forma. La nomenclatura del deslizamiento
(corona, cabeza, pie, flancos), deben emplearse para
que la descripción sea clara para todos los lectores
y para que haya cierta uniformidad en el vocabulario
empleado.

Los rasgos internos propios del deslizamiento deben -
incluirse. Estos incluyen escarpes, fracturas, líneas
de flujo y desplazamientos reconocibles de alineamien-
tos superficiales.

Las características de las fracturas y grietas que -
pueden ser incluidas comprenden el rumbo, buzamiento
y elevaciones; desplazamientos verticales y horizon-
tales y cualquier componente de los mismos, incluyen-
do movimientos rotacionales. Estos pueden variar de
una fractura a otra así como individualmente, con el
tiempo, de acuerdo a su ajuste dentro de la masa des-
lizante.

En los materiales más plásticos pueden aparecer seña-
les de flujo junto con las fracturas y grietas cuando
están asociados con materiales más secos. Cuando se
mapean deslizamientos o flujos en potencia o en esta-
do incipiente, deben señalarse tanto la dirección de
la trayectoria como los gradientes de los flujos den-
tro de la masa deslizante o del terreno adyacente.

Se deben señalar los rasgos superficiales que indiquen deformación. Estos incluyen deslineamientos de elementos lineares tales como cercas, líneas de vegetación, diques, caminos, ferrocarriles, tuberías, muros y líneas de conducción eléctrica. Elementos rectangulares deformados tales como edificios también deben señalarse.

Un mapa de superficie y secciones transversales mostrando todos los detalles tanto superficiales como subterráneos del área de deslizamiento son considerablemente importantes.

Las fuentes de agua que se encuentran dentro o cerca del área de deslizamiento, tales como quebradas, pantanos, tuberías, sumideros, canales, represas y estratos permeables, deben reportarse e incluir dentro del mapa. Una infiltración de cualquiera de estos puede ser uno de los factores contribuyentes.

Los materiales que se deslizan deben mapearse. Los suelos podrían ser descritos en términos de la clasificación standard y también atendiendo a su estructura (prismáticos, granulares, densos, etc.). Si es una taca la que se desliza, deben detallarse las características físicas y estructurales, las unidades geológicas cartografiables y los rasgos pertinentes.

Deben reportarse el tiempo atmosférico y la hidrología. Los datos de precipitación y de temperatura son importantes al analizar no solamente los datos cronológicos del movimiento actual sino también la historia de la ladera, factores de igual importancia para llegar a determinar la causa o causas del deslizamiento.

Puesto que los datos de un solo año pueden no ser muy útiles, es mejor recopilar los de varios años. Los datos esenciales a este respecto pueden obtenerse en el Instituto Geográfico y en el Ministerio de Agricultura.

La importancia de los datos hidrológicos para los deslizamientos no deben ser subestimados. Los datos sobre agua subterránea, mostrando las fluctuaciones de la tabla de agua, puede revelar su íntima relación con el deslizamiento. En un gráfico pueden plotearse los datos hidrológicos contra la rata de movimiento.

Investigaciones subterráneas.- Se hacen con el propósito de averiguar las características físicas, geológicas y mineralógicas del material deslizante y podría incluir un estudio de la roca y del suelo adyacente estable, así como la localización de la superficie de ruptura y las condiciones del agua subterránea.

En deslizamientos muy activos generalmente no es posible realizar este tipo de investigación.

Perforaciones, apiques y trincheras son los métodos más usados en la exploración subterránea. Deben hacerse también las pruebas standard de penetración. De estos sistemas debe seleccionarse el más apropiado para cada caso.

Los métodos geofísicos han sido empleados con el propósito de localizar el plano de deslizamiento en muchos casos. El método de resistividad eléctrica ha dado resultados bastante exactos en muchas áreas y se puede considerar como una técnica apropiada para la investigación preliminar en el estudio de deslizamientos tanto

actuales como potenciales. Tanto el método sísmico como el de resistividad se pueden emplear en la determinación de la profundidad a la cual se encuentra la roca firme, el espesor de las capas y las características generales de los suelos y rocas meteorizadas que yacen sobre la roca firme.

Historia de la ladera.- Es uno de los aspectos más importantes en el análisis del terreno con relación a los deslizamientos. Las causas y la mecánica misma de los deslizamientos tienen una relación definitiva con la historia geológica y las características de la ladera. Tanto los cambios naturales como los artificiales que haya sufrido la ladera, deben ser tenidos en cuenta. Tales cambios incluyen aquellos debidos a construcción (excavación o emplazamientos de sobrecargas) y a la hidrología (variaciones atmosféricas y cíclicas en temperatura y precipitación). Esto trae como consecuencia variaciones en la presión hidrostática y de poros y en la posición y rata de movimiento del agua subterránea.

Fotografías.- La importancia de las fotografías aéreas y terrestres no se debe subestimar en el estudio del terreno. Fotografías terrestres anteriores al deslizamiento pueden ser imposibles de tomar en muchos casos, pero en áreas de cortes profundos pueden lograrse durante la etapa de localización o de construcción. Este tipo de fotos son muy convenientes en la ilustración de los efectos anteriores y posteriores. Dos tipos de fotografías terrestres de deslizamientos deben tomarse: Generales, mostrando el área panorámicamente y específicas, mostrando detalles de rasgos particulares del desliza-

miento.

Ensayos de laboratorio. - El control efectivo de deslizamientos, tanto correctivo como preventivo, requiere una investigación de laboratorio de las propiedades físicas de los suelos y rocas en el área afectada. La extensión de tal investigación variará dependiendo de la naturaleza particular del deslizamiento. Puede incluir ensayos rutinarios para la identificación de materiales, resistencia al corte, tipos y cantidad de minerales y grado de meteorización. Se pueden clasificar como ensayos de suelos y ensayos mineralógicos. En algunas investigaciones la sola experiencia puede aportar toda la información necesaria; en otras, donde se desea información cuantitativa, por lo menos se necesita un número nominal de ensayos.

Los ensayos de suelos. Podrían incluir la determinación del contenido natural de humedad, límites líquido y plástico y análisis granulométrico. Estos ensayos de identificación son una ayuda en la estimación del comportamiento del suelo en el campo. La asignación de valores standard de ensayos a los suelos eliminan toda confusión en la interpretación y permiten a los ingenieros que trabajan en áreas diferentes expresarse en términos comunes para todos. La resistencia al corte puede ser determinada por corte directo, compresión triaxial o ensayo de compresión inconfiada.

Ensayos mineralógicos. - También pueden necesitarse. Todos los suelos y rocas son agregados minerales, cada cual con sus propias características químicas y físicas.

Debido a estas características los suelos y rocas - pueden tener una relación positiva respecto a la naturaleza individual del deslizamiento y consecuentemente con el método de tratamiento seleccionado.

Síntesis de la información.

Una vez que los datos esenciales descritos anteriormente se han recopilado para un deslizamiento dado, la información se debe estudiar como un todo para luego relacionar todas las observaciones e investigaciones, lo que permitirá un juicio razonable, a partir del cual se tendrá una visión exacta del fenómeno, sus causas y las posibles medidas correctivas.

V.8.2 Control y corrección de deslizamientos.

Tipos básicos de deslizamientos.- Existen tres tipos de deslizamientos:

Desprendimientos.- Son influenciados por las leyes que gobiernan la caída libre de los cuerpos y por la meteorización química y mecánica.

Deslizamientos propiamente dichos.- Son fallas dentro de materiales elásticos o semi-elásticos.

Flujos.- Siguen los principios del flujo viscoso de los materiales fluidos y semi-fluidos.

El control y prevención de deslizamientos está regido por los principios básicos: a) Reducción de las fuerzas motivadoras y b) Aumento de la fuerza resistente. Por cuanto los mismos principios básicos se emplean tanto para -

la corrección de deslizamientos como de flujos, en la presente discusión se mencionará sólomente lo relativo a deslizamientos. El aspecto económico del trabajo de control o prevención tiene un gran valor sobre la factibilidad en la realización del método escogido. Muy frecuentemente el método más positivo de tratamiento no puede ser aplicado debido a su elevado costo y a la limitación de los fondos disponibles para el efecto.

Construcción de muros de contención.- Es aplicable donde, por un corte muy vertical en roca, se ha desarrollado un voladizo. Se debe dar soporte al voladizo mediante la construcción de un muro o de un revestimiento de concreto, ladrillo o mampostería. Este método es usado especialmente en pendientes desarrolladas en roca fracturada y donde capas estratificadas de mediano a gran espesor descansan sobre roca suelta o fácilmente erodable. Esta técnica está limitada generalmente a áreas pequeñas.

Anclaje de rocas. Es un método relativamente barato para asegurar lajas y bloques en la superficie de un corte empinado y en taludes formados por rocas laminadas por estratificación o por fallas o fracturas y que están inclinadas hacia la excavación. Sólomente pueden emplearse en rocas sólidas, firmes y bien litificadas. No es posible emplearlo en arcillas o rocas finamente estratificadas, foliadas, altamente esquistasas o con una meteorización profunda ni tampoco en rocas granulares pobremente consolidadas.

Reducción y escalonamiento de los taludes.- Este sistema es particularmente efectivo donde capas masivas de roca dura descansan sobre otras con estratificación delgada o sobre materiales fácilmente alterables.

Drenaje superficial.- Las zanjas de coronación son convenientes en aquellos sitios donde se espera caída de tierra o de roca. Las cunetas revestidas y las alcantarillas, con caja de salida, pueden ser instaladas donde sea necesario. Sin embargo tales canales son generalmente localizados sin tener en cuenta que el agua infiltrada puede pasar por debajo de ellos y socavarlos. Cuando existen tales condiciones de infiltración, deben construirse avenamientos de tipo sólido tales como los de concreto. El avenamiento debe revestirse con papel a prueba de agua e impregnarse de una cubierta bituminosa, como una medida provisional anterior a la definitiva.

Excavación.- En parte o total, es generalmente el primer remedio aplicado después de que un deslizamiento se ha presentado. La remoción de los materiales deslizados en el pie del deslizamiento generalmente agrava el problema. Consecuencialmente, este paso debe ser analizado cuidadosamente en conjunto con medidas alternativas o adicionales.

Usualmente, donde sea posible, se debe intentar la remoción de una parte de los materiales de la cabeza del deslizamiento con el objeto de reducir la fuerza motivadora.

Algunos deslizamientos son tan grandes que puede no ser económicamente factible remover suficiente material para poder dar una solución aceptable. La reducción de los taludes, quizás el empleo de un talud compuesto y la construcción de escalones sean remedios exitosos. Estos dos métodos se recomiendan también como medidas de prevención. Ambos conducen a la reducción de la fuerza motivadora.

Drenaje superficial.- Las técnicas de excavación son generalmente empleadas en conjunto con varias formas de drenaje superficial o subterráneo, o ambos. En el caso de un deslizamiento relativamente pequeño, donde las fuerzas motivadoras no son muy grandes, escalonar la masa en movimiento, cubrir la superficie con una capa de roca o de concreto y construir capas permeables y drenajes puede tener éxito.

Las zanjas superficiales y en circunferencia alrededor de la corona del deslizamiento, se emplean casi siempre. Tales zanjas generalmente van acompañadas de la reconstrucción del talud y el relleno de grietas incluyendo fracturas y fallas. Tales medidas casi invariablemente requieren un mantenimiento continuo, por consiguiente sólo ayudan a controlarse el deslizamiento pero no lo detienen.

Subdrenaje.- Los métodos de subdrenaje varían en clase y en efectividad, dependiendo en gran parte del material que va ser drenado.

Drenajes horizontales.- Con tubería perforada (hidrotaladros) han sido empleados con bastante éxito. Son efec

tivos donde el suelo tiene una permeabilidad relativamente alta, es semi-granular a granular y está pobremente cementado. Su aplicación usual en suelos arcillosos es altamente especulativa, pero si se intenta, deben ser llenado con arena con el objeto de filtrar las partículas de la arcilla y mantener así el tubo en condiciones de drenar.

Los canales de intercepción.- En deslizamientos o en áreas potenciales de deslizamiento, con suelo cohesivos arcillosos ha sido una de las técnicas más exitosas. Estos utilizan un filtro granular en combinación con una tubería perforada. Cuando se localizan por encima de la corona del deslizamiento su objeto es interceptar el horizonte o la zona de aguas subterráneas o de infiltración. Se presume, naturalmente, que dicho horizonte ha sido localizado previamente mediante perforaciones. Práctica y económicamente pueden construirse canales hasta de una profundidad de 5 a 6 metros. Cuando la zona de infiltración está demasiado profunda para alcanzarla desde la parte superior de la corona del deslizamiento, es posible emplear un canal provisional construido a través del material deslizado. La técnica enunciada anteriormente ha sido exitosa en la solución de deslizamientos en suelos arcillo-arenosos. Existen diferencias de opinión respecto a la posición de la tubería perforada dentro del canal de intercepción. El fondo del canal puede estar unas pocas pulgadas por debajo del plano por encima del cual circula el agua. El "Standard specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects" (FP-61)

del Bureau of Public Roads habla de una capa de 4 pulgadas de material granular por debajo de la tubería perforada. Algunos veces se ha empleado una capa más delgada o más gruesa, dependiendo de las condiciones locales del terreno. Algunos ingenieros colocan la tubería directamente sobre el terreno natural en el fondo del canal y construyen el filtro alrededor de la tubería.

Se ha comprobado que la tubería de plástico, de gras y metálica, son igualmente efectivas. Sin embargo, la tubería metálica no debe ser empleada si el agua que se va a drenar tiene un PH por debajo de 5. Preferiblemente la tubería debe ser perforada sólomente en la parte inferior.

Drenes verticales de arena e hidrotaladros.- Se emplean frecuentemente para acelerar la consolidación de suelos compresibles sobre los cuales se va a construir un relleno o para prevenir una falla de deslizamiento en el suelo de fundación durante la construcción del relleno. Los drenes verticales de arena se hacen generalmente de un diámetro de 12 a 24 pulgadas, son poco espaciados dentro de la red y están conectados por la parte superior por una capa de arena que actúa como la base del relleno. Durante la construcción del relleno y después de ella, el agua comprimida asciende desde el suelo de fundación por los drenes verticales y se desplaza lateralmente a través de la capa de arena, Para conducir el agua lejos del terraplén se colocan desagüaderos.

Los drenes verticales son empleados no sólomente para interceptar el agua dentro de un estrato y evitar un

ascenso de la tabla de agua sino también para conducir el agua hacia abajo a través de material compresible hasta un estrato permeable que conduzca lejos el escape de agua.

Los contrafuertes.- Son empleados para reducir la fuerza motivadora de un deslizamiento. Se usan en asociación de terraplenes y deben ser rellenos de roca, tierra o concreto. Contrafuertes de este tipo han sido empleados para contener taludes. Pueden ser empleados con el propósito de aumentar el peso en el pie de un deslizamiento.

Se pueden construir contrafuertes de piedra triturada u otros materiales que posean una resistencia al esfuerzo cortante mayor que el suelo nativo. Sin embargo, siempre existe el peligro de que el material agregado aumente la fuerza motivadora del deslizamiento.

En muchos casos la efectividad de un contrafuerte se asegura mediante la construcción de obras que faciliten el drenaje.

Pilotes.- Son empleados frecuentemente con el fin de controlar o detener deslizamientos. Comúnmente se hincan tres cuartas partes de la longitud total del pilote. No hay duda de que en algunos casos han sido efectivos, pero en la mayoría no han cumplido su objetivo. Los suelos pueden fluir a través de los intervalos entre los pilotes; son volcados debidos a que las fuerzas del deslizamiento han sido subestimadas, o se desarrolla una superficie de ruptura por debajo de ellos.

Dinamitación.- Frecuentemente se cita como un método favorito antiguamente para retardar y detener un deslizamiento que se mueve sobre una superficie bien definida. Se cree que la ruptura de esta superficie definida aumenta la resistencia a la cizalla. Se ha empleado con relativo éxito en deslizamientos someros - sobre planos rocosos. Cuando las capas situadas por debajo de la superficie de deslizamiento son altamente permeables, el agua que se encuentra dentro de la masa que se desliza y sobre la superficie de deslizamiento puede ser evacuada dentro de este material permeable aumentando consecuentemente la fricción en la masa deslizante y deteniendo el deslizamiento. Existe la posibilidad, naturalmente, de que el empleo de explosivos acelere el movimiento y agrave la situación.

Endurecimiento de la masa deslizante.- Las inyecciones químicas o las lechadas de cemento, mediante las cuales las partículas sueltas dentro de la masa deslizante son cementadas, se han empleado con relativo éxito en piedra y en materiales arenosos o granulares de otra naturaleza para prevenir o detener deslizamientos.

Para su aplicación se requiere una investigación previa de los suelos, bastante detallada. El problema de este método radica en su alto costo y en la inseguridad de que realmente los químicos puedan llegar a mezclarse.

VI. GEOLOGIA APLICADA

La cuenca estudiada no ofrece mayor importancia en lo que se refiere a recursos minerales de explotación económica, con excepción de los depósitos de Bauxita, arcillas caoliniticas y materiales de construcción que fueron los únicos minerales de rendimiento económico encontrados en el área. (Ver mapas de mineralizaciones)

VI.1 Arcillas Caoliniticas.

Estas arcillas se las encuentra al noroeste del caserío de Santa Rosa en el cerro del mismo nombre (Plancha No. 1). Cubren un área de aproximadamente 21 kilómetros de largo por 500 metros de ancho, provienen de la meteorización de las rocas tonalíticas y dacíticas, que al ser atacadas por los agentes denudadores se descomponen formando estos depósitos de arcilla caolinitica blanca por descomposición de la plagioclasa. Se observan con las arcillas pequeñas granos de cuarzo, el cual puede constituir una impureza dependiendo del uso que se le quiera dar a las arcillas.

Las arcillas se las encuentra en el campo a veces cubiertas por la capa vegetal y otras veces por una arcilla algo oxidada de color lila, el espesor de la arcilla caolinitica blanca varía entre 4 y 10 metros. En general la posición en el campo de arriba hacia abajo es como sigue:

- Capa vegetal.
- Arcilla de color amarillo a rosado.



Fotografía No. 9 Horizonte gipsítico en las arcillas
de la Formación Popayán carretera
Morales-El Hato.

- Arcilla caolinítica de color blanco.
- Arcillas rojizas ricas en óxidos de hierro.

VI.1.1 Usos.

Cuando tienen condiciones especiales de plasticidad y - otras características físicas, las hacen aptas para cerámica sanitaria. Las arcillas rojas (ferruginosas), son - aptas para ladrillos.

Otros usos son el de utilización como relleno o extendedor en la fabricación de pinturas y papel, como relleno en cosméticos y como rellenos en la industria farmacológica.

VI.2 Otros depósitos de arcillas.

Se observaron al oeste del cerro de Santa Ana, al sur de Cerro Catalina, al norte del caserío Pescador y al sureste de la población de Mondomo (ver plancha No.1). Estos - depósitos son pequeños y predominan las arcillas amarillas a lilas aptas para la fabricación de ladrillos.

VI.3 Arcillas Bauxíticas.

Cubren un área que comprende gran parte del municipio de Morales (Plancha 1, 3 y 4), los depósitos bauxíticos son de origen residual provenientes principalmente de la meteorización de las rocas de la formación Popayán, que al ser sometidas al intemperismo químico da como resultado una concentración de elementos tales como: Los aluminosilicatos. Los cuales por procesos químicos y de disolu-

ción y en presencia del anhídrido carbónico y agua, producen finalmente la bauxita.

El depósito se presenta en forma de lentes con bordes delgados, ~~paralelos~~ a la morfología existente del suelo, la cual se caracteriza por presentar cerros con pendientes de 5° a 25°, estos cerros forman cuerpos aislados - en forma de parches, bisectados unos de otros por pequeños cauces (ver fotografía No.9)

En el campo se observa la siguiente secuencia litológica de arriba hacia abajo.

- Capa vegetal.
- Zona de lixiviación, con arcillas amarillentas.
- Zona de enriquecimiento de agregados bauxíticos que tienen tamaño entre 2 mm y 25 cms. dispersos en una arcilla de color amarillo oscuro.
- Zona de concentración de óxidos, se caracteriza por una arcilla roja.
- Zona de transición, está compuesta por los sedimentos de la formación Popayán alterados.
- Roca generadora. Está constituida por los sedimentos de la formación Popayán.

Se observó también la bauxita en la meteorización de las rocas volcánicas, cerca al caserío de Usenda con un área relativamente pequeña. Y a lo largo de las carreteras - Usenda-Caldono, Silvia-Pitayó y en los alrededores de las poblaciones de Quichayá, Pueblo Nuevo, donde se observan pequeñas áreas mineralizadas las cuales por ser tan pequeñas solo se mencionan.

VI.3.1 Usos

Los principales usos de la bauxita son: Producción de aluminio metálico, elaboración de productos químicos como el sulfato de aluminio y sus derivados, alumbres, hidróxidos de aluminio, cloruro de aluminio y aluminio de sodio. Para producción de abrasivos aluminosos, utilizados para elaborar discos abrasivos, piedras abrasivas, telas y papeles abrasivos, polvos abrasivos y otros productos abrasivos comerciales.

Producción de refractarios aluminosos que son mucho más resistentes al calor que los de arcilla. Cemento aluminosos conocido en Europa como "Ciment Fondú", que se caracteriza por sus cualidades de rápido endurecimiento y resistencia a la acción química y al calor.

VI.4 ORO

Solo se conoció la presencia de oro en las arenas de los lechos de las quebradas que nacen en el cerro Muchique y vierten sus aguas al río Mondomo (Plancha No. 2)

VI.5 Materiales de construcción.

Las fuentes de materiales de construcción encontrados en la zona estudiada son de interés para obras civiles especialmente como agregados pétreos en la construcción de carreteras.

Son de interés como fuentes de materiales:

a) Las rocas volcánicas que no están meteorizadas. Actual

mente se explotan algunas áreas, por la carretera de Piendamó a Pitayó. (Ver mapa de mineralizaciones plancha No. 4).

- b) Los sedimentos de la formación Popayán cuyos horizontes de lavas y conglomerados inalterados, ofrecen buenas características. Actualmente se explotan algunas zonas en la carretera Pescador-Caldono y Caldono-Moncomo (ver mapa de mineralizaciones plancha No. 2).
- c) La grauvaca que aflora cerca al puente sobre el río Ovejas por la carretera Pescador-Buenos Aires, actualmente en explotación (ver mapa de mineralizaciones - plancha No. 1).

Otra roca que ofrece buenas perspectivas como fuente de material es la dolerita cuando está fresca y cuando ha empezado a meteorizarse. Se encuentra en el área por la carretera Caserío Guaitalá-El Turco (ver plancha No.2).

VII. GEOLOGIA HISTORICA

Como responsable de las fracturas, accidentes tectónicos y plegamientos tenemos los movimientos orogénicos. Esta área estudiada forma parte de este evento tectónico con la presencia de la cordillera Central, que viene a ser el resultado a nivel continental de una parte de la zona comprimida de la corteza durante la fase de compresión.

Las rocas metamórficas presentes en el área, son el resultado de una fuerte presión tectónica sobre las rocas existentes, durante la formación de la cordillera. Durante estos movimientos, hubo sedimentación y actividad volcánica submarina que dió origen a las rocas del Grupo Dolerítico, las cuales posteriormente vienen a sufrir un leve metamorfismo las más inferiores y cizallamientos - las superiores. Posteriormente vino la depositación de los sedimentos del Grupo Cauca discordantemente sobre los sedimentos existentes de doleritas, las cuales están presentes hacia el occidente de la cuenca. Estos sedimentos - del grupo Cauca sufrieron efectos de la fuerte presión - durante el levantamiento de la cordillera Occidental y la terminación del levantamiento de la cordillera Central, durante estos movimientos se desarrollaron en los sedimentos las discordancias, los pliegues y las fracturas.

Al final del período de sedimentación y levantamiento de la cordillera Occidental, se desarrolla un magmatismo, el cual se manifiesta con las rocas ígneas intrusivas de tipo Pórfido Tonalítico, afectando principalmente a los se-

dimentos del Grupo del Cauca y las rocas ígneas extrusivas que se depositaron cubriendo gran parte de esta área estudiada. Después de los eventos anteriores la sedimentación continental se hace presente sincrónicamente con una nueva actividad volcánica, dando origen a los sedimentos de la formación Popayán, esta actividad volcánica se desarrolla exclusivamente en la cordillera Central. Actualmente la erosión tiene gran actividad sobre las rocas formando los aluviones y coluvios.

VIII.-

CONCLUSIONES

I.- Geológicas.

En el área estudiada se encontraron los siguientes tipos de rocas:

- a) Los esquistos micáceos localizados al oriente de la cuenca, que son las rocas más antiguas.
- b) Las rocas volcánicas que cubren la parte central de la cuenca con predominio de andesita hornbléndica - porfirítica.
- c) Cenizas volcánicas, tobas, areniscas, aglomerados y conglomerados que conforman los sedimentos de la formación Popayán las cuales cubren la parte baja de la cuenca, localizada al oeste.
- d) Arcillas, areniscas grauváquicas, arenas y conglomerados que forman el Grupo del Cauca.
- e) Rocas de origen ígneo intrusivo de tipo Pórfido Tonalítico y las de origen extrusivo como las andesitas hornbléndicas finamente porfiríticas.
- f) El conjunto de rocas presentes en la cuenca actualmente se las encuentra superficialmente meteorizadas cubiertas por un suelo arcilloso con un espesor que varía entre 3 y 7 metros.

Tectónica.

Se encontraron dos áreas más afectadas por fallas que son el extremo oriental y el extremo noroccidental de

la cuenca donde las rocas han sido fuertemente afectadas.

Geología Aplicada.

Podemos concluir que el área no ofrece mayor importancia en lo referente a recursos minerales de explotación económica, con excepción de los depósitos de Bauxita, arcillas caoliníticas y materiales de construcción, los cuales con una explotación adecuada son un recurso para el desarrollo de la cuenca.

2.- Geomorfológicas.

Desde el punto de vista morfogenético, tomando en consideración la conjunción de los parámetros básicos que originan una provincia, dada la extensión del área estudiada sólo se conforma una unidad.

No obstante, atendiendo al tipo de roca y el efecto diferencial de los factores intemperizantes, de los cuales se deriva el relieve, ha sido posible diferenciar cinco provincias geomorfológicas cuyas características particulares que las tipifican son la topografía y el drenaje. En su orden son las siguientes:

- 1- Provincia Geomorfológica de la Formación Popayán.
con sus dos miembros superior e inferior.
- 2- Provincia Geomorfológica de las Rocas Metamórficas.
- 3- Provincia Geomorfológica del Grupo Cauca.

4- Provincia Geomorfológica de las Rocas Volcánicas

5- Provincia Geomorfológica de las rocas Igneas.

13.- Geotécnicas.

(Ver capítulo correspondiente.)

RECOMENDACIONES

- a) Para el manejo de la cuenca se debe tener en cuenta que para cualquier trabajo que se emprenda, hay que tener cuidado con las áreas definidas como falladas, lo mismo que el tipo de roca que por estar tan meteorizados nos producen arcillas rojas pero con características físicas y químicas diferentes.
- b) Se debe fomentar la explotación de los recursos minerales encontrados los cuales tienen muy buenas perspectivas. Se recomienda la asesoría técnica para emprender cualquier explotación, aunque sea de tipo manual que sería la más recomendable inicialmente, para obtener mejores beneficios, por tratarse de depósitos pequeños pero con buen mercadeo no solo en el consumo departamental sino Nacional.
- c) Geotécnicas (Ver capítulo V.8, página 55)

G L O S A R I O

- AFLORAMIENTO** : Efecto de aflorar.
- BANCO** : Es una roca simple que en afloramientos presenta un relieve particular.
- CAPA** : Unidad litológica compuesta de uno o varios estratos.
- CHARNELA** : Cabeza de un pliegue ó lugar donde se dobla.
- DISCORDANCIA** : Falta de correspondencia o conformidad - entre las capas de rocas.
- DEPOSICION** : Acción y efecto de depositarse los materiales pétreos que han de formar luego - las rocas.
- DENDRITICO** : De forma arborescente.
- ESTRATOS** : Depósito sedimentario continuo, homogéneo separado de los depósitos superiores e inferiores por un cambio marcado en la composición o por una superficie de erosión.
- EJE DEL PLIEGUE**: Línea que en proyección vertical representa el plano axial de un pliegue.
- FACIES** : El ensamblaje de los caracteres de una - roca o de una unidad sedimentaria, resultado de las condiciones geográficas, climáticas, topográficas, fisico-químicas y biológicas.

- FALLA** : Fractura de la corteza terrestre en la cual hay desplazamiento.
- INDICE DE PLASTICIDAD** : Variación del contenido de agua entre los límites líquido y plástico.
- LIMITE PLASTICO** : Menor contenido de agua en el cual el suelo es plástico.
- LIMITE LIQUIDO** : Contenido de agua en el cual una arcilla es prácticamente líquida.
- NIVEL ESTRUCTURAL** : Se lo define como un estado caracterizado por un mismo mecanismo de deformación.
- OROGENESIS** : Proceso de formación de las cordilleras en las zonas débiles y móviles de la corteza terrestre.
- PENDIENTE DE UNA CAPA Ó BUZAMIENTO**: Es el valor del ángulo que forma la línea de mayor pendiente de la capa con relación a la horizontal.
- PLIEGUES ISOPACOS** : Aquellos en que el espesor de los estratos se conserva constante, no importando cuál sea su posición en el pliegue.
- PLIEGUE** : Doble, surco o desigualdad en la corteza terrestre.
- RUMBO** : Dirección de la horizontal de la capa con relación al norte.

- ROCA IGNEA** : Formada por altas temperaturas que permitieron la fusión de los minerales. Se llama ígnea intrusiva las rocas consolidadas a gran profundidas.
- REMOLDEO** : Aplicación repetida de esfuerzo cortante a una arcilla.
- SINCLINAL** : Pliegue cóncavo.
- TECTONICA** : Estudio de la estructura de la corteza terrestre y de los movimientos que ha sufrido.
- TIXOTROPIA** : Recuperación, con el tiempo, de la resistencia estructural perdida por el remoldeo.

B I B L I O G R A F I A

- ALLUM, J.A.E., 1.966. Photogeology and Regional Mapping. Pergamon Press Ltd. London.
- CUCALON, H.I., 1.969. Geología del Valle Alto del Río Cauca en los departamentos del Valle y Cauca. Informe No. 1544, Serv. Geol. Nal. Bogotá (Publicado por la C.V.C.).
- CUCALON, H.I. y RESTREPO HERNAN, 1.969. Lateritas Gibsíticas en la costra de la formación Poyayán como recursos potenciales de Bauxita en Colombia. Informe No. 1545 Serv. - Geol. Nal. Bogotá.
- COATES, D.F., 1.964. "Classification of Rocks for Rock Mechanics", Intern. J. Rock Mech. Mining - Sci., 1, 421-429.
- DEERE, D.U. y MILLER, R.A. 1.966. " Engineering Classification and Index properties for intact - rock", Tech. Rept. No. AFULTR-65-116, Air Force Base, Nuevo México.
- FERNANDEZ, VICTOR, 1.966. "Deslizamientos, investigación y corrección", inédito. Bogotá.

FAUCHER, SET, SAVOYAT, E. 1.973. Esquisse Géologique des Andes de L'équateur. Revue de Geographie physique et de geologie dynamique vol. XV fasc. 1-2 pp.115-142 Paris.

GUILLEMOT, J. 1.968. Éléments de Geologie. Institut - Français du Pétrole, Société des Editions Technip.

HUBACH, E. y ALVARADO, B. 1.934. Geologia de los departamentos del Valle y Cauca, en especial del carbón. Informes No.224, Serv. Geol. Nat. Bogotá.

HUBACH, E., 1.957. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia. Inst. Geol. Nat. Informe No. 1212, Bogotá.

KRININE, D.P. y JUDD, W.R. 1.961. "Principios de Geología y Geotecnia", Omega, S.A.

LOPEZ VERGARA, M.L., 1.971. Manual de Fotogeología. - Servicio de Publicaciones de la J.E.N. Madrid.

LEET y JUDSON, 1.974. Fundamentos de Geología Física. Editorial Limusa, México.

MATTAUER, A., 1.973. Les de' formations des matériaux de L'écorce Terrestre. Hermann Editeurs, Paris.

NELSON, H.W., 1.962. Contribución al conocimiento de la bordillera Central de Colombia, sección entre Ibagué y Armenia. Serv. Geol. Nal. Boletín Geológico, Vol. X, Nos.1 a 3 Bogotá.

ORREGO, A. y RESTREPO, H., 1.970. Posible yacimiento de las calizas de Pitayó. Informe 1.556 - Instit. Nal. de Inv. Geol. Min., Bogotá

ORREGO, A., 1.975. Geología y ocurrencias minerales de la parte Oeste del Cuadrángulo N-6, Popayán. Informe 1.690 Instit. Nal. de - Inv. Geol. Min. Bogotá.

RENZONI, G. y TENJO, S. 1.969. Visita al yacimiento de calizas cristalinas de Pitayó. Municipio de Silvia (Cauca) Informe DM-54 del IFI.

ROSAS, H., 1.973. Estudio sobre depósitos de Bauxitas en Cauca y Valle, especialmente en el área de Morales-Cajibío. Informe No. - 1642, Instit. Nal. de Inv. Geol. Min. Bogotá.

RUGE, P., 1.971. Mapa minero del Departamento del Cauca, parte noroeste. Informe No. 1601 Inst. Nal. de Inv. Geol. Min. Bogotá.

SCIENTIFIC AMERICAN, 1.974. Deriva continental y Tectónica de Placas. Editorial Blume. Madrid.

STAGG, K.G. y ZIENKIEWICZ, D.C. 1.968. "Rock Mechanics in Engineering Practice", John Wiley and Sons, London.

TAYLOR, D. W. 1.969. "Fundamentals of Soil Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., New York.

TUERNER, F.J. y VERHOOGEN, J., 1.963. Petrología ígnea y metamórfica. Ediciones Omega, S.A.

THORNBURY, W.D., 1.964. Principles of Geomorphology. - John & Sons. Inc. London.