

T
624.151
A841

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

**"CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA DE LA
CUENCA DE DRENAJE DE LA PRESA DE ZAPOTAL"**

TESIS DE GRADO
Prevía a la obtención del Título de
INGENIERO GEOTECNICO

PRESENTADA POR:

ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

GUAYAQUIL — ECUADOR

1981

A G R A D E C I M I E N T O

AL ING. RAUL MARURI DIAZ
Director de Tesis, por la
orientación que nos dio
para llevar adelante este
trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS Y A MIS PADRES
A QUIENES TODO LO QUE
SOY LES DEBO

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Raul Maruri Diaz', with a stylized, cursive script.

ING. RAUL MARURI DIAZ
Director de Tesis

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

R E S U M E N

Este trabajo realizado en el marco del proyecto de represamiento del río Zapotal en la Península de Santa Elena, pero con un alcance más amplio en cuanto a sus aplicaciones prácticas ya que van más allá de la ejecución misma de este proyecto, persigue dividir nuestra área de estudio en varias zonas con características geotécnicas comunes. En efecto, hemos dividido tal área en cinco zonas geotécnicas en función de que cada una presenta parámetros, principalmente geológicos y geomorfológicos, que permiten identificarlas plenamente con miras a programar la utilización de sus materiales para la construcción de cualquier obra de ingeniería civil, entre otros fines. Así por ejemplo, hemos precisado la existencia de varios sitios de préstamo para la obtención de materiales que sirvan de agregado grueso y fino para hormigón y de base y sub-base para carreteras; de igual manera hemos definido que

ciertos suelos puede ser empleados en presas de tierra en tanto que otros no, debido a las características plásticas y presumiblemente expansivas que presentan. Estas y otras conclusiones son el resultado del presente estudio.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE ANEXOS.....	XI
INDICE DE MAPAS.....	XII
INDICE DE ABREVIATURAS.....	XIII
INTRODUCCION.....	XV
I. ALCANCE DEL TRABAJO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Ubicación.....	3
1.3. Definición del Area y Descripción.....	4
1.4. Climatología e Hidrología.....	7
1.5. Vegetación.....	9
1.6. Socioeconomía.....	10
1.6.1. Generalidades.....	10
1.6.2. Demografía.....	13
1.6.3. Usos y Tenencia de la Tierra.....	14
1.6.4. Administración e Instituciones.....	15
II. GEOLOGIA REGIONAL	16
2.1. Formaciones Geológicas.....	16
2.2. Estructuras Geológicas.....	28
2.3. Columna Estratigráfica.....	29
2.4. Geología Histórica.....	30
2.5. Geología Económica.....	34
III. GEOLOGIA DEL AREA DE LA CUENCA	37
3.1. Fotogeología y Geomorfología.....	38
3.2. Análisis Geomorfológico de la Topografía y el Drenaje	41
3.3. Formaciones Geológicas.....	43
3.4. Estructura Geológica.....	44
3.5. Análisis del Sistema Geoestructural por fotolineamiento.....	47

3.6. Geohidrología.....	49
3.7. Cortes.....	52
IV. SUELOS.....	54
4.1. Generalidades.....	54
4.2. Suelos Residuales.....	54
4.3. Perfiles de Meteorización.....	57
4.4. Suelos Transportados.....	63
V. ESTABILIDAD DE TALUDES.....	68
5.1. Generalidades	68
5.2. Pendientes del Terreno.....	71
5.3. Estabilidad de Taludes en las diferentes Formaciones.....	74
VI. PROPIEDADES GEOMECANICAS DE LOS MATERIALES	81
6.1. Rocas.....	81
6.1.1. Generalidades.....	81
6.1.2. Ensayos.....	84
6.1.2.1. Permeabilidad.....	85
6.1.2.2. Compresión Simple.....	87
6.2. Suelos.....	94
6.2.1. Generalidades.....	94
6.2.2. Ensayos y Clasificación.....	96
6.3. Utilización como Materiales de Construc- ción.....	102
6.3.1. Suelos.....	102
6.3.1.1. Grupo A-1.....	102
6.3.1.2. Grupo A-2.....	105
6.3.1.3. Grupo A-6.....	107
6.3.1.4. Grupo A-7.....	109
6.3.2. Rocas.....	110
VII. ZONIFICACION.....	112
7.1. Generalidades.....	112
7.2. Criterios adoptados para la Zonificación geotécnica.....	113
7.2.1. Geomorfología.....	114
7.2.2. Formaciones Geológicas	115
7.2.3. Perfiles de Meteorización	115
7.2.4. Estabilidad de Taludes	115

7.2.5. Clasificación de Suelos y Rocas....	116
7.2.6. Materiales de Construcción y Recursos en General.....	116
7.3. Resumen de las Zonas y sus Principales Características.....	117
7.3.1. Zona 1	117
7.3.2. Zona 2	120
7.3.2.1. Sub-zona 2 A.....	121
7.3.2.2. Sub-zona 2 B.....	122
7.3.3. Zona 3	123
7.3.3.1. Sub-zona 3 A.....	126
7.3.3.2. Sub-zona 3 B.....	129
7.3.3.3. Sub-zona 3 C.....	130
7.3.4. Zona 4.....	132
7.3.5. Zona 5.....	133
7.3.5.1. Sub-zona 5 A.....	134
7.3.5.2. Sub-zona 5 B.....	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
ANEXOS.....	144
BIBLIOGRAFIA.....	182
MAPAS	186

INDICE DE ANEXOS

- A.- COLUMNA ESTRATIGRAFICA
- B.- DESCRIPCION MACROSCOPICA DE LAS MUESTRAS DE ROCA
- C.- DESCRIPCION DE LAS SECCIONES DELGADAS DE LAS MUESTRAS DE ROCA
- D.- RESULTADO ENSAYO DE PERMEABILIDAD
- E.- CURVAS CORREGIDAS ESFUERZO VS. DEFORMACION
- F.- RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE
- G.- CARTAS DE CLASIFICACION DE ROCA INTACTA
- H.- RESULTADOS ENSAYO DE CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS DE SUELOS
- I.- CARTA DE PLASTICIDAD Y PROCTOR STANDARD

INDICE DE MAPAS

- I. PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION DE LA CUENCA
- II. GEOLOGIA DE LA CUENCA
- III. PLANO GEOMORFOLOGICO
- IV. MAPA DE SUELOS
- V. PLANO GENERAL DE PENDIENTES DE LA CUENCA
- VI. MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS DE LA CUENCA
- VII. ZONIFICACION GEOTECNICA DE LA CUENCA

INDICE DE ABREVIATURAS

Ha. = Hectárea

km² = Kilómetro cuadrado

mts. = metros

km. = kilómetro

S.N.M. = Sobre el nivel del mar

N,S,E,O = Norte, Sur, Este y Oeste

°C= Grados centígrados

mm.=precipitacion pluvial en milímetros de agua

m³ = metros cubicos

cm= centimetro

°= Grados

m = metro

seg. = segundo

kg. = kilogramo

cm² = centímetro cuadrado

AASHO= American Association of State Highway Officials

ASTM = American Standard Testing Materials

CEDEGE= Comisión de Estudio para el Desarrollo de la
Cuenca del Río Guayas.

INERHI = Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos

CEPE = Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana

IP = Índice Plástico

LL = Límite Líquido

I N T R O D U C C I O N

Esta tesis titulada " Carta de Zonificación Geotécnica de la Cuenca de Drenaje de la Presa de Zapotal" persigue como objetivo dividir tal área en varias zonas con características geotécnicas comunes en función de parámetros tales como: Geomorfología, Formaciones Geológicas, Perfiles de Meteorización, Estabilidad de Taludes, Clasificación de Suelos y Rocas, y Materiales de Construcción y Recursos en general. Cada zona puede ser definida en función de uno o varios de estos parámetros que se superponen para configurar las distintas unidades geotécnicas, con miras a : 1) programar la utilización de materiales para la construcción de cualquier obra de ingeniería civil que se efectúe en el área y 2) proporcionar criterios generales para programar tratamiento de fundaciones, estabilidad de taludes, usos del terreno, etc. Para conseguir este objetivo resulta indispensable alternar el trabajo de estudio, campo y laboratorio de manera que las conclusiones a las que se arribe permitan satisfacer la investigación propuesta.

I. ALCANCE DEL TRABAJO

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se ejecuta en el marco del Proyecto de represamiento del río Zapotal que desarrolla INERHI en la zona de la Península de Santa Elena.

En esta zona variaciones significativas de carácter ecológico, entre las que destaca la tala indiscriminada de árboles, han determinado, en los últimos 50 años, la conformación de un verdadero núcleo desértico en lo que fue otrora un importante sector productivo.

En el transcurso de las dos últimas décadas se han realizado numerosos estudios en la zona destinados a materializarse en obras que permitan solucionar el grave problema social y económico ocasionado por la sequía.

INERHI en 1965 inició la ejecución del Proyecto Península de Santa Elena con la finalidad de embalsar los escurrimientos periódicos de agua, mediante presas de tierra localizadas en los principales valles

de esa zona. Este organismo estatal empezó su obra construyendo la Presa de Azúcar que ha dado hasta el momento resultados satisfactorios dentro de la microeconomía del sector. Así mismo, se encuentra en plena fase de ejecución la Presa de San Vicente que supera en importancia a cualquier otra de su género en todo el país (se trata de una presa de tierra con núcleo impermeable).

CEDEGE, por otro lado, está a punto de emprender la ejecución del acueducto de Santa Elena que trasvasa ra aguas del río Daule a la Península, mediante un sistema de canales y presas (en Sube y Baja y Chongón), lo que hará posible abastecer recursos hídricos para:

- Proporcionar agua para el desarrollo de un esquema de 50.000 Ha. de riego - zonas de Chongón, Playas, Azúcar, Chanduy, Río Verde y Javita; y
- Proporcionar agua para el abastecimiento urbano e industrial a un nivel de dotaciones no restrictivo para el desarrollo turístico y de la industria.

Todo esto sugiere que en los últimos años se han ido concretando esquemas técnicos cada vez más definidos sobre la base de alcanzar el desarrollo regional de la Península de Santa Elena.

Nuestra modesta contribución, que se refiere específicamente a la " Carta de Zonificación Geotécnica - de la Cuenca de Drenaje de la Presa de Zapotal ", - persigue proporcionar información sobre las condiciones del terreno y sobre las propiedades geomecánicas de los materiales presentes, de tal manera - que resulte factible delimitar zonas con similares características geotécnicas, a fin de programar la utilización de materiales de construcción, tratamiento de fundaciones, estabilidad de taludes, uso del terreno, etc.

1.2. Ubicación

La península de Santa Elena está localizada en la Provincia del Guayas aproximadamente entre los meridianos $80^{\circ}:00''$ E. y los paralelos $1^{\circ}:40''$ y $2^{\circ}:50''$, con una extensión aproximada de 5.000 km^2 , que comprende el territorio situado al sur y al oeste de la cordillera Chongón-Colonche, limitando por el sur con el Golfo de Guayaquil y al oeste con el O-

céano Pacífico.

La cuenca del río Zapotal está limitada al norte por el cerro Alguacil, al sur por los cerros de Animas, Engunga y Zapotal, al este por los cerros La Botija y Loma Atravezada y al oeste por la población de Zapotal y los cerros de Chanduy y Azúcar. (Ver Mapa I).

El sitio de represamiento se encuentra a 80 km. al oeste de Guayaquil virtualmente en línea recta. Se accede al sitio del Proyecto mediante la carretera Guayaquil-Salinas, unos 1.200 mts. antes de llegar a la población de Zapotal, y unos 290 mts. al norte de la carretera. La zona de riego estaría emplazada al oeste y en la vecindad de la población de Zapotal. La disponibilidad de tierras aguas abajo de la presa es ilimitada, superando las 5000 Ha., aunque la disponibilidad de agua sólo permitiría desarrollar un 10% de las mismas.

1.3. Definición del área y descripción

La Península de Santa Elena está dividida en cinco

regiones fisiográficas: la cordillera Chongón-Colonche, los cerros de Estancia, los cerros de Chanduy, las tierras bajas del interior y la zona costera emergente. La cuenca del río Zapotal comprende tres de estas regiones: cerros de Estancia, cerros de Chanduy y tierras bajas del interior, conforme a los límites ya indicados.

La cuenca del río Zapotal tiene aproximadamente 650 km². El área comprendida por la cuenca de drenaje del Proyecto Zapotal, es decir aguas arriba del sitio de presa, es de aproximadamente 310 km².

310 km²

Nuestro estudio se refiere específicamente a esta área última, que, en adelante, por efectos de la simplificación de términos, la llamaremos sencillamente como la Cuenca.

La Cuenca es alargada de norte a sur (27 km.) y un tanto más reducida de este a oeste (22 Km.).

La topografía de la Cuenca es, en general, irregular en la parte alta sobre la cota 100 , pero bajo esta cota presenta grandes extensiones con llanura

ras de pendientes muy suave. Las máximas elevaciones son del orden de los 340 mts. S.N.M. La cota del río en el sitio de presa es de 14 mts. S.N.M. El cauce del río aguas arriba presenta una pendiente suave de 1 por 1000 hasta el sitio Dos Bocas, luego del cual crece en forma regular con una pendiente en el orden 3 o 4 por 1000.

La Cuenca es bastante quebrada, salvo hacia el sitio Dos Bocas donde se inicia el vaso de una llanura plana, la misma que se estrecha hacia el oeste justo en el sitio de presa donde las ondulaciones son de 30 a 40 mts. de altura.

A partir del sitio de presa el valle sigue teniendo una amplia llanura a ambos lados del río de unos 2 km. de ancho y muy plana, a manera de terrazas. El río desemboca al suroeste, luego de recorrer unos 20 km., en el puerto de Chanduy en el Golfo de Guayaquil.

Numerosos ríos, secos la mayor parte del tiempo, componen nuestra Cuenca. los dos principales son el Villingota y el Sacachún que con sus afluentes se unen en el sitio Dos Bocas para conformar el Zapotal.

Las características del río Zapotal son algo irregulares. En el sitio de presa se torna encañonado con un cauce relativamente estrecho y profundo; sin embargo, aguas arriba va perdiendo su profundidad.

4- Cerca del sitio de presa el curso del río presenta cambios bruscos de dirección, lo que hace presumir la posibilidad de algún problema estructural. Aguas arriba el cauce es irregular, alternando tramos rectos y meandros cada 100 mts. Usualmente en los meandros hay depósitos de grava, arena y material para enrocado.

1.4. Climatología e Hidrología

Los factores que aportan las características climáticas de la Península son: la corriente fría de Humboldt, la corriente cálida del Niño y el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical.

El período de mayor pluviosidad en la Península de Santa Elena es el comprendido entre los meses de Enero a Abril. Tiene carácter torrencial sobre todo en las partes central y sur de clima seco, lloviendo en 24 horas la cantidad total mensual y en muchos casos porcentajes mayores al 60% de la lluvia

anual. En la parte norte, a más de las lluvias indicadas, se registran garuas con temperaturas bajas y poca evaporación durante los meses de Junio a Noviembre.

La temperatura media anual de la Península es de 24.5°C , la mínima absoluta 15.6°C y la máxima 39.5°C . La humedad relativa rara vez es inferior al 75%, siendo el promedio anual 83%.

Los vientos dominantes provienen del sur. Los valores de la evaporación varían desde los 1500 mm. anuales para la zona central a 600 mm. anuales en la zona norte.

El escurrimiento medio anual en el sitio de presa se ha estimado en $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, variando entre cero y $14.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ para un período analizado de 11 años. La lluvia media anual en la Cuenca es de 484 mm. Estudios realizados calculan la capacidad de embalse de la presa en $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ en la cota 26 S.N.M. hasta $33 \times 10^6 \text{ m}^3$ si se eleva la presa hasta la cota 27 S.N.M.

1.5. Vegetación

En buena parte de la Península, incluida nuestra Cuenca, las especies arbóreas han venido siendo cortadas en gran escala para producción de carbón vegetal y otros usos. Algunas de las especies forestales que aún se encuentran en mayor o menor número son: Guayacán, Algarrobo, Ceibo, Bototillo, Palo Santo, Cascol, Ciruelo, Bejuco, Barbasco, Cerezo, Moyuyo y Cactus.

Los principales cultivos de la época lluviosa son: maíz, paja de escoba y eventualmente, cuando las lluvias son abundantes, se cultiva algodón y soya.

La agricultura en al Cuenca, y en la mayor parte de la Península, está limitada casi exclusivamente al período invernal. Solo en el sector septentrio-nal se presenta una agricultura algo intensiva y diversificada, con productos como: plátamo, yuca, café, citricos, paja toquilla, tomate, cebolla, etc.

En general, la vegetación presente en nuestra Cuenca es semi-desértica.

1.6. Socioeconomía

1.6.1. Generalidades

De conformidad con los censos nacionales, el ritmo de crecimiento de la población de la Península es inferior al registrado por el país y la provincia del Guayas. En efecto, por lo que se conoce, entre 1950 y 1974 la población de Ecuador creció a una tasa de 3.03% mientras que en la Provincia del Guayas este indicador fue de 4.06%. CEDEGE es tima en 1.84% la tasa de crecimiento de la Península con proyección al año 2.000.

Estas cifras revelan, en cierto modo, un desequilibrio entre la sociedad urbana y rural, que se traduce en continuas migraciones de la gente del campo a los centros más poblados del país, como es el caso de Guayaquil.

La falta de agua en la Península para fines agrícolas, industriales y de consumo humano ha sido motivo de pauperización de muchos pequeños pueblos como Ciénaga, Sacachún, Sube y Baja, Julio Moreno, etc., que subsisten gracias al apego ancestral a la tierra de

sus moradores, casi en su totalidad aborígenes de la costa ecuatoriana. Muchos de ellos han tenido que salir en búsqueda de trabajo, oportunidades y servicios que les brinda naturalmente la gran ciudad. Esto explica la desaparición de dos pueblos ubicados en la Cuenca: Dos Bocas y San Francisco, que son al momento pueblos abandonados.

Si se relaciona el número de habitantes con la superficie territorial de la Península, se encuentra una densidad de menos de 22 habitantes por km^2 . siendo aún inferior en la zona de la Cuenca. Este indicador sugiere la existencia de amplias posibilidades de relocalización de la población y la expansión acelerada de la ocupación territorial, siempre y cuando se supere la limitación de recursos hídricos.

La población que permanece afincada vive, en apreciable número, de la explotación irracional de la madera que es utilizada para diversos fines, siendo el principal la quema para la producción de carbón vegetal.

La cría de ganado se realiza con dedicación y esmero pese a la adversidad y a la limitación que impone la falta de agua. En las zonas con bajos niveles de precipitación, el ganado se ha acostumbrado forzosamente a alimentarse de cactus y gramineas naturales que crecen en estos terrenos áridos. Sin embargo, la sequía a veces es tan abrumadora que el ganado raquítico muere.

INERHI y CEDEGE han establecido a través de múltiples experiencias que los suelos de la Península son aptos para el desarrollo intensivo y diversificado de cultivos perfectamente rentables:

- CULTIVOS EXTENSIVOS: Algodón, soya, maiz grano, frejol, ajonjolí y girasol.
- HORTICOLAS: Cebolla, coliflor, tomate y melón.
- GANADERAS: Soya grano, maiz grano, soya, maiz forrajero, caupi, alfalfa tropical y pasto de corte.

Esto quiere decir que de contar con el abastecimiento de agua necesario, muchos sectores

bajos, sobre todo, podrían ser altamente productivos. De ahí la imperiosa necesidad de represar los escurrimientos periódicos de agua.

El agua para consumo humano se extrae de pozos cuya profundidad fluctúa normalmente entre 30-40mts. Desgraciadamente no se encuentra en volúmenes suficientes para sostener el desarrollo agrícola, peor aún cuando en muchos casos el agua resulta demasiado salobre para el uso agrícola y hasta para el consumo humano o animal.

1.6.2. Demografía

Según el Censo de 1972, la zona beneficiada con el Proyecto Zapotal tendría una población de 2.742 habitantes, cifra que hoy no ha de ser superior, descompuesta de la siguiente forma:

1972	POBLACION	CASAS
Buenos Aires	97	56
La Delicia	8	60
Zapotal	712	129
Ciénaga	454	15
*San Francisco	11	58
Sucre	191	26
Villingota	126	96
Sacachún	287	44
Sube y Baja	625	85
Olmedo	<u>231</u>	<u>38</u>
	2.742	607

* Pueblo abandonado

Para el año 2000 conforme la tasa de crecimiento prevista por CEDEGE de 1.84 % la población alcanzará la cifra de 4.486 habitantes. Se aspira a incrementar la tasa de crecimiento al doble o triple con la ejecución de la presa.

1.6.3. Usos y Tenencia de la Tierra

Las tierras en su gran mayoría han sido ad-

judicadas a comunas campesinas, las cuales para su administración tienen sus propias leyes. Están bajo la protección del Estado a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cada comuna está regida por una directiva que tiene bajo su responsabilidad el reparto de la tierra entre sus miembros. Con el fin de cortar el minifundio, se determina la cantidad mínima en que puede ser repartida la tierra para fines agrícolas.

1.6.4. Administración e Instituciones

El sector que se beneficiará con el Proyecto pertenece al recinto Zapotal de la parroquia Chanduy del cantón Santa Elena.

La autoridad máxima de la parroquia es el Teniente Político que tiene atribuciones de Juez Civil y Penal. Recibe el encargo de autoridad del Jefe Político del Cantón.

En la parroquia Chanduy existen otros recintos, tales como: Buenos Aires, Sacachún, Vi-

lilingota, Sube y Baja, etc., los que tienen, cada uno, un Inspector Residente.

II. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. Formaciones Geológicas

Las observaciones sobre el terreno y los estudios del subsuelo demuestran que la costa ecuatoriana esta formada por dos regiones separadas por la Cordillera Chongón-Colonche. La región norte corresponde a las provincias de Manabí y Esmeraldas y al norte de la provincia del Guayas. La región sur la conforman las provincias del Guayas y El Oro. Ambas regiones están constituídas esencialmente por materiales sedimentarios del Terciario que rellenan una cuenca marginal y se redistribuyen según una banda costera longitudinal, paralela a la cordillera de los Andes, de la que se encuentra separada por otra banda de la misma orientación que es la llanura aluvial de la cuenca del río Guayas. A escala más detallada cada una de estas regiones presenta rasgos estructurales y estratigráficos particulares.

Nuestra área de estudio se encuentra en la región u bicada al sur de la cordillera Chongón-Colonche. De manera general se trata de una amplia cuenca, carac terizada por una sedimentación profunda y subsiden te que se extiende hasta la sierra de Amotape en el Perú, y que esta constituída por la cuenca Progeso, la Península de Santa Elena, la plataforma continen tal del Golfo de Guayaquil y la cuenca de Talara en el noroeste peruano. Las formaciones presentes tie nen una edad desde el Pre-Cretácico hasta el Pleis- toceno.

Complejo Igneo

La Formación Piñón es la formación más antigua que aflora en la región aunque no esta presente en nues- tra área de estudio. Sirve de basamento para las formaciones terciarias más recientes.

Se trata de materiales volcánicos en los que predom- inan las lavas sobre los piroclastos en una propor- ción superficial que no es posible determinar. Las coladas de lava se presentan en general sub-horizon tales y su composición es unas veces basáltica con

notable grado de alteración superficial y otras son de tipo diabasa, menos alteradas y de gran dureza. Todas estas rocas presentan un diaclasamiento bastante desarrollado, pero dada su propia naturaleza y el hecho de estar afectada por una apreciable silicificación secundaria, sobre todo, en el relleno de fisuras, así como la circunstancia de que su meteorización es relativamente superficial y, en general, a escala microscópica en ciertos minerales, puede afirmarse que a efectos constructivos deben comportarse de forma bastante homogénea: notable grado de dureza y abrasividad y escasamente ripables, de lo que se desprende que permitirán taludes prácticamente verticales, salvo donde la fracturación sea especialmente intensa.

Cerca de Guayaquil, en el sector norte de Pascuales pueden observarse afloramientos de la Formación Piñon.

Formación Cayo

Los materiales que constituyen esta formación sedimentaria son de los más variados, pero en general

son facies detríticas procedentes del complejo igneo que actuó como antepaís y fue suministradora de sedimentos. Se caracteriza por una serie amplia de estratificaciones de delgadas a gruesas y por conjuntos masivos de areniscas, lutitas, conglomerados, chert, tobas y aglomerados volcánicos.

La diversidad litológica que presentan los materiales de la Formación Cayo debe reflejarse, aunque con menor grado, en su comportamiento geotécnico.

Numerosas canteras de materiales provenientes de la Formación Cayo se explotan en la vecindad de Guayaquil. En el área de estudio no se encuentran afloramientos de esta formación.

Grupo Azúcar

El Grupo Azúcar se aplica a una secuencia clástica bastante ancha que ha sido subdividida en tres unidades que han sido llamadas formaciones Estancia, Chanduy y Engabao. La unidad superior e inferior son areniscas similares, difíciles de separar de no existir la serie conglomerática intermedia.

La Formación Estancia es la unidad basal del Grupo Azúcar y consiste en areniscas interestratificadas, limolitas y lutitas, en orden de importancia. Las areniscas de color pardo y gris obscuro son predominantemente síliceas.

La Formación Chanduy constituye la parte media del Grupo Azúcar y consiste principalmente de conglomerados poligénicos que alternan con algunos lentejones arenosos y lutíticos.

La Formación Engabao es la parte superior del Grupo Azúcar y resulta bastante semejante a la Formación Estancia con la que se confunde fácilmente. La litología de la Formación Engabao consiste en una serie de areniscas de color gris obscuro a gris azulado y café sucio, con alternancias de lechos delgados de lutitas y unos pocos estratos de conglomerados.

Los afloramientos del Grupo Azúcar son generalmente muy fallados. Se encuentran expuestos en los Cerros de Playas, Estancia, Chanduy y Azúcar. En consecuencia, sí forman parte de nuestra área de estudio.

Las características geotécnicas de estos materiales se discutirán más adelante.

Formación San Eduardo

Esta Formación es de composición francamente calcárea, sin intercalaciones margo-arcillosas visibles, y por lo tanto con cualidades geotécnicas bien definidas.

Las calizas de la Formación San Eduardo tienen gran interés como material de construcción, fundamentalmente como fuente de aridos para hormigón. Así mismo, sirve de materia prima para la fabricación de cemento, siendo explotada con tal propósito en importantes volúmenes.

La formación San Eduardo esta expuesta al oeste de Guayaquil.

Grupo Ancón

Adyacente al Grupo Azúcar o a la Formación San Eduardo se encuentran los sedimentos del Grupo Ancón que

están constituídos por una serie de areniscas, limolitas y cherts. Este complejo detrítico ha sido subdividido en tres unidades: Clay Pebble Beds, Socorro y Seca.

Los suelos arcillosos del Grupo Ancón suelen presentar un alto contenido de montmorillonita por lo que si fuera preciso deberan ser objeto de estudios geotécnicos en detalle por el problema potencial de expansividad.

El grupo Ancón no aflora en nuestra área de estudio.

Formación Zapotal

Está constituída por una secuencia espesa de sedimentos marinos poco profundos que van hasta clásticos continentales gruesos. En orden de importancia, consiste en areniscas, conglomerados, limolitas y lutitas, que presentan cierta variación en características locales. Así por ejemplo, las areniscas varían, de pobremente clasificadas, muy arcillosas y duras, a bien clasificadas, frágiles y muy puras. Igualmente varían de areniscas cuarzosas a grauvascas.

Los materiales de la Formación Zapotal es de esperar que en su conjunto presenten un buen comportamiento geotécnico y sean ripables en su mayoría.

En el sitio de presa se encuentra la Formación Zapotal, razón por la cual sus materiales revisten de particular interés para efectos de la construcción de la presa.

Formación Dos Bocas

Los sedimentos de la Formación Dos Bocas, también de origen marino, son más finos que los de la Formación Zapotal. Sus alforamientos corresponden a lutitas de color café chocolate que tienen frecuentemente apariencia de cera. Son comunes concreciones calcáreas de color habano que algunas veces llegan a 1.5 mts. de diámetro. El yeso secundario es localmente abundante en vetillas cuya espesor no es superior a 3 cm.

Análisis mineralógicos efectuados por CEDEGE revelan que los suelos residuales de la Formación Dos Bocas contienen un alto porcentaje de montmorillonita por lo que es de esperar que estas arcillas presenten ma

las condiciones geotécnicas.

La Formación Dos Bocas si está presente en nuestra área de estudio. Sin embargo, cabe destacar, sus materiales no revisten de particular interés para la construcción de la presa.

separación
Miembro Villingota

Miembro Villingota

La parte más alta de la Formación Dos Bocas es muy distinta y puede ser mapeada separadamente como Miembro Villingota. Este miembro está constituido por una serie de lutitas diatomáceas blancas, cenizas, con estratos delgados y tobáceas. Se encuentran generalmente escamas de pescados. La lutita presenta textura hojosa y resulta frecuentemente frágil en los afloramientos.

La Formación Zapotal y Dos Bocas y el Miembro Villingota suelen ser agrupados en una sola formación: La Formación Tosagua.

Formación Progreso



BIBLIOTICA

Es la formación más reciente del Terciario que está presente en la Península de Santa Elena. Su composición litológica es bastante heterogénea, mostrando fuertes variaciones e irregularidades locales como cambios rápidos de facies, disposición en lentejones, contactos irregulares de los paquetes, etc.

Esta compuesta en orden de importancia por areniscas, limolitas y lutitas, aunque los estratos de coquina son localmente comunes y en ciertas partes se puede encontrar ceniza y bentonita. La mayor parte de las areniscas son de grano fino y limosas pero pueden ser también de grano grueso y conglomeráticas. En los afloramientos las areniscas y limolitas suelen ser deleznales.

ap. 100 m
no 100 m
11

No se puede advertir un comportamiento geotécnico de finido para estos materiales debido a su heterogeneidad, pero de manera general puede pensarse que este comportamiento resultará aceptable.

La Formación Progreso ocupa un extenso sector dentro de nuestra área de estudio.

Formación Tablazo

Esta consiste principalmente de terrazas marinas hechas por las olas horizontales levantadas. Los estratos de la Formación Tablazo están compuestos de areniscas y finos conglomerados con comunes y abundantes fósiles marinos.

En general, estos materiales están pobremente cementados y presentan escasa consistencia, salvo los bancos lumaquéllicos calcáreos. En algunos casos, los horizontes calizo-arenosos más consistentes podrían presentar dificultad de excavación, aunque su disposición sub-horizontal las palearía en gran medida, no siendo de esperar otro tipo de problema geotécnico.

Sedimentos recientes

- Depósitos Aluviales.- Se encuentran distribuidos a lo largo de los principales valles de la región. Consisten básicamente en limos-arenosos de color pardo-grisáceo cuyo espesor en general es bastante reducido. Debajo de las terrazas que constituyen estos sedimentos es común que afloren las formacioes

nes rocosas en los cursos actuales. Por su carácter no es de esperar problemas geotécnicos de importancia, aunque debido a su escasa consistencia no son apropiados como soporte de obras en la travesía de los cauces y deberán ser desmotados en tales casos. Los acarreos más gruesos en los lechos fluviales actuales y en las terrazas adyacentes pueden revestir de importancia como eventuales materiales de construcción.

- Suelos Vegetales.- Constituyen prácticamente una cobertura continua de 0.5 - 2.0 mts . de espesor. Normalmente su presencia impide tanto en sectores planos como colinados, la observación de los materiales infrayacentes.
- Depósitos Coluviales.- Están localizados en las faldas de los rasgos positivos más importantes de la región. Tienen escaso desarrollo tanto en espesor como en extensión. Sus materiales detríticos constitutivos son gruesos, pobremente clasificados y englobados en una matriz limo-arenosa.

no hay en el fondo de la zona
p 30 y en la zona A

2.2. Estructuras Geológicas

La cordillera Chongón-Colonche, la cuenca Progreso y la Península de Santa Elena, son las unidades estructurales de la parte correspondiente a la región sur del litoral ecuatoriano.

La península de Santa Elena, o más bien la plataforma continental de Santa Elena, se la considera como una estructura alta durante el desarrollo de la Cuenca Progreso. Mapas de perforación y de superficie revelan que el área esta complicada estructuralmente por fallas en direcciones NS, NO-SE y NE-SO. En esta unidad estructural se encuentran los yacimientos de petróleo que fueron explotados por la Anglo Ecuadorian Oilfields Ltd. desde hace más de medio siglo.

La cuenca Progreso se encuentra al este de la plataforma continental de Santa Elena y está separada de ésta por un complejo de fallas conocido como sistema de fallas La Cruz con dirección predominante NO-SE. Esta limitada hacia el N y NE por la cordillera Chongón-Colonche y hacia el S y SO por el sistema de fallas La Cruz. Tiene una disposición

sinclinorial con un eje mayor de directriz sub-paralela a la Cordillera Chongón-Colonche. Las estructuras dentro de la cuenca Progreso son generalmente paralelas a dicho eje NO-SE y están comunmente asociadas con fallas. Las formaciones del período Eoceno-Oligoceno presentan una disposición caótica debido seguramente a la condición subsidente de la cuenca Progreso.

La cordillera Chongón-Colonche, que ha sido una estrutura positiva desde el Paleoceno, tiene vinculación directa con la orogenia neoandídica. Las alturas de esta cordillera han sido fuentes importantes para el Grupo Ancón primero y luego para las formaciones de la cuenca Progreso y una fuente mayor para el Grupo Azúcar. Su disposición es de tipo monoclinal con dirección E-O y SE-NO y con buzamiento general hacia el SO.

2.3. Columna Estratigráfica

La elaboración de la columna estratigráfica esta basada en la información que se dispone al respecto. Recoge a las formaciones geológicas presentes

en la región sur de la cordillera Chongón-Colonche, con el propósito de enmarcar y relacionar este conjunto de formaciones. (Ver Anexo A)

Para la secuencia estratigráfica se ha considerado una distribución regular a través del tiempo geológico, lo que de manera rigurosa no resulta enteramente aplicable debido a que la regularidad de la depositación en la Península de Santa Elena se ha visto afectada por deslizamientos a nivel regional como es el caso de los complejos olitostromicos existentes.

2.4. Geología Histórica

Las orogenias preandílica y neodílica guardan relación con dos fases geosinclinales distintas que dieron lugar durante, el Paleozoico y Mesozoico, respectivamente, a la configuración de la cordillera de Los Andes en el Ecuador.

La cordillera Real emergida del geosinclinal preandílico, formó durante el Mesozoico un importante umbral de facies entre el este y oeste del país.

El oeste comprende la región geosinclinal de la cordillera Occidental y del Litoral ecuatoriano. Esta región se encuentra caracterizada para entonces, por una abundancia de fenómenos volcánicos, gran parte de ellos submarinos. Las emisiones de lava y roca porfiríticas y diabásicas dan lugar al basamento o zócalo constituido por la Formación Piñón, sobre el que se depositaron las formaciones terciarias posteriores.

Hacia el Cretácico superior, en lo que hoy son las provincias de la costa, se ha constituido un arco insular alrededor del cual empieza la depositación de la formación volcano-sedimentaria marina Cayo.

En el inicio del Terciario, Paleoceno-Eoceno inferior, la cordillera Real con la orogenia neoandídica llega a convertirse en una verdadera cordillera. En las provincias del litoral se produce de manera simultánea el retroceso del mar. Esto origina una sedimentación de facies regresivas, particularmente, en la cuenca de Guayaquil. El principal aporte de trítico proviene de la erosión de las masas elevadas de la cordillera Amotape-Taguin, ramal costero de la cordillera Real ubicada al sur y noroeste de

la cuenca, que era rasgo positivo desde el Paleozoico. Sus rocas metamórficas son la fuente para los abundantes detritos cuarzosos que constituyen las formaciones del Grupo Azúcar.

En el Eoceno medio y superior, la orogenia neoandílica continua dando lugar a la conformación de la cordillera occidental y su correspondiente arco de elevaciones secundarias entre las que destaca la cordillera Chongón-Colonche.

En el Eoceno medio se inicia también una transgresión marina sobre las provincias de la costa en vías de continentalización y sobre el límite septentrional de la cuenca de Guayaquil se depositan las calizas de facie arrecifal, poco potentes, que corresponden a la Formación San Eduardo.

En la cuenca de Guayaquil que permanece marina y subsidente, los sedimentos del Grupo Ancón empiezan a depositarse sobre los del Grupo Azúcar. El aporte de detritos se acentúa desde el norte en tanto que disminuye desde el sur, debido a que la cordillera Chongón-Colonche empieza a levantarse mientras que la cordillera Amotape-Tanguin, sometida a erosión

desde el Cretáceo, se mantiene más baja. Por este motivo, la presencia de detritos cuarzosos se reduce notablemente en las formaciones del Grupo Ancón con respecto a las del Grupo Azúcar.

En el Eoceno superior empieza un proceso de hundimiento general de la región litoral que afecta también a la plataforma, excepción hecha de sus bordes montañosos. Este fenómeno determina durante el Oligógeno, la individualización de la región Ancón-Santa Elena, que por efectos rupturales e isostáticos se convierte en zona emergida al igual que la cordillera Chongón-Colonche. Estas dos unidades estructurales se convirtieron a la vez en límites materiales para una tercera: la cuenca Progreso. En ella se acumularon los sedimentos detríticos provenientes de sus bordes dando lugar a las formaciones Zapotal y Dos Bocas.

El Mioceno superior corresponde a una regresión que pone fin a la transgresión que comenzó en el Eoceno medio y superior. El motivo para tal fenómeno parece ser una fase orogénica que determina el levantamiento definitivo de la cordillera Chongón-Colonche.

La sedimentación en la cuenca Progreso experimenta un ciclo regresivo en sus facies. Las formaciones Zapotal y Dos Bocas y las lutitas neríticas de la Formación Progreso corresponden a facies transgresivas que se invierten. Por este motivo la cuenca Progreso, y particularmente la Formación Progreso, queda caracterizada por una depositación en dos ciclos.

En el Cuaternario, Pleistoceno-Holoceno, se produce el levantamiento definitivo de la cordillera Occidental, que se había comenzado a formar desde el Mioceno superior. Al mismo tiempo que la cadena se levanta, por efectos de la compensación isostática, la zona baja al oeste de los Andes se profundiza y rellena con aluviones cuaternarios provenientes de la denudación de dicha cordillera. De igual manera, esta orogenia da lugar a la emersión de ciertos sectores del fondo marino dando como resultado la Formación Tablazo.

2.5. Geología Económica

El principal recurso que proveen las formaciones

de la Península de Santa Elena es el petróleo. Este se encuentra en las formaciones del Grupo Azúcar. Ha venido siendo explotado desde hace más de medio siglo por la Anglo Ecuatorian Oilfields Ltd. (1926-1976). Desde que caducó el contrato con esta firma, las instalaciones pasaron a dominio de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, CEPE. Aunque se consideraba que los pozos de la Península se encontraban agotados, CEPE ha anunciado un programa de nuevas perforaciones y de recuperación secundaria que permitiran aumentar la producción de 1500 a 9000 barriles por día.

Las calizas de la Formación San Eduardo constituyen un importante recurso para la fabricación de cemento y la provisión de agregado grueso para hormigón. Estas calizas son explotadas en varias canteras ubicadas al oeste de Guayaquil, junto a la vía Guayaquil-Salinas. La más importante, que pertenece a la Compañía Cemento Nacional, queda a la altura del km. 8 1/2.

Las formaciones del Grupo Ancón, Socorro y Seca, y la Formación Dos Bocas, presentan yeso de formación secundaria que es retenido y precipitado en interestratos, fisuras y diaclasas. La explotación de es-

te recurso dado el tipo de depositación en vetillas, cuyo espesor frecuente no es mayor a 3 cm. se realiza solo a pequeña escala, de manera bastante rudimentaria y sin aparentes perspectivas de mecanización. Algunas familias aborígenes se dedican ocasionalmente a recoger este recurso. Por esta falta de yeso en cantidades sujetas a una explotación de escala, el país debe importarlo para abastecer a la industria del cemento.

La lutita silicea y el chert de la Formación Cayo son explotados para obtener agregados gruesos, medios y finos, por lo que resultan comunes las canteras de estos materiales en diferentes sectores alrededor a la ciudad.

Materiales de construcción como gravas y arenas pueden ser localizados en los depósitos aluviales de los cursos fluviales o en los paleocauces de los ríos. Es el caso de la cantera que el Consejo Provincial mantiene en la vecindad de la población Buenos Aires al pié de la carretera Guayaquil-Salinas donde se explotan gravas provenientes del Grupo Azúcar para la ampliación de la mencionada vía.

Por otro lado, numerosos emplazamientos de arcilla pueden ser usados en la construcción de presas de tierra. Así por ejemplo, resulta recomendable con este fin la arcilla-limosa de las formaciones Cayo y Zapotal.

El agua para el consumo humano y la agricultura pueden ser obtenidas de manera limitada en la subsuperficie. Para la explotación de este vital recurso, que escasea en buena parte de la Península de Santa Elena, se dispone de un regular número de pozos ubicados en la vecindad de los distintos poblados.

En general, las condiciones geológicas presentes hacen prever la no disposición de yacimientos minerales de importancia.

III. GEOLOGIA DEL AREA DE LA CUENCA

3.1. Fotogeología y Geomorfología

La interpretación de fotografías aéreas puede ser muy útil cuando se aplica al mapeo geológico y geotécnico durante la fase de reconocimiento de alguna obra civil. Si es correctamente empleada, per-

mite planificar y preparar mejor el trabajo de campo.

El uso de fotografías aéreas no reemplaza al trabajo de campo aunque constituye un instrumento de importante valor. En la actualidad todo proyecto de obra civil que comprenda extensiones territoriales muy grandes exige el empleo de fotografías aéreas.

Una vez concluido este trabajo, la reinterpretación de las fotografías aéreas se efectúa con el propósito de extrapolar los datos obtenidos a aquellas partes donde no se ha podido efectuar una observación directa.

El estudio fotogeológico y geomorfológico de la Cuenca, se hizo en base a fotografías aéreas verticales, blanco y negro, reproducidas en papel semimate, escala 1:60.000 cuyo detalle es el siguiente:

FOTOINDICE # 1

E.M.G. DE LAS FF.AA.
INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
ZONA SANTA ELENA
QUITO, 16 DE MAYO DE 1972

LINEA #	FOTOS #	FECHA DE TOMA
11	2734-2740	17-IV-63
10	1401-1405	12-IV-63
9	3184-3182	12-IV-63

FOTOINDICE # 2

E.M.G. DE LAS FF.AA.
 INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
 ZONA SANTA ELENA
 QUITO, 16 DE DICIEMBRE DE 1977

LINEA #	FOTOS #	FECHA DE TOMA
8A	6177-6180	21-XI-77
6A	6305-6308	29-XI-77

Fue preciso recurrir a dos fotoíndices en razón de que las líneas de vuelo 9 y 10 del fotoíndice # 1 presentaban un traslape deficiente.

[La información obtenida a escala 1:60.000 fue transferida por medio de pantógrafos ópticos a escala 1:50.000, la misma escala del mapa base.

El mapa base fue confeccionado con las hojas topográficas del Instituto Geográfico Militar de acuerdo a la siguiente referencia:

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
HOJAS TOPOGRAFICAS 1:50.000

NOMBRE	CODIGO
ZAPOTAL	CT-MV-A4
CHANDUY	CT-MV-C2
CERECITA	CT-MV-B3
GOMEZ RENDON	CT-MV-D1

El trabajo de fotogeología y geología de campo con todos los detalles sobre litología, topografía, es tructura y drenaje aparecen en el Mapa II.

Las hojas geológicas de la Dirección de Geología y Minas a escala 1:100.000 constituyeron el principal marco de referencia, de acuerdo al siguiente detalle:

DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS
HOJAS GEOLOGICAS 1:100.000

NOMBRE	CODIGO
SANTA ELENA	3487/MU-A
CHANDUY	3486/MU-C
ESTERO SALADO	3586/MU-D
CHONGON	3587/MU-B

La geomorfología de la Cuenca aparece en el Mapa III, confeccionado sobre la base de un trabajo similar a escala 1: 100.000 realizado por el Departamento de Agrología de CEDEGE.

3.2. Análisis Geomorfológico de la Topografía y el Drenaje

Las alturas principales se encuentran en los Cerros de Estancia, ubicados en el límite S y SO de la Cuenca, cuyas principales elevaciones superan los 300 mts. S.N.M., llegando como máximo a los 420 mts. S.N.M. en el Cerro de Animas. Hacia el interior de la Cuenca, en dirección SO-NE, la topografía cambia de manera relativamente brusca, descendiendo a alturas inferiores a los 100 mts. S.N.M. en la parte central donde se encuentra el valle del río Zapotal. Luego la topografía sufre un cambio gradual, de cotas inferiores a 40 mts. S.N.M. a cotas en el orden de 100 mts. S.N.M. que cubren la mayor parte del NE y E de la Cuenca.

La red de drenaje presenta características que guardan relación con los factores climáticos e hidrológicos imperantes.

Los cursos fluviales, secos la mayor parte del tiempo, suelen ser poco profundos por la falta de la acción erosiva del agua, aunque hemos podido observar algunos lugares donde los drenajes se tornan encañonados por el diferente grado de resistencia que presentan los materiales heterogéneos de superficie.

La Cuenca, considerando hasta las quebradas presentes en la parte alta, es de 4°orden. En el sitio Dos Bocas confluyen los dos ramales colectores de 3°orden: uno que recoge las aguas del norte de la Cuenca y otro las del sur. La dimensión de los cauces en este punto es aproximadamente 5 mts. de ancho por 3 mts. de profundidad; en tanto que aguas abajo, en el sitio de presa, es de 12 mts. de ancho por 5 mts. de profundidad.

Topográfica, litológica e hidrográficamente existen dos grandes dominios en la Cuenca: uno en las partes altas con predominio de arenas pertenecientes al Grupo Azúcar y Formación Progreso y otro en la parte baja con predominio de arcillas pertenecientes a los Miembros Dos Bocas y Villingota.

El primer dominio tiene un patrón de drenaje subden-
trítico, en tanto que el segundo posee un patrón sub-
paralelo. La densidad de drenaje en el dominio de
las arenas resulta superior por razones seguramente
topográficas antes que litológicas.

3.3. Formaciones Geológicas

La Cuenca comprende a grandes rasgos formaciones
Terciarias y depósitos Cuaternarios.

Las formaciones Terciarias presentes, siguiendo la
secuencia de la columna estratigráfica, de lo más
antiguo a lo más reciente, son: Grupo Azúcar (PEa);
Formación Zapotal con sus tres Miembros: Zapotal (Ez),
Dos Bocas (Omd6) y Villingota (Mu); y Formación
Progreso (Mp).

El Grupo Azúcar ocupa la parte S y SO donde se pre-
sentan los Cerros de Estancia. El contacto del Gru-
po con las formaciones más recientes es factible por
la presencia del sistema de fallas La Cruz. La
vecindad de la falla regional da lugar a que los a-
floramientos sean generalmente fallados.

La Formación Tosagua ocupa en su conjunto la parte oeste y centro-oeste de la Cuenca. El Miembro inferior Zapotal está confinado a una pequeña área ubicada en el límite oeste. El Miembro intermedio Dos Bocas ocupa la mayor parte del área que corresponde a la Formación Tosagua. El Miembro superior Villingota se localiza en la parte central de la Cuenca y se proyecta alargado según un eje NS.

La Formación Progreso se ubica en la zona NE y E de la Cuenca.

Los depósitos aluviales se encuadran en el marco que proporciona la red de drenaje, encontrándose en los cauces de los ríos arenas y gravas y en las terrazas adyacentes limos-arcillosos y limos-arenosos, principalmente.

3.4. Estructuras Geológicas

La Cuenca comprende, de acuerdo a la descripción de la región en que se inscribe, dos unidades estructurales: la cuenca Progreso y la Plataforma Continental de Santa Elena.

El conjunto geoestructural de la Cuenca baja hacia el este y noreste, a manera de sinclinorio, por la influencia de los pliegues sinclinales Progreso y San Antonio que forman parte de la cuenca Progreso.

El eje del sinclinal Progreso constituye el eje principal de la cuenca Progreso. La traza de este eje aparece en el noreste de nuestra área de estudio, según la dirección NO-SE. El eje del sinclinal San Antonio se encuentra fuera de la Cuenca, no obstante lo cual ejerce plena influencia sobre el conjunto geoestructural, particularmente hacia el SE.

Todos los pliegues regionales y de menor proporción son pliegues abiertos con un promedio de 10 a 20° en sus respectivos flancos.

La falla La Cruz constituye el límite entre las unidades estructurales de la cuenca Progreso y la plataforma continental de Santa Elena. Se considera que se formó durante la deformación posterior a la deposición del Grupo Azúcar que afectó probablemente a toda la cuenca Progreso. Al parecer se trata de una falla normal de alto ángulo que buza hacia

el este. Su desplazamiento máximo ha sido estimado en 7000 pies aunque varía a lo largo del rumbo, decreciendo hacia el N.

El extenso fallamiento de los sedimentos del Grupo Azúcar hizo emerger sobre el lado oeste de la falla a los Cerros de Estancia, los cuales desde entonces han sido rasgos positivos que forman el límite occidental de la cuenca Progreso. Al Este de esta falla la masa de tierras subsidió lo suficiente para permitir la depositación subsecuente.

El fallamiento de bloques que se observa asociado a la falla principal, se atribuye a esfuerzos establecidos por el incremento deposicional del Terciario tardío, lo que renovó los movimientos a lo largo de los planos de fallas previos. Este patrón de fallamiento de bloques puede ser observado en los sedimentos del Grupo Azúcar que no fueron cubiertos por la sedimentación posterior; esto es, al oeste la falla La Cruz.

La única razón para que el sistema de falla La Cruz sea considerado como que incluye fallas normales antes que de empuje o inversas es el resultado de fueru

zas tensionales que se ajustan mejor al panorama completo de colapsamiento tectónico Terciario de la cuenca Progreso, que fuerzas compresionales que puedan haber dado lugar a fallas inversas o de empuje. En toda la cuenca Progreso el caso general de buzamiento de 5 a 15° se considera como un reflejo del sometimiento de la Cuenca a fuerzas tensionales antes que compresionales. Buzamientos locales de 20 o 25° son interpretados como la expresión superficial de alguna falla.

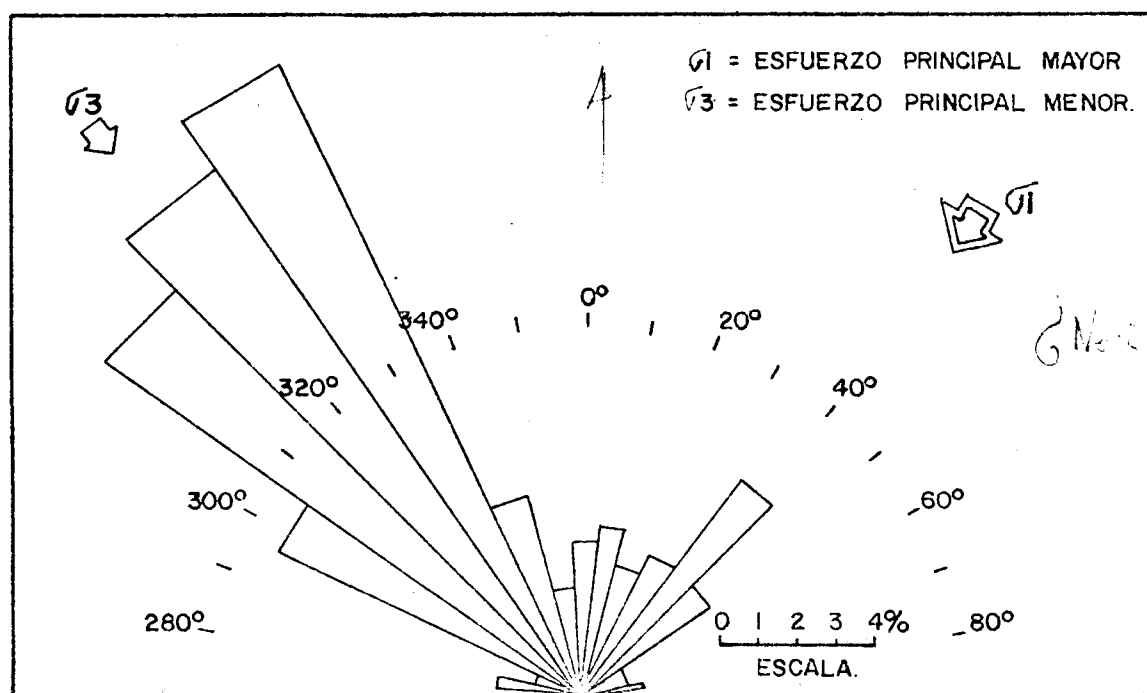
En síntesis, es probable que el entramado tectónico de la cuenca Progreso quedó establecido cuando empezó a fracturarse debido a los esfuerzos liberados por la compresión (flexión) Post-Grupo Azúcar. Bajo estas condiciones tensionales, fallas similares a la falla la Cruz deben haber experimentado una reversión en el movimiento dando lugar a un sistema de fallas de gravedad.

3.5. Análisis del sistema geoestructural por fotolíneamientos

La técnica consiste en marcar los lineamientos ob-

servables en las fotografías aéreas mediante visión oblicua sobre una mesa de luz. Una característica de esta técnica es que no distingue entre fallas, fracturas y otras estructuras; se refiere sencillamente a lineamientos que ofrecen según el caso, trazos rectos simples, compuestos o ligeramente curvados. Se considera también como fotolineamientos tramos rectos de corriente, cambios bruscos o angulares de drenaje y vegetación alineada.

Luego de identificar y clasificar en función de su rumbo los fotolineamientos fue posible elaborar la siguiente roseta de alineamientos:



En la roseta se puede advertir la existencia de un alineamiento preferente NO-SE, que debe ser interpretado como una franja de fracturación.

Este alineamiento NO-SE permite inferir que el esfuerzo de reacción al esfuerzo de plegamiento actuó en sentido perpendicular, es decir, NE-SO. La dirección NO-SE del eje del sinclinal Progreso confirma que el esfuerzo de plegamiento al que estuvo sometido la cuenca Progreso fue en sentido perpendicular NE-SO.

El otro alineamiento NE-SO, virtualmente perpendicular al anterior, es de mucho menor densidad. Debe estar asociado con fracturaciones producidas por los esfuerzos de relajamiento.

3.6. Geohidrología

La geohidrología en nuestra área de estudio depende de la hidrología y meteorología y de la geología.

De acuerdo a estudios realizados por CEDEGE, la

Precipitación Media Anual en el período 1963-1975 determina que para la cuenca del río Zapotal los valores de las isoyetas aumentan en dirección SO-NE entre 300 y 600 mm/año. Esto quiere decir, naturalmente, que en el sector NE de la Cuenca lloverá más que en la parte SO, conforme a las cantidades señaladas. Si consideramos, por añadidura, que la Cuenca presenta niveles de evapotranspiración promedio entre 1000-1500 mm/año, la conclusión obvia es que no se presantan, en principio, buenas condiciones para la acumulación de aguas subterráneas.

Por otro lado, si consideramos la conformación geológica resulta que las estructuras dominantes, es decir, los sinclinales regionales Progreso y San Antonio, son interceptoras del drenaje, ya que para el caso de acumulación de agua, esta no corre hacia abajo, según la dirección E-O de la Cuenca, sino que se queda en los sinclinales con dirección precisamente opuesta, de tal modo que le quita potencialidad de agua subterránea a la parte baja de la Cuenca. A parte de éstas, no observamos otras formas estructurales para la acumulación de aguas, ya que en el caso de la falla La Cruz, que constituye

en cierto modo la parte baja de la Cuenca, no es posible, o al menos es muy difícil, definir un modelo de acuífero debido al caótico fallamiento presente.

En cuanto a la litología en la que predominan lutitas y arcillas, solo estas últimas pueden eventualmente presentar en los estratos condiciones para la acumulación de aguas. Sin embargo, debido a que la Cuenca esta cubierta por suelos arcillosos, ciertamente impermeables, se va a tornar muy difícil la penetración de agua a los niveles rocosos donde pueda darse tal acumulación.

En lugares como Sacachún y Ciénega, ubicados precisamente en el sector NE de la Cuenca donde la precipitación pluvial es más alta, existen pozos someros excavados a mano donde se explota agua subterránea para usos domésticos.

Si observamos la columna estratigráfica en los pozos, está se compone indistintamente de materiales limosos, arenosos y gravosos, con lutitas que son

poco potentes, siendo este un aspecto desfavorable para la formación de acuíferos, que pueden ser considerados como depósitos sub-superficiales y que, por lo tanto, no constituyen acumulaciones importantes de agua subterránea.

En general, en nuestra área de estudio, debido a las arcillas impermeables que recubren las distintas formaciones, a la baja pluviosidad y alta evapotranspiración, no existen condiciones apropiadas para la acumulación de aguas subterráneas que permitan la presencia de acuíferos explotables en importantes volúmenes.

3.7. Cortes

Para efectos de analizar la disposición geoestructural de nuestra área de estudio, realizamos dos cortes AA' y BB' que constan el Mapa II.

El corte AA' se encuentra en la vecindad del sitio de presa, es decir, en la parte baja de la Cuenca. Si bien no recoge mucho detalle sobre las principales estructuras, resulta obligado por su proximidad a la obra proyectada.

El corte BB', con igual dirección NE-SO, se localiza en la parte alta de la Cuenca. A diferencia del anterior corta a todas las principales estructuras.

Por no ser propósito esencial del presente estudio y por no disponer de información complementaria, el sistema geoestructural no se proyectó sino hasta los 150 mts. de profundidad, que estimamos resulta suficiente para cumplir con el objetivo propuesto.

Por simplificaciones propias del análisis asumimos que los pliegues son isopacos y que las fallas son perfectamente normales.

En algunos casos el buzamiento de los estratos no es real sino aparente. Esto se debe a la proyección oblicua de rumbos y buzamientos que obliga a efectuar reajustes de perspectivas. Así por ejemplo, en el corte AA' los estratos aparentan un buzamiento de 30° cuando en realidad son casi horizontales.

El desplazamiento relativo para las fallas normales se ha estimado en función de los escarpes observables en las fotografías aéreas.

La escala vertical hubo de ser aumentada a fin de obtener detalle en el relieve.

IV.- SUELOS

4.1. Generalidades

Los suelos pueden ser residuales o transportados. Residuales son los que permanecen en el mismo sitio en que se formaron y todavía yacen directamente sobre los materiales de procedencia o rocas madres. En cambio, suelos transportados son los que han sido llevados más o menos lejos del lecho original de la roca de que proceden, para volver a ser depositados en otra localidad. Los agentes del transporte pueden ser el agua (suelos aluviales o fluviales), la fuerza de gravedad (suelos coluviales, tales como los de talud), el viento (suelos eólicos) y, finalmente, el hielo (suelos glaciares).

4.2. Suelos Residuales

Los suelos residuales se originan cuando los pro-

ductos de la meteorización no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan "in situ" bajo la interacción de factores genéticos tales como clima, topografía, roca madre, actividad biológica y tiempo.

La formación de un suelo residual puede ser visualizado como si se verificara en dos etapas: a) acumulación de materia parental procedente de la roca madre y b) diferenciación de horizontes en el perfil en función de procesos que pueden ser resumidos como ganancias, pérdidas, transformaciones y translocaciones. Estos términos permiten una definición más amplia de fenómenos tales como eluviación e iluviación, lixiviación o lavado, enriquecimiento, desalinización, alcalinización, laterización, migración mecánica de arcillas, humificación, etc.

La formación de suelos residuales en una región semi-árida como la de la Cuenca, se caracteriza por una evapotranspiración que excede con creces a la precipitación pluvial, por lo que es muy escasa el

agua que percola a través del perfil. En consecuencia, la ausencia del lavado del perfil resulta la característica más importante de los suelos residuales en este tipo de región. Además, la poca agua aprovechable determina que las reacciones químicas y físicas que regulan el proceso de meteorización sean poco intensas en relación a lo que ocurre en las regiones húmedas, por lo que el espesor de estos suelos resultará comparativamente inferior.

En general, los horizontes pedogenéticos que se encuentran en las regiones áridas o semi-áridas pueden haberse formado en el ambiente actual o pueden ser relictos de un régimen anterior más húmedo. En nuestro caso, la acumulación de sales, carbonatos y sílice en los horizontes inferiores, sugiere procesos de lixiviación, ahora inexistentes, que precipitaron las soluciones cuando el flujo húmedo paró por efectos de la evapotranspiración.

La identificación de los suelos residuales y transportados presentes en la Cuenca, se efectuó en base al análisis de la geomorfología. El resultado que consta en el Mapa IV fue ajustado con el uso de fo-

tografías aéreas y chequeos de campo.

Los suelos residuales del Mapa IV se clasifican de acuerdo a su espesor relativo, según dos zonas: a) zonas con suelos de espesor mayor a 1 m.; y b) zonas donde ocurren suelos con espesor menor a 1 m. En ambos casos, la parte superior del terreno presenta una capa meteorizada de arcilla expansiva, disgregada por una difusa red de fisuras hasta el punto de estar constituido por bloques casi sueltos. Esta capa experimenta además períodos alternativos de humedad y sequedad a lo largo del año. Esta penetrada por materia orgánica, presentando un color obscuro con ligera variación en los matices.

Los suelos residuales se emplazan por igual en colinas y mesetas, en tanto que los suelos transportados se limitan a las partes bajas de valles y terrazas y al pie de monte en los Cerros de Estancia.

4.3. Perfiles de Meteorización

Los perfiles de meteorización fueron observados en los cortes del tramo de la carretera Guayaquil-Salinas que atravieza la cuenca con dirección NO-SE y

en los taludes de los cauces fluviales donde no había el impedimento de coberturas coluvio-aluviales.

Deere y Patton en su memoria sobre estabilidad de taludes en suelos residuales presentada ante el IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos, sugiere dividir el perfil de meteorización en: I) suelo residual, II) roca meteorizada, y III) roca fresca y relativamente no meteorizada.

El suelo residual se subdivide en tres zonas IA, IB e IC, las cuales corresponden a los horizontes A, B y C de los pedólogos.

- Horizonte A, Zona IA.- Este horizonte se define como la zona de eluviación, empobrecida por la infiltración de agua que transporta materiales en suspensión o solución, suelo abajo. En la zona IA a menudo se desarrollan texturas granulares. Su parte superior es generalmente rica en humus.
- Horizonte B, Zona IB.- Es la zona de iluviación o de deposición de materiales sólidos que han sido transportados del horizonte A. El horizonte

B es generalmente de color oscuro, rico en minerales con tamaño de grano dentro del margen de las arcillas, y ha sido despojado por lixiviación de sus constituyentes solubles originales. La zona IB esta alterada hasta tal punto que existe muy poca indicación del material parental y ninguna de la estructura original de la masa rocosa.

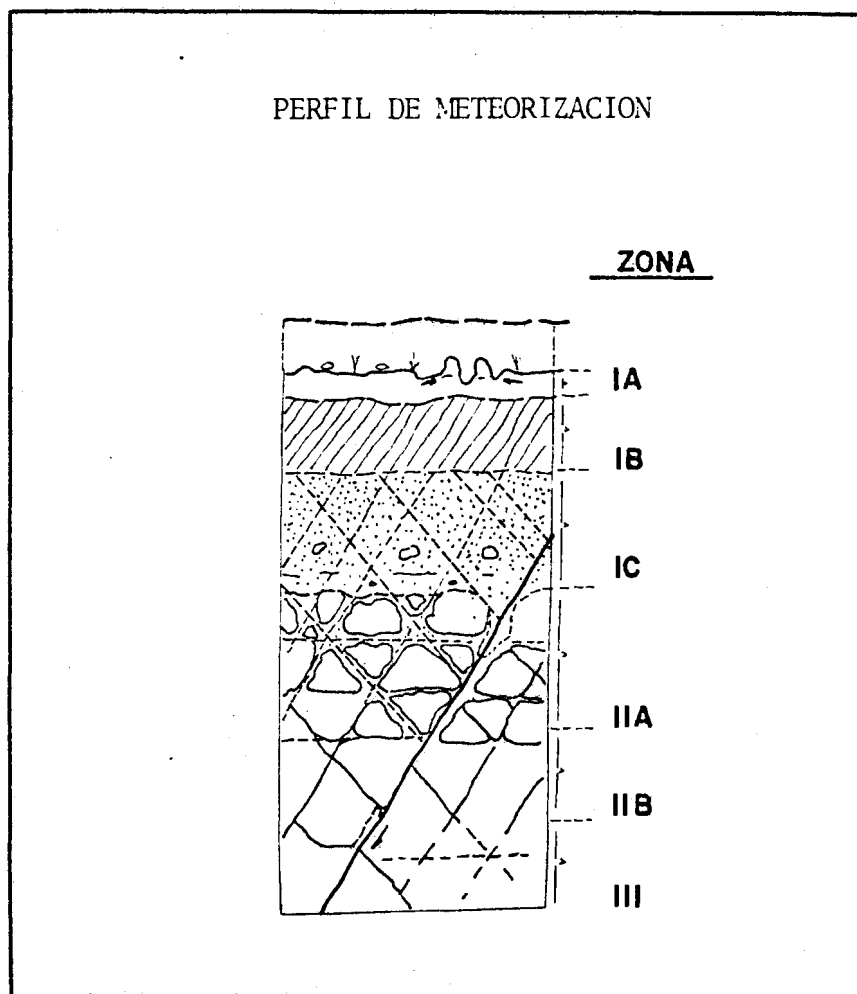
- Horizonte C, Zona IC.- El horizonte C se reconoce por las estructuras originales de la roca; pero a pesar de ser éstas evidentes, el material se tipifica más como un suelo que como una roca. Las estructuras heredadas de la roca incluyen diaclasas, fallas y minerales que tienen vinculación idéntica a las de sus posiciones relativas originales. Con el propósito de distinguirla de las capas de roca meteorizada, más abajo, la Zona IC, conocida también como Saprolito, se define con un contenido de núcleos de roca inferior al 10% de su volumen.

La roca meteorizada se subdivide en dos zonas: una superior IIA, la cual es de transición del saprolito a la roca meteorizada; y una inferior

IIB, constituída por la roca parcialmente meteorizada.

- La Zona de Transición, Zona IIA.- La zona IIA se caracteriza por los amplios límites de las propiedades físicas de sus componentes. Varían estos desde materiales tipificados como suelos, hasta núcleos de roca tipificados como materiales rocosos. Los núcleos de roca comprenden del 10 al 95% del volumen de la zona de transición.
- Zona parcialmente Meteorizada, Zona IIB.- La roca contenida en la zona IIB presenta una notable decoloración y algo de alteración a lo largo de las diaclasas. A medida que la alteración avanza, la roca se degrada de su estado original a uno en el cual la roca presenta menor resistencia al corte y módulo de elasticidad pero mayor permeabilidad.

La roca fresca y relativamente no meteorizada, es decir la zona III, no se subdivide.



Esta secuencia que muestra la figura , si bien simple en apariencia, no es siempre fácil de aplicar debido a la naturaleza irregular y a menudo gradual de los contactos.

En nuestra área de estudio, haciendo abstracción de particularidades locales, puede asimilarse el

siguiente perfil de meteorización para las distintas formaciones sedimentarias:

- La zona IA (0-5 cm.) presenta grietas hasta de 30 cm. de profundidad, es arcilloso, la estructura varía de granular moderada a blocosa subangular fuerte. El color predominante varía entre gris y pardo grisáceo muy oscuro.
- La zona IB (5-55 cm.) no tiene caracter iluvial, es arcilloso, de estructura blocosa subangular, siendo común el color gris oscuro.
- La zona IC (55-100+) es arcilloso, masivo y de color variable entre amarillo oliva, pardo oliva claro y gris.

La roca meteorizada suele presentarse de forma masiva, extensamente fracturada cuando se trata de lutitas, con un horizonte de transición muy pequeño con respecto al suelo residual.

La roca intacta no aparece en la mayor parte de los perfiles observados, salvo en los afloramientos donde el desarrollo del perfil de meteorización es to-

talmente incipiente.

El perfil típico no sugiere, de ningún modo un modelo rígido. Por el contrario, debemos admitir que en el terreno se produzcan ciertas variantes debido a factores litológicos y topográficos, principalmente.

4.4. Suelos Transportados

La formación de suelos transportados puede explicarse más adecuadamente considerando la formación, el transporte y el depósito de los sedimentos.

El modo principal de formación de sedimentos lo constituye la meteorización física y química de las rocas en la superficie terrestre. En general, las partículas de limo, arena y grava se forman por la meteorización física de la roca, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas. La formación de partículas arcillosas a partir de las rocas se puede producir bien por combinación de elementos en disolución o por la descomposición química de otros minerales.

Los sedimentos que dan origen a los suelos transportados pueden ser desplazados, según hemos anotado, por el agua, la acción de la gravedad, el viento y el hielo. El transporte afecta a los sedimentos de dos formas principalmente: a) modificar la forma, el tamaño, y la textura de las partículas por abrasión, desgaste, impacto y disolución; b) produce una clasificación o graduación de las partículas.

Luego de que las partículas se han formado y han sido transportadas, se depositan para formar un suelo sedimentario. Las tres causas principales de este depósito en el agua son: la reducción de velocidad, la disminución de la solubilidad y el aumento de electrolitos.

En nuestra área de estudio, el agua es el principal agente de transporte, seguido de la pendiente y en menor proporción el viento.

Hay dos tipos de suelos transportados presentes en la Cuenca, que son: a) depósitos aluviales en valles y terrazas; b) depósitos coluviales de pie de monte que recubren a manera de manto la parte baja de los Cerros de Estancia.

La disposición de ambos tipos de depósitos pueden ser observados en el Mapa IV.

Los depósitos aluviales son de topografía regular y con pendientes comprendidas en el intervalo de 0-5%, aunque usualmente presentan pendientes inferiores a 2%.

Si bien existen distintos niveles de terrazas, no ha sido posible identificarlos debido, por un lado, al detalle que permite la escala 1: 50.000 y, por otro lado, a los requerimientos mismos del trabajo que no demandan semejante precisión. En consecuencia, las terrazas son mapeadas como terrazas indiferenciadas, a excepción de un par de paleoterrazas adyacentes al valle del río Zapotal mapeadas por fotointerpretación.

En la práctica, sin embargo, es posible diferenciar dos niveles de terrazas: a) terrazas altas que constituyen los antiguos niveles por donde fluyó algún río, que ocupan una posición elevada con respecto al nivel de las terrazas bajas a manera de escalón dentro del paisaje del plano aluvial y que presentan suelos depositados y meteorizados con textura que es por lo general arcillosa; b) terrazas bajas,

que constituyen niveles bajos con relación a las terrazas altas, que están situadas por lo general adyacentes al lecho actual de los ríos y que presentan suelos transportados con textura media a gruesa.

En las posiciones geomorfológicas más antiguas o planas del pie de monte, la cobertura coluvial ha sido barrida presumiblemente por la acción del viento o en su defecto meteorizada.

La cobertura coluvial consiste en fragmentos de roca de diferentes tamaños y características, provenientes de los Cerros de Estancia (Grupo Azúcar), englobados en una matriz limo-arenosa de color café rojizo. Esta cobertura puede ser apreciada en cortes, próximos a la población de Zapotal, realizados para la colocación de la tubería del acueducto Guayaquil-Salinas, con espesores que fluctúan entre 1.0 - 1.5 mts.

En la parte superior de la cobertura se observa un desarrollo incipiente del perfil de suelo. Con el tiempo este perfil madura, llegando a presentar a-

pariencia semejante a los suelos residuales en las posiciones geomorfológicas más antiguas o planas. En estos lugares, la presencia de pequeños fragmentos de roca dispersos en superficie (5-15 cm.) con características similares a los ventifactos, sugieren la erosión eólica de la cobertura al mismo tiempo que se opera la meteorización del perfil.

El perfil típico de estos suelos presenta una zona IA (0-5 cm.), parcialmente truncada por la erosión eólica, arenosa, eluvial, de textura gruesa y coloración gris oscura a clara.

La zona IB (5-50 cm.) es un horizonte iluvial, predominantemente arcillosos, de estructura blocoso subangular, de firme consistencia y de coloración gris oscura a clara. La presencia de gravilla, producto del intemperismo de los fragmentos de roca, resulta común en este horizonte.

No fue posible definir el horizonte IC debido a que ésta observación fue producto de calicatas de aproximadamente 50 cm. de profundidad efectuadas para el muestreo de suelos.

Por el momento, nos limitaremos a efectuar la descripción general de los suelos precisando ciertos detalles sobre las características que presentan sus emplazamientos. Más adelante, describiremos aspectos sobre sus propiedades geomecánicas para fines de su utilización y clasificación geotécnica.

V. ESTABILIDAD DE TALUDES

5.1. Generalidades

El problema de la estabilidad de taludes naturales o artificiales tiene importancia no solo a causa de los trastornos y gastos que pueden producir en una obra en construcción, sino también por la pérdida de vidas en obras ya terminadas. Así mismo, la estimación de la estabilidad de taludes en condiciones particularmente críticas, como por ejemplo aquellas que se presentan con ocasión de un sismo, reviste de singular importancia, tanto para obras civiles como para asentamientos humanos que están expuestos a deslizamientos que pueden poner en peligro la vida de muchos de sus habitantes.

Al hablar de deslizamientos es importante considerar que la corteza terrestre está constituida por materiales sólidos que reaccionan ante las sollicitaciones de modo análogo como la hacen los materiales de construcción cuando se ensayan en el laboratorio. Por igual, es vital estimar que los elementos de la corteza terrestre obedecen a las leyes de la gravedad, por lo que la causa principal de todos los movimientos en pequeña escala se deben, simplemente, a la acción de la gravedad en su forma usual.

Los deslizamientos o movimientos de tierras conforme a sus distintas características pueden clasificarse en: 1) Caídas, que son prácticamente caídas libres o deslizamientos de pendiente muy fuertes. 2) Esguimientos o Deslizamientos propiamente dichos, que corresponden a la forma clásica de deslizamientos; pueden ser a su vez: a) rotacionales, cuando involucran materiales homogéneos y b) planares, cuando hay de por medio alguna discontinuidad. 3) Flujos, que ocurren cuando el material se comporta de un modo viscoso, presentan velocidades inferiores a la de los esguimientos, y 4) Movimientos subacuáticos, que son deslizamientos que se producen bajo el agua.

Otra clasificación propone como base el criterio sobre si los deslizamientos son activos o estables. Bajo esta consideración tendríamos: 1) Deslizamientos estabilizados, 2) Deslizamientos recientemente activos, 3) Deslizamientos reactivados (estos tres primeros demuestran actividad reciente pero no se están deslizando), y 4) Deslizamientos activos.

Asi mismo, según la cantidad de material involucrado en el movimiento, los deslizamientos pueden ser clasificados como : 1) Someros y 2) Profundos.

La mayor parte de la investigación hecha en el pasado sobre estabilidad de taludes se ha concretado en el estudio de deslizamientos ya existentes. No obstante, lo realmente necesario en la práctica de la ingeniería es la investigación adecuada de taludes de manera anticipada con el objeto de prevenir rupturas y de adquirir conocimiento sobre taludes potencialmente inestables.

Los objetivos de cualquier programa de exploración para el diseño de taludes deben ser: 1) la delineación de la naturaleza del perfil de meteorización. 2) la localización de los principales defectos es-

estructurales presentes. 3) la determinación de las condiciones de agua sub-terránea, y 4) la determinación del modo de ruptura probable y de los parámetros apropiados de resistencia al corte a lo largo de las superficies de ruptura potencial.

La mayoría de los taludes existentes en suelos residuales no han sido diseñados, sino que las pendientes han sido seleccionadas en base a la experiencia personal y a la preferencia del diseñador. Esto quiere decir, que en la mayoría de los casos se diseña por precedente, debido a que una investigación sobre estabilidad de taludes demanda mucho tiempo y dinero, que solo se justifica en contados casos.

5.2. Pendientes del Terreno

Las categorías de las pendientes en nuestra área de estudio han sido definidas con rangos porcentuales, en base a la clasificación propuesta por Nichols y Edmunson en 1979. Según esta clasificación tenemos: 1) pendientes entre planas y suaves 0-5%. 2) pendientes entre suaves y moderadas 5-15%. 3) pendientes entre moderadas y empinadas 15-30%. 4) pendientes empinadas 30-50%. 5) pendientes muy empinadas

50-70%, y 6) pendientes entre empinadas y escarpadas >70%.

El mapa de pendientes elaborado en base a observaciones de campo y oficina, de acuerdo a esta clasificación, aparece en el Mapa V.

Este trabajo representa una aproximación, ya que variaciones locales deben ser asimiladas para definir la tendencia general de la pendiente en las distintas zonas de la Cuenca. Esto quiere decir, que en la práctica es perfectamente posible que una zona mapeada con rango 5-15%, localmente presente en el terreno un rango 15-30%.

En la Cuenca conforme al Mapa V se presentan pendientes entre planas y empinadas; es decir, dentro del intervalo 0-70%.

Las pendientes entre suaves y moderadas de rango 5-15% predominan sobre el resto. La siguen en importancia las pendientes entre planas y suaves de intervalo 0-5%.

Si analizáramos en el Mapa V los emplazamientos geomorfológicos, para cada rango de pendiente tenemos:

- Pendientes entre suaves y bajas (0-5%).- Ocupan toda la zona que corresponde a la parte baja de la Cuenca y en general al sistema de valles y terrazas.
- Pendientes entre suaves y moderadas (5-15%).- Corresponden a la parte media y alta de la Cuenca. Hacia el sur ocupan una zona limitada a las faldas de los Cerros de Estancia, pero hacia el centro y norte se presentan difundidas. A medida que pasamos de la parte media de la Cuenca hacia la parte alta, la tendencia pasa de pendientes suaves, a moderadas y ligeramente empinadas en algunos casos.
- Pendientes entre moderadas y empinadas (15-30%).- Se encuentran principalmente en las partes altas de la cuenca, aunque se presentan también en determinadas elevaciones de la parte media y media alta.

- Pendientes empinadas (30-50%).- Se ubican exclusivamente en las elevaciones de la parte alta de la Cuenca. Están presentes en los Cerros de Estancia, en el límite de la Cuenca por donde pasa el camino Ciénaga-Progreso y, finalmente, más hacia el norte, en la parte correspondiente a la población de Ciénaga.
- Pendientes muy empinadas (50-70%).- Se limitan a las elevaciones más importantes de los Cerros de Estancia, como es el caso de los Cerros de Animas y Zapotal.

La determinación de zonas de igual pendiente resulta de utilidad como instrumento para la zonificación geotécnica, ya que contribuye a identificar unidades geomorfológicas perfectamente definidas en el terreno. Además, nos ofrece una idea bastante clara sobre las zonas donde pueden existir problemas específicos de ingeniería como es el caso de la estabilidad de taludes naturales.

5.3. Estabilidad de Taludes en las diferentes formaciones

Las causas que pueden dar lugar a deslizamientos son múltiples; sin embargo, suelen agruparse en causas externas e internas.

Las externas son: 1) precipitaciones excesivas, 2) sismos, y 3) acción del hombre.

Las internas son: 1) características de la corteza involucradas en el desplazamiento, y 2) morfología de la corteza terrestre.

Las precipitaciones constituyen sin duda un factor crucial para la inestabilidad de taludes en las zonas húmedas; al no estar presentes sino en cantidades modestas y ocasiones limitadas al período invernal, no constituyen, salvo en casos excepcionales, motivo para deslizamientos de regulares proporciones en la Cuenca, ya que no hay agua en exceso que vaya a disminuir la resistencia al corte en el perfil de meteorización y en las discontinuidades que éste presente. De igual modo, el nivel de aguas subterráneas tampoco va a significar motivo de aporte a la inestabilidad de taludes debido a que se encuentra abatido y confinado a muchos metros de profundidad.

Sismos de regular intensidad ocasionalmente pueden presentarse en nuestra área de estudio, pero hasta el momento no se ha reportado ningún deslizamiento reciente de importancia ocasionado por este fenómeno natural.

La acción del hombre está presente en varios cortes del tramo correspondiente a la Cuenca de la carretera Guayaquil-Salinas y en un par de cortes en el camino Buenos Aires-Cerro Zapotal. El resto de cortes en los otros caminos existentes no revisten de importancia alguna por sus pequeñas dimensiones.

Los cortes de la carretera Guayaquil-Salinas afectan, en dirección EO, a la formación Progreso, Miembro Villingota, Miembro Dos Bocas y, en mínima parte, al menos en nuestra área de estudio, al Miembro Zapotal. Estos cortes fluctúan entre 2 y 9 mts. de altura, sin que se observen en el terreno problemas con respecto a su falta de estabilidad.

Conforme a la experiencia recogida por el Consejo Provincial del Guayas en el diseño, construcción, mantenimiento y ampliación de la carretera, para un talud tipo de 5 mts. de altura, que con miras a

futuras obras civiles resultan un promedio adecuado en razón de la topografía ligeramente colinada predominante, las características de estabilidad para las distintas formaciones será la siguiente:

- Formación Progreso.- El perfil de meteorización está compuesto normalmente por suelo residual entre 1 y 3 mts. y roca meteorizada, algo más competente que la de los Miembros Villingota y Dos Bocas y compuesta, usualmente, por areniscas de grano fino y limosas. La estabilidad de estos cortes se consigue con taludes del tipo 0.25:1.
- Miembro Villingota.- Los cortes presentan una capa de suelo residual de poco espesor seguida de la lutita fisible y deleznable típica del Miembro Villingota. Al pie del talud se acostumbra a colocar una grava que actúa como berma para impedir que se acumule la lutita en cantidades que puedan ocupar parte de la calzada. La estabilidad de estos taludes se obtiene según la relación de corte 1:1 o 1: 1.2.

- Miembro Dos Bocas.- El perfil de meteorización resulta bastante similar al del Miembro Villingota, con la diferencia que la lutita no es tan deleznable y en consecuencia no se acostumbra colocar ninguna protección al pie del talud. La estabilidad de los cortes se obtiene con taludes del tipo 1:1.4, es decir, poco más parados que los del Miembro Villingota.
- Miembro Zapotal.- Los cortes presentes son muy pequeños, de tal manera que no es posible sugerir un talud tipo de acuerdo a las observaciones y experiencia de campo, pero asumimos que se trata de materiales algo más competentes que para el caso del Miembro Dos Bocas.

En cuanto a los cortes del camino Buenos Aires- Cerro Zapotal, alcanzan en un sitio próximo a la cota 200 mts., la altura máxima de 10 o 12 mts. con un corte casi sub-vertical en el que se observa, al pie del talud, bloques de roca de regular tamaño que han caído obstaculizando parte de la calzada, debido al efecto de cuña ocasionado por la presencia de fracturas y diaclasamientos múltiples que caracterizan al

Grupo Azúcar y, además, a la estratificación que se presenta en el mismo sentido de la pendiente natural del terreno. La relación de corte que permita la estabilidad de este talud, y otros similares en cuanto al material involucrado y de igual o menor altura, puede ser 0.20:1.

El factor de seguridad que debe considerarse para el diseño de taludes en las distintas formaciones, de acuerdo a las relaciones de corte anotadas, es de aproximadamente 1.2, pudiendo ser algo mayor en particular para el Miembro Villingota. Este valor no incluye el riesgo sísmico considerado para la región como correspondiente a una magnitud de 6.5 escala de Richter, debido a que por la uniformidad de los depósitos sueltos no habrá un comportamiento diferencial que lo justifique.

En general, en nuestra área de estudio las pendientes naturales del terreno son entre suaves y moderadas, de tal modo que la morfología de la corteza como factor no será motivo para la inestabilidad de los taludes, salvo en las elevaciones prominentes de la cabecera de la Cuenca donde se encuentran pendientes más empinadas.

A pesar de todas las restricciones señaladas en cuanto a las causas de deslizamientos, si tuviéramos que sugerir un deslizamiento tipo, nos permitiríamos proponer como modelo un deslizamiento somero en las partes superiores del suelo residual o un desmoronamiento de una capa coluvial delgada que en ningún caso van a comprometer obras civiles existentes o vidas humanas.

DESLIZAMIENTOS TIPO

**DESLIZAMIENTO SOMERO EN
LAS PARTES SUPERIORES
DE UN SUELO RESIDUAL
ZONAS (IA-IB).**



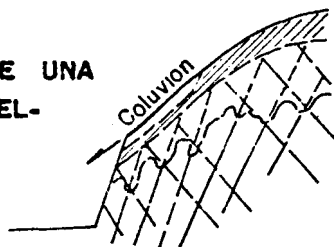
ZONA

I

II

III

**DESLIZAMIENTO DE UNA
CAPA COLUVIAL DEL-
GADA.**



ZONA

I

II

III

En razón de todos los antecedentes expuestos, podemos concluir que la estabilidad de taludes no constituiría mayor problema geotécnico; que en el caso de cortes estos no serán de mayor dimensión debido a las condiciones topográficas imperantes y, además, no necesitaran precauciones especiales de diseño; y que en cuanto a las pendientes naturales, tampoco serán motivo de preocupación mayor, en atención a las características geomorfológicas, geológicas y climatológicas presentes.

VI. PROPIEDADES GEOMECHANICAS DE LOS MATERIALES

6.1. Rocas

6.1.1. Generalidades

La geología del área de estudio ha sido vista ya con cierto detalle en el Capítulo III.

Las muestras de roca tomadas en el campo corresponden al Grupo Azúcar, Miembro Zapotal y Formación Progreso. No fue posible obtener muestras en los Miembros Dos Bocas y Villingo

ca debido a que las lutitas y limolitas que afloran, no permiten por su caracterísitica ya descrita, fisible, fracturada y meteorizada, realizar los ensayos que más adelante se rán detallados. La mayor parte de las once muestras extraídas, nueve para ser más precisos. son areniscas. La ubicación de cada muestra aparece en el Mapa VI.

Las areniscas del Grupo Azúcar varían mucho horizontal y verticalmente en pequeñas distancias. Los estratos, así mismo, varían notablemente de espesor. Sin ninguna excepción son grauvacas y subgrauvacas. Son sobre todo impermeables y cementadas con sílice y solo rara vez son calcáreas. Sin embargo, la fracturación en muchos casos intensa permite la circulación de fluídos. La mayor parte de las fracturas son visiblemente verticales pero muchas son de 45° y 30° con relación a la vertical . A simple vista, las rocas del Grupo Azúcar lucen más compactas y duras que aquellas del Miembro Zapotal y de la Formación Progreso.

Las muestra A, B, y D pertencen al Grupo Azúcar.

Las areniscas del Miembro Zapotal difieren grandemente y varían de pobremente clasificadas, muy arcillosas, duras y sin permeabilidad, a bien clasificadas, suaves, frágiles y muy puras. Varían así mismo, de areniscas cuarzosas a grauvacas, conteniendo frecuentemente fragmentos de madera y en muchas localidades son cenizas y/o pomáceas.

La muestra C pertenece al Miembro Zapotal.

Los afloramientos de la Formación Progreso presentan a las areniscas y limolitas generalmente como suaves y pobremente cementadas. La mayor parte de las areniscas son de grano fino y limosas, aunque localmente son de grano grueso y conglomeráticas. Algunas son calcáreas conteniendo una gran cantidad de fragmentos de concha. Los estratos de coquina son localmente comunes y están asociados a prominentes elevaciones. En el sitio donde los fragmentos de concha se pierden, las areniscas son normalmente no calcáreas o solo muy ligeramente calcáreas.

Las muestras 3, 5, 6, 18, 24 y 25 pertenecen a la Formación Progreso.

[La descripción macroscópica de todas las muestras aparecen en el Anexo B.

El análisis de las secciones delgadas de las muestras A, B, 3, 5 y 18 se encuentra en el Anexo C.

6.1.2. Ensayos

Las muestras de roca fueron sometidas a dos ensayos geomecánicos: permeabilidad y compresión sin confinamiento o compresión simple. Para cumplir con estas pruebas fue necesario obtener de cada muestra varios núcleos o testigos cilíndricos de roca. Esto resultó factible mediante el empleo de la máquina cortadora de núcleos del Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica del Departamento de Geología, Minas y Petróleo de la ESPOL.

Los testigos o núcleos de roca de las muestras A y B no fue posible extraerlos debido

a la gran dureza del material. Tampoco fue posible hacerlo con la muestra 7 que resultó, por el contrario, demasiado friable.

6.1.2.1. PERMEABILIDAD

El ensayo de permeabilidad fue realizado mediante el empleo del permeámetro de gases, aparato del que dispone el mismo laboratorio.

El permeámetro de gases (marca RUSKA Instrument Corporation al igual que la máquina cortadora de núcleos) es un aparato diseñado para medir permeabilidad al gas en los núcleos consolidados, forzando un gas de viscosidad conocida a través del núcleo de área transversal y longitud conocidas. La presión, temperatura y la tasa de flujo de gas a través de la muestra son medidas.

La fórmula que es usada en los cálculos de la permeabilidad es la siguiente:

$$K = \frac{\mu \bar{Q} L}{A P}$$

K = Permeabilidad de la muestra, darcies

μ = viscosidad del gas usado, centipoises a la temperatura de trabajo (26°C).

$\bar{Q}$ = Tasa promedio de flujo, cc/seg., en la muestra a la presión promedio, obtenida en el medidor de flujo y curva de calibración del aparato.

L = Longitud promedio de la muestra, cm.

A = Area transversal promedio de la muestra cm^2 .

P = Gradiente de presión, atm., indicado por el manómetro.

Las muestras C, D, 3, 5, 6, 18, 24 y 25 fueron sometidas a este ensayo. Únicamente la muestra 24 registro flujo de gas Nitrógeno a través de los núcleos. Las muestras restantes, es decir, C, D, 3, 5, 18 y 25 no registraron tal flujo, por lo que podemos afirmar que la permeabilidad primaria para estas rocas es nula. No ocurre igual, posiblemente, con la permeabilidad debida a la fracturación del lecho rocoso o permeabilidad secundaria que puede estar presente, y con valores apreciables, aún cuando la permeabilidad primaria sea nula. La medición de este valor, sin embargo, de

manda la realización de pruebas "in situ" cuya complejidad y costo escapan al alcance de este trabajo.

Las muestras cuya permeabilidad primaria es nula presentan en algunos casos aspecto poroso, pero ocurre que estos poros no están interconectados sino sellados por diferentes procesos diagenéticos.

Los resultados del ensayo para la muestra 24 aparecen en el Anexo D. El valor de la permeabilidad en los diferentes núcleos oscila entre 92 y 62 milidarcies. El valor promedio para los núcleos sacados horizontalmente a los estratos es 90 milidarcies, en tanto que para los núcleos extraídos perpendicularmente a los estratos es 74 milidarcies. Esto demuestra que la permeabilidad horizontal es mayor que la vertical y que el valor de la permeabilidad, en general, es función de la dirección.

6.1.2.2. COMPRESION SIMPLE

El ensayo de compresión simple o compresión sin confinamiento fue efectuado en la máquina para ensayo de resistencia de materiales (marca INSTRON modelo 1128) que tiene instalada el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Mecánica de la ESPOL.

La prueba sirve para clasificar las rocas en función de sus propiedades geomecánicas. Esto en ingeniería resulta de vital importancia ya que por sí solo el nombre geológico de la roca es insuficiente.

Para realizar el ensayo se especifica que la muestra de roca debe ser intacta. Se entiende por roca intacta aquella de la cual puede tomarse muestras para su ensayo en laboratorio, no presentando características estructurales de gran escala, como diaclasas, planos de estratificación, fracturas y zonas milonitizadas.

La clasificación propuesta por D.U. Derre y R.P. Miller se basa en dos propiedades

importantes de la roca: la resistencia a la compresión simple (σ_c) y el módulo de elasticidad (E_t).

TABLA VI.I CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA

1. En base a la resistencia (σ_c)

CLASE	DESCRIPCION	σ_c (ult) kg/cm^2
A	Resistencia muy alta	>2.250
B	Resistencia alta	1.120 - 2.250
C	Resistencia media	560 - 1.120
D	Resistencia baja	280 - 560
E	Resistencia muy baja	< 280

2. En base al módulo relativo (E_t / σ_c)

CLASE	DESCRIPCION	MODULO RELATIVO
H	Módulo relativo alto	> 500
M	Módulo relativo medio	220 - 500
L	Módulo relativo bajo	< 200

$$\text{Módulo relativo} = E_t / \sigma_c \text{ (ult)}$$

$$E_t = \text{módulo tangente a } 50\% \sigma_c \text{ (ult)}$$

$\sigma_c(\text{ult})$ = esfuerzo de compresión uniaxial último.

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

La máquina para ensayo de resistencia de materiales aplica cargas desde 100 hasta 50.000 Kgf. Un graficador automático dibuja la curva carga (F) vs. deformación total (ΔL).

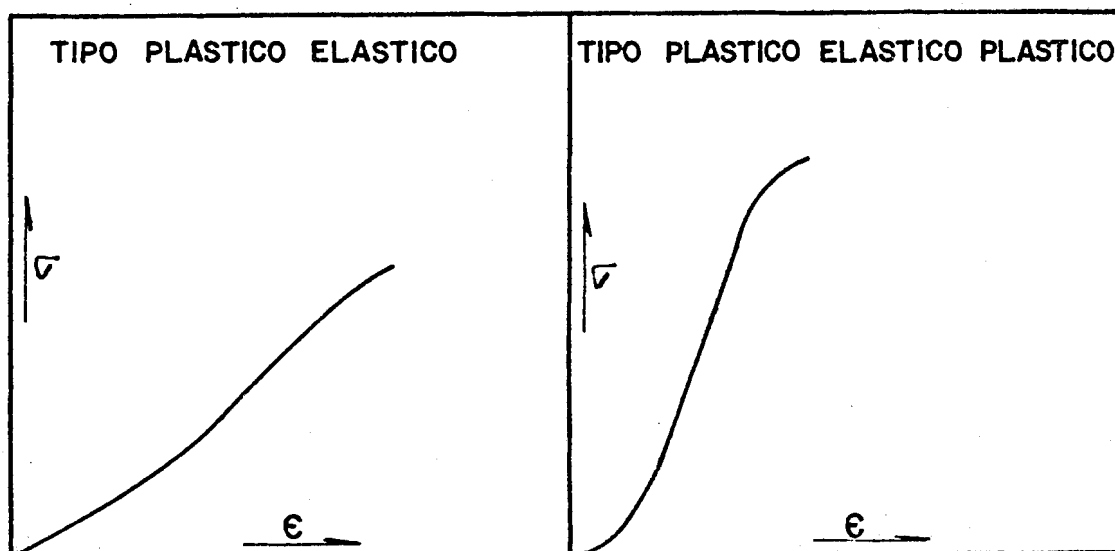
La curva esfuerzo (σ_c) vs. deformación unitaria (ϵ) se obtiene a partir de la curva carga (F) vs. deformación total (ΔL) mediante la sustitución de cada par. $P (F_1, \Delta L_1)$ por uno nuevo ($F_1/A, \Delta L_1/L$), donde A y L son el área de la sección transversal y la longitud del espécimen respectivamente.

El esfuerzo de compresión último ($\sigma_c \text{ ult}$) se define como la relación entre la carga máxima a la falla $F(\text{ult})$ y la sección transversal promedio (A_m). La falla se considera que ocurre cuando se observa un súbito des-

censo de la carga aplicada y no es posible para el espécimen soportar carga adicional. El módulo de elasticidad (E), conocido también como módulo de Young, módulo de compresión o módulo de deformación, para aquellos materiales que tienen la curva esfuerzo (σ_c) vs. deformación unitaria (ϵ) aproximadamente lineal, es simplemente la pendiente de la relación lineal, es decir, $E = \tan \theta = \Delta \sigma / \Delta \epsilon$.

Las curvas corregidas, esfuerzo (σ_c) vs. deformación unitaria (ϵ) aparecen en el Anexo E. El patrón típico es plástico-elástico o plástico-elástico-plástico.

PATRON TIPICO CURVAS ESFUERZO VS. DEFORMACION



La tabla con los resultados numéricos obtenidos del ensayo de compresión simple aparece en el Anexo F.

La resistencia de las muestras de roca varía entre media (C), baja (D) y muy baja (E). El Módulo relativo en cambio es bajo (L) para todas las muestras.

La muestra D del Grupo Azúcar es la que exhibe un promedio de resistencia más alto, con un valor máximo de 822.18 kg/cm^2 para el espécimen D.3.

La muestra C del Miembro Zapotal presenta en todos los especímenes resistencia baja. El promedio de resistencia para los núcleos sacados en dirección perpendicular a los estratos (C.1, C.3) es ligeramente superior a aquel de los obtenidos en dirección horizontal (C.4, C.5).

La muestra 3 corresponde a un estrato de coquina de la Formación Progreso que presenta una variación notable en los valores de la

resistencia para cada testigo. Esto puede tener explicación en el hecho de que los testigos de roca presentan, en diverso número y disposición, oquedades resultantes de las particularidades diagenéticas.

El resto de las muestra de la Formación Progreso (5, 6, 18, 24 y 25), todas ellas areniscas, presentan valores bajos (D) y muy bajos (E) de resistencia. Estos valores fluctúan en función del grado de consolidación de la arenisca.

La muestra 18, que es una arenisca calcárea con fragmentos de concha, es la que más alta resistencia presenta en la Formación Progreso. Al igual que la coquina, sus valores difieren significativamente unos de otros ; incluso, el valor promedio en el sentido perpendicular a los estratos resulta inferior al valor correspondiente en el sentido horizontal, lo que aparentemente es un contra-sentido. Esto seguramente se debe a las particularidades del proceso de cementación y cristalización de la roca.

La muestra 24, una arenisca pobremente consolidada, no pudo ser sometida al ensayo con la garantía de un resultado medianamente con fiable por presentar testigos extremadamente friables. Por este motivo no se la incluye dentro de la tabla del Anexo F.

La clasificación ingenieril de la roca intacta puede ser plasmada y visualizada sobre una carta de papel logarítmico que tenga en la abcisa el módulo de elasticidad E_t y en la ordenada el esfuerzo de compresión último σ_c (ult). Esta carta aparece en el Anexo G.

6.2. Suelos

6.2.1 Generalidades

El muestreo de suelos se llevó a efecto teniendo como principal referencia el Mapa IV, donde se establece la disposición y distribución de los suelos transportados y residuales, así como el espesor de estos últimos.

El programa de muestreo tuvo en cuenta también las vías de acceso y penetración, que en determinados lugares de la Cuenca, por inexistentes, constituyen un factor limitante que debe ser tomado en cuenta.

Todas las muestras alteradas fueron extraídas a 50 cms. de profundidad como término promedio. Un total de 35 muestras fueron recogidas para su posterior análisis. De éstas, 20 corresponden a suelo residual y 14 a suelo transportado. La muestra restante fue descartada por estimarla no representativa (muestra 3). La disposición de las muestras de suelo aparecen en el Mapa VI, el mismo de las muestras de roca.

Sobre el total de 20 muestras de suelo residual, 11 pertenecen a la Formación Progreso (1, 6, 17, 18, 20, 22, 26, 27, 28 y 34); 7 corresponden a la Formación Tosagua divididas así: 4 del Miembro Villingota (2, 30, 33 y 35), 2 del Miembro Dos Bocas (15 y 16) y 1 del Miembro Zapotal(32); y 2 al Grupo Azúcar (5 y 8).

De las 14 muestras de suelo transportado, 9 son gravas y arenas aluviales (4, 10, 12, 14, 19, 21, 25, 29 y 31), 3 son coluviales meteorizadas (7, 9 y 13), 1 corresponde a terraza aluvial alta o colgada (23), y 1 a terraza aluvial meteorizada (11).

6.2.2. Ensayos y Clasificación

La clasificación de las muestras de suelo en función de características granulométricas y plásticas resulta imprescindible para la zonificación geotécnica.

Los ensayos realizados con este propósito son:

- Límites de Atterberg según normas: AASHO T-89-68 (LL) y T-90-70 (LP), o ASTM 423-66 (LL) y D-424-59 (LP).
- Porcentaje que pasa al tamiz 200 según norma ASTM C117-62T.
- Análisis granulométrico según norma ASTM C1136-63
- Contenido natural de humedad según norma ASTM D2216-71

Otros ensayos realizados con propósito específico y sobre los que hablaremos más adelante son:

- Ensayo de compactación (proctor STD) según norma AASHO T-99
- Determinación del porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la Máquina de Los Angeles, según norma ASTM C131-64
- Resistencia de los agregados sometidos a la acción del sulfato de sodio, según norma ASTM C88-63.
- Impurezas orgánicas en arenas para concreto, según norma ASTM C40-60.

Los resultados obtenidos en los ensayos de clasificación e incluido el ensayo de compactación, aparecen debidamente tabulados en el Anexo H.

Los sistemas de clasificación adoptados son: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y el Sistema de Clasificación de Autopistas y Caminos de la AASHO (American Association of State Highway Officials). En el Anexo H cada muestra de suelo se encuentra debidamente clasificada.

Según podemos observar, los suelos residuales casi en su totalidad, independientemente del tipo de formación, son arcillas inorgánicas de

plasticidad alta, preferentemente, y media.

Las muestras de la Formación Progreso presentan un cuadro coherente. Sobre un total de 11 muestras, 9 son arcillas inorgánicas de alta plasticidad, 1 es arcilla inorgánica de plasticidad media, y 1 es arcilla orgánica de plasticidad media alta. Esta última muestra para efectos de la zonificación geotécnica queda descartada.

La plasticidad promedio de la Formación Progreso es la más alta del conjunto de muestras recogidas. La coloración de estas arcillas es usualmente café grisáceo aunque puede ser también gris oscuro. Dentro de este espectro se presentan diversas tonalidades.

Las muestras del Miembro Villingota son todas arcillas de alta plasticidad. Sin embargo, cabe destacar, su tonalidad cambia sustancialmente de acuerdo a la proximidad de la roca con la superficie. Así tenemos que cuando la roca se encuentra muy próxima a la superficie, la tona-

lidad es blanca a café muy palida y la muestra presenta muchos fragmentos de roca; si ocurre lo contrario, la tonalidad característica es gris obscuro.

Las muestras del Miembro Dos Bocas son ambas arcillas de alta plasticidad. La tonalidad varia entre café grisáceo y café amarillento.

La única muestra del Miembro Zapotal es una arcilla de plasticidad media. El análisis indica un porcentaje de arena fina y media relativamente importante (46%). Esto puede explicarse por la proximidad de la muestra con el cauce del río principal.

Las muestras del Grupo Azúcar son arcillas de plasticidad media y alta, pero de valor promedio inferior con respecto a las muestras de los miembros Villingota y Dos Bocas y de la Formación Progreso. La tonalidad característica es café amarillento aunque con diversidad de matices.

En cuanto a los suelos transportados, los hemos dividido en dos grupos: el primero, tiene que ver con suelos transportados meteorizados, arcillosos y muy parecidos a los suelos residuales; el segundo, engloba principalmente gravas y arenas recogidas en los cauces de los ríos.

En el primer grupo, las muestras 7, 9 y 13 que son coluviales meteorizados, es destacable el hecho de que la muestra 9, que ocupa una posición geomorfológica más antigua que las muestras 7 y 13, es decir una porción más plana y alejada de los Cerros de Estancia, de donde proviene el material de cobertura, es una arcilla de alta plasticidad; en tanto que las muestras 7 y 13 son arcillas de plasticidad media. Esto sugiere que la muestra 9 ha sido sometida a un proceso de meteorización más prolongado que las muestras 7 y 13. Esta última, exhibe en el sitio de emplazamiento vestigios de cobertura coluvial, lo que explica su alto contenido de arena (45%).

En el segundo grupo, merece comentario la diferencia notable que existe entre los aluviales de la parte meridional, que presentan principalmente materiales provenientes del Grupo Azúcar, y los de la parte septentrional, que arrastran materiales fundamentalmente de la Formación Progreso.

Los depósitos aluviales de la parte sur son todos gravas, a lo largo de prácticamente todo el curso de los ríos (muestras 4, 10, 12 y 14), encontrándose cantos rodados de regular tamaño en las cabeceras. Ocurre todo lo contrario con los depósitos aluviales de la parte norte que en las cabeceras presentan arcillas arenosas (muestras 21 y 25) o arenas arcillosas (muestra 29) y en el curso medio arenas limosas o arcillosas con algo de grava fina (muestra 19). Esto comprueba que los materiales del Grupo Azúcar son más resistentes que los de la Formación Progreso.

Las cartas de plasticidad y proctor STD de las muestras de suelo aparecen para mayor información en el Anexo I.

6.3. Utilización como Materiales de Construcción

6.3.1. Suelos

Para el análisis de la utilización de los materiales en diferentes obras de ingeniería civil, en lo que a suelos se relaciona, habremos de referirnos, por efectos de simplificación, a un solo sistema de clasificación; esto es, al de la AASHO.

6.3.1.1. GRUPO A-1

Los suelos tipo A-1, gravas bien graduadas y arenas arcillosas , se encuentran en volúmenes al parecer importantes, sobre todo en la parte meridional de la cuenca donde se encuentran emplazamientos aluviales con materiales provenientes, en buena parte, del Grupo Azúcar.

El Consejo Provincial del Guayas mantiene en el sitio mismo de la muestra 12 un lugar de préstamo donde ha extraído en grandes volúmenes este material para ser utilii

zado en la reciente ampliación de la vía Guayaquil-Salinas en el tramo Progreso-Salinas. El movimiento de tierras, bastante considerable, puede observarse desde la vía misma poco antes de llegar a la población de Buenos Aires, en dirección este-oeste.

En el sitio de emplazamiento de la muestra 4 también existe una cantera, ahora en aparente abandono, de donde el Consejo Provincial extrajo el material necesario para lastrar el camino Olmedo-Cerro de Animas.

Los suelos tipo A-1 no plásticos, es decir con escasos finos, tal como corresponde a todas las muestras de este grupo recogidas (muestras 4, 10, 12, 14 y 31), tienen gran valor para la construcción de carreteras; entre otras propiedades, por su alta estabilidad, por su buena aptitud como base o sub-base, por su excelente calidad como relleno, por su elevada resistencia al corte en estado compacto y saturado óptimo, etc.

Estos suelos son considerados como de lo mejor para cimentar cualquier tipo de estructura, especialmente cuando el flujo de agua es despreciable.

En presas de tierra homogéneas de baja percolación y en presas de tierra de núcleo impermeable, específicamente en el núcleo, pueden usarse suelos del Grupo A-1 plásticos. Sin embargo, ninguna de las muestras recogidas tienen esta propiedad.

Las muestras 10, 12 y 14 fueron sometidas al ensayo de desgaste y de resistencia para agregados gruesos de acuerdo a las normas ya especificadas (Ver 6.2.2).

La ASTM (American Standard Testing Materials) establece que para que un agregado grueso pueda ser utilizado en hormigón, no debe experimentar un desgaste superior al 40%, ni puede sufrir una disolución por acción de los sulfatos superior al 12%. Los resultados obtenidos para las muestras 10, 12 y 14 son respectivamente: 27.94%

(abrasión) y 2.85% (disolución): 35.46% y 17.41%; 29.80% y 3.75%. Esto quiere decir que las muestras 10 y 14 cumplen con la norma, por lo tanto pueden ser utilizadas en hormigón; no así la muestra 12, que experimentó una disolución por la acción de sulfatos superior al límite permitido.

La fracción de arena de estas mismas muestras de grava fue sometida al ensayo de impurezas orgánicas, determinándose para todos los casos que no se deben usar como agregado fino para hormigón.

6.3.1.2. GRUPO A-2

A este grupo A-2 de arenas y gravas pobremente gradadas pertenecen las muestras 19 y 29 (arenas) que corresponden a depósitos aluviales de curso medio y medio-alto, de la parte septentrional de la Cuenca.

No se reporta explotación de estos materiales en el área de estudio.

Al igual que los materiales de tipo A-1, se considera como de primer orden para la fundación de cualquier tipo de estructura civil en general.

Su aplicación en la construcción de carreteras puede ser respetable. Su estabilidad es alta para el caso de muestras no plásticas o al menos buena cuando se trata de una muestra plástica seca. Si bien su empleo como base es deficiente, como subbase su aptitud puede ser entre excelente (no plástica) o buena (plástica). Se considera, así mismo, como buen relleno.

En presas de tierra homogéneas y en el núcleo impermeable de presas de tierra, pueden utilizarse suelos del Grupo A-2 plástico. Además para los mantos o espaldones de la presa con núcleo impermeable, pueden emplearse también suelos del grupo A-2 plástico.

Las muestras 19 y 29 pertenecen al subgrupo A-2-4 no plástico (IP < 10). No obs

tante, no se puede excluir la posibilidad que estén presentes materiales de los subgrupos plásticos A-2-6 o A-2-7 ($IP > 11$).

6.3.1.3 GRUPO A-6

Las muestras 21, 23, 25 y 32 pertenecen a este grupo de arcillas y arcillas-arenosas. Las tres primeras corresponden a depósitos aluviales de la parte alta del curso de los ríos en el sector NE de la Cuenca. La última pertenece, en cambio, al Miembro Zapotal.

Si utilizáramos la clasificación SUCS, las muestras 21, 25 y 32 serían arcillas-arenosas en tanto que la muestra 23 sería una arena-arcillosa.

En la construcción de carreteras debe tenerse cuidado con los suelos del grupo A-6 ya que pueden infiltrarse peligrosamente en bases porosas, juntas fracturas y gravas. Los rellenos se asentaran por un largo período de tiempo. Los bancos altos en corte y relleno son muy propensos a deslizamientos.

Se recomienda usar una base granular y una sub-base, así como también la imprimación de la subrasante.

Su utilización como material de fundación puede ser aceptable cuando se presenta duro, no disturbado y no plástico. Los suelos plásticos del grupo A-6 requieren un tratamiento especial en cada caso.

En presas de tierra de tipo homogéneo y de núcleo impermeable, concretamente en el núcleo, pueden emplearse suelos del Grupo A-6 pero en sus mejores calidades, esto es si no son demasiado plásticos. A fin de ser usados en la construcción de presas deberán compactarse bajo control, de tal modo que se lo haga a la máxima densidad con el contenido de humedad óptimo. En la construcción de presas no deberán usarse suelos del Grupo A-6 excesivamente plásticos.

El material para el núcleo impermeable de la presa Zapotal puede extraerse aproxima

damente 1 km. aguas arriba del sitio de presa, donde se encuentran, en terrazas aluviales meteorizadas, arcillas de baja plasticidad o arcillas limosas del grupo A-6.

6.3.1.4. GRUPO A-7

Todas las muestras de suelo residual, salvo una (muestra 32), y las muestras de suelo transportado meteorizado, pertenecen a este grupo de arcillas plásticas presumiblemente expansivas.

Para carreteras se recomienda el uso de pavimento flexible y denso, con base y subbase sobre subrasante imprimada, y hormigón armado para controlar las grietas, colocados sobre papel impermeable. Buena parte de estas precauciones se deben a los cambios de volumen que experimentan los suelos del grupo A-7.

Los usos y limitaciones como material de fundación y como material para la cons-

trucción de mareas de tierra es virtualmente el mismo que aquel descrito para los suelos del grupo A-6.

La utilización de estos materiales deberá hacerse únicamente si es preciso, con todas las precauciones necesarias que las circunstancias impongan a fin de evitar los inconvenientes de la presumible expansividad.

6.3.2. Rocas

Las areniscas del Grupo Azúcar son las que concitan mayor atención dada su mayor resistencia relativa y su amplia distribución en afloramientos de importante volumen a lo largo de los Cerros de Estancia.

El empleo de este material como agregado grueso para la fabricación de hormigón podría resultar viable. Ensayos de desgaste a la abrasión y de resistencia a la acción de sulfatos realizados con la muestra D arrojan como resultado, 23.08% y 0.88%, respectivamente, por lo

que el material puede en principio ser utilizado con este propósito.

Las muestras de grava pertenecientes al grupo de suelos A-1 cuyos volúmenes, cabe destacar, son también importantes, pueden, así mismo, ser utilizados como agregados grueso de hormigón. Sin embargo, para hacerlo, deberán ser sometidos a un tamizado a fin de quitarle los finos y a trituración para conseguir el tamaño deseado. Todo esto implica aumento de costos que podrían, perfectamente, resultar más altos que aquellos necesarios para la explotación de una cantera con explosivos, por lo que resultaría quizá más ventajosa esta última alternativa.

El material para el enrocado de los espaldones de la Presa Zapotal puede ser obtenido de un afloramiento del Miembro Zapotal muy cercano al sitio de presa, donde se encuentra un conglomerado poligénico bien cementado que difícilmente será ripable. Su disposición es en bancos alternantes con otros de tipo arcilloso.

En el Miembro Zapotal se encuentran también areniscas de grano fino que pueden considerarse aptas para actuar como filtros de limos arcillosos en presas de tierra. Estas areniscas, aunque "in situ" parecen muy compactas, se disgregan en agua y permiten deshacer su aparente estructura con ligera elaboración mecánica, por lo que pueden constituir buena cantera para la obtención de los filtros.

Los materiales procedentes de la disgregación de areniscas tienen a veces tendencias a recementar una vez puesto en obra; pero no parece ser esto probable, ya que la recementación es usual en areniscas de cemento calcáreo y no de cemento arcilloso como es el caso de las areniscas del Miembro Zapotal.

VII. ZONIFICACION

7.1. Generalidades

La zonificación propuesta persigue como objetivo

fundamental dividir la Cuenca en varias zonas con características geotécnicas similares que permitan en principio:

- Programar la utilización de materiales para la construcción de cualquier obra civil.
- Proporcionar criterios generales sobre tratamientos de fundaciones, estabilidad de taludes, usos de terreno, etc.

La zonificación geotécnica obviamente puede abarcar diferentes extensiones de terreno. Conforme ésta aumenta, decrece consecuentemente la profundidad de la investigación.

7.2. Criterios Adoptados para la Zonificación Geotécnica.

Como paso previo se requiere definir los parámetros que permitan identificar las diferentes zonas en base a características geotécnicas comunes.

Estos criterios que ya han sido tratados en el contenido del presente trabajo son:

- Geomorfología
- Formaciones Geológicas
- Perfiles de Meteorización
- Estabilidad de Taludes
- Clasificación Suelos y Rocas
- Materiales de Construcción y Recursos en general.

El alcance de cada uno de estos criterios es el siguiente:

7.2.1. Geomorfología

La geomorfología del área, que incluye la pendiente de los taludes naturales, permite inferir el tipo y las características geomecánicas de los materiales que componen el terreno. Es así, por ejemplo, que en el Grupo Azúcar y en la Formación Progreso, en su orden, se encuentran los rasgos positivos más importantes, con las pendientes más empinadas, lo que supone necesariamente que los materiales constitutivos de estos empla

zamientos geológicos resultan más resistentes que aquellos de la Formación Tosagua contiguos (Miembros Zapotal, Dos Bocas y Villingota).

7.2.2. Formaciones Geológicas

La geología condiciona buena parte del resto de factores. Para nuestro caso, según veremos más adelante, resulta un criterio de fundamental importancia.

7.2.3. Perfiles de Meteorización

Las características que presentan los diferentes horizontes del perfil de meteorización de un suelo residual pueden ser motivo de particular interés para la zonificación. Además, el espesor relativo de los suelos residuales también puede ser un criterio importante, ya que refleja la vecindad del lecho de roca con respecto a la superficie.

7.2.4. Estabilidad de Taludes

La estabilidad de taludes naturales y artificiales es un importante factor geotécnico sobre todo en zonas colinadas. Para el

caso que nos ocupa, resulta un elemento accesorio de análisis.

7.2.5. Clasificación de Suelos y Rocas

Los diferentes sistemas de clasificación de suelos y rocas agrupan estos materiales en función de propiedades geomecánicas definidas. Por lo tanto, para cumplir con los objetivos propuestos dentro de la zonificación, este criterio reviste de decisiva importancia.

7.2.6. Materiales de Construcción y Recursos en general.

La posible utilización de materiales de construcción y recursos varios: hídricos, minerales, agropecuarios, etc., resultan de singular valor para definir posibles zonas de interés económico.

En el proceso de zonificación geotécnica cada zona se define en función de uno o varios de estos criterios que se sobreimponen para configurar las diferentes unidades geotécnicas. Esto quiere decir que

uno o varios de estos factores permiten siempre mejor que otros, resaltar aspectos que facilitan el proceso de definición de las distintas zonas geotécnicas que componen nuestra área de estudio.

7.3. Resumen de las Zonas y sus Principales Características.

La Cuenca se encuentra cubierta por suelos arcillosos, principalmente, arcillo-limosos y arcillo-arenosos. Los afloramientos de roca son muy esporádicos y están presentes en las elevaciones más prominentes de la Cuenca y en las quebradas y cursos de los ríos en general.

Con los criterios de zonificación expuestos, y tomando en cuenta de manera muy particular las propiedades geomecánicas de los materiales, procedimos a esbozar la zonificación geotécnica de la Cuenca que consta en el Mapa VII.

7.3.1. Zona 1

La zona 1 está constituida por la unidad orgánica de los Cerros de Estancia que es, así

mismo, la unidad geológica del Grupo Azúcar. El límite geomorfológico, geológico y estructural de la Falla La Cruz es también, muy aproximadamente, límite geotécnico.

La cobertura de suelo residual es escasa y donde alcanza espesores de más de 1 metro se trata de suelos arcillo - limosos y arcillo-arenosos de plasticidad media y baja predominantemente.

La roca virtualmente aflora en algunos puntos. Es el caso de los Cerros de Animas y Zapotal donde se observa la roca intacta prácticamente en superficie.

La descripción litológica y estructural ha sido tratada en detalle en los capítulos II y VI.

Las rocas areniscas interestratificadas, principalmente, limolitas y lutitas, son sobre todo impermeables y silicosas. Desde el punto de vista constructivo, los paquetes lutíticos admitirán el empleo de medios mecánicos

para su excavación debido a su alto porcentaje de cemento arcilloso, mientras que las areniscas se comportaran casi como verdaderas cuarcitas; es decir, sólo serán ripables en muy contados casos.

La masa rocosa del Grupo Azúcar se encuentra intensamente tectonizada, por lo que fallas, diaclasas y fracturas son comunes en muchas direcciones.

La pendiente promedio, en el orden del 50%, es la más pronunciada de la Cuenca; así mismo, las cotas, que oscilan entre 420 mts. en Cerro de Animas y 100 mts. SNM en las faldas de los Cerros de Estancia.

Los taludes naturales son estables aunque para el caso de cortes hay que mantener especial precaución debido a las cuñas de roca que se forman por efecto de diaclasas y fracturas múltiples.

Por las condiciones presentes en el terreno, no cabe pensar en la posibilidad de asenta-

mientos humanos o de usos agrícolas.

En la zona 1 hay factibilidad de explotar canteras que provean de agregado grueso de buena calidad para la fabricación de hormigón.

7.3.2. ZONA 2

La zona 2 es la zona de bajo relieve donde se asienta el valle principal de la Cuenca.

La geomorfología es en este caso el criterio más importante para definir esta zona.

El intervalo estimado de la pendiente es de 0.5%. Las cotas normalmente son inferiores a 60 mts. SNM.

Los asentamientos humanos que puedan darse luego de que se haga realidad la presa Zapotal ocuparan posiblemente los terrenos más bajos de la zona 2.

Esta zona la hemos dividido en dos sub-zonas.

7.3.2.1. Sub-zona 2A

La sub-zona 2A esta constituida por suelos con cobertura coluvial reciente o que al menos presentan vestigios de esta en superficie. La coloración que presenta es café rojiza muy similar a la presente en la zona 1 de donde provienen los materiales del manto coluvial, cuyo espesor puede variar desde pocos centímetros hasta poco más de un metro.

Esta sub-zona se encuentra en lo que se podría aproximar a un "pie de monte", adyacente a los Cerros de Estancia. Por esta razón, el relieve resulta ligeramente superior con relación a la sub-zona 2B.

Si se transita la carretera Guayaquil-Salinas de este a oeste en el tramo correspondiente a la Cuenca, hacia el límite oeste se observa, en la vecindad de la población de Buenos Aires, la coloración típica de la cobertura coluvial. Esto ocurre porque precisamente hacia el límite oeste de la Cuenca, la carretera se aproxima más al pie de monte.

Los suelos de esta sub-zona son principalmente arcillas de plasticidad baja a media, arcillas arenosas. La presencia de arena en porcentajes significativos implica que se trata de suelos que aún no han tenido tiempo de meteorizarse. La muestra 13 recogida en la cercanía de Buenos Aires es típica de la sub-zona 2A.

7.3.2.2. Sub-zona 2 B

La sub-zona 2B está conformada por coluviales y terrazas meteorizadas donde están presentes suelos arcillosos de color negro similares al tipo "sarteneja", de plasticidad alta predominantemente.

Esta sub-zona corresponde a una posición geomorfológica más antigua y plana que la sub-zona 2 A.

La cobertura coluvial no existe porque ha sido meteorizada. Unicamente existen vestigios a manera de gravilla englobada en la masa arcillosa. Es, así mismo, usual encontrar pequeños fragmentos de roca en la su-

perficie que presentan síntomas de abrasión, presumiblemente eólica.

Las terrazas aluviales a medida que se aproximan al cauce principal del río Zapotal presentan arcillas menos plásticas.

El material para el núcleo impermeable de la presa es muy probable que sea extraído de terrazas meteorizadas próximas al sitio de emplazamiento de la obra donde se encuentran suelos limo-arcillosos.

7.3.3. Zona 3

La zona 3 comprende parte del sector centro, norte y este de la Cuenca. Se trata de un dominio territorial colinado, fundamentalmente, que mantiene una topografía ondulada a semi-ondulada, el cual en su conjunto representa aproximadamente el 60% de la Cuenca.

El límite con la zona 2 está perfectamente definido por el cambio de topografía y de pendiente.

Las cotas aumentan de 40, 60 mts, SNM a 100 mts. como término promedio, llegando hasta 200 mts. SNM en ciertos lugares del este y nores-te, en las cabeceras de la Cuenca. El virtual predominio de colinas con alturas ligeramente superiores a los 100 mts. SNM. es un denominador común para la zona 3. El intervalo de la pendiente de 10-30 % es también bastante regular.

La parte superior del suelo que cubre la zona 3, está compuesta por una capa meteorizada con una difusa red de fisuras horizontales y verticales centimétricas, hasta el punto de estar constituido por bloques casi sueltos. Esta capa, sin duda, se encuentra afectada por importantes cambios estacionales, cambios de humedad, que motivan, si el terreno es expansivo como es el caso, su agrietamiento en las épocas secas y el cierre de fisuras en las húmedas. La parte afectada por estos cambios o "zona activa" es difícil de delimitar, entre otras cosas, porque tendrá un valor variable, ya que depende mucho de las circunstancias tonográficas o hidrológicas en cada punto.

Esta penetrada por algo de materia orgánica y presenta la coloración negra típica de las arcillas de tipo " sarteneja".

La utilización para fines agrícolas de los terrenos de esta zona, para el caso eventual de disponer de recursos hídricos, resultará limitado; no por las condiciones mismas del suelo que no son malas, sino por el problema de la topografía principalmente. Sin embargo, las partes bajas pueden y son cultivadas a pequeña escala, aprovechando los escurrimientos periódicos de agua mediante albarradas que son relativamente comunes. En algunos casos son construídas por los propios habitantes de la tierra y, en otros, el Consejo Provincial del Guayas, INERHI Y CEDEGE se han hecho presentes con la ayuda.

El agua para consumo doméstico es agua sub-superficial que se extrae de pozos enclavados sobre el lecho de los cursos actuales de los principales ríos de la parte alta de la Cuenca, tal como ocurre en los poblados de

Ciénaga y Sacachún. Sus volúmenes, sin embargo, son limitados; más aún, periódicamente estos pozos se secan, razón por la cual no cabe pensar en la utilización de este recurso con fines agrícolas. Incluso procesos de lixiviación y concentración de sales impide ocasionalmente todo tipo de consumo.

La zona 3 la hemos subdividido en tres sub-zonas bajo el criterio de los distintos materiales parentales o formaciones geológicas que originan a su vez distintos tipos de suelo residual.

7.3.3.1. Sub-zona 3A

La sub-zona 3A comprende los suelos residuales y afloramientos de la Formación Progreso.

La Carta de plasticidad (Ver Anexo I) nos indica que la plasticidad promedio de las muestras de la Formación Progreso, obtenidas en la parte superior del perfil, es más alta que la de los Miembros Dos Bocas y

Villingota. Esto se debe posiblemente a que la precipitación pluvial y por ende la lixiviación y meteorización en general, es más intensa en el sector NE de la Cuenca donde se encuentra precisamente la Formación Progreso. Sin embargo, con la profundidad el efecto disminuye según lo demuestran granulometrías calculadas por CEDEGE, de muestras más profundas que las nuestras; de tal modo que los suelos arcillosos (CH) de la parte superior del perfil, se tornan menos plásticos con la profundidad (CL y ML).

Localmente la cobertura tipo "sarteneja" no esta presente, observándose en superficie un suelo limo-arcilloso de estructura granular y de color entre café rojizo y café amarillento.

Los suelos de plasticidad media y baja de la Formación Progreso reúnen buenas condiciones para su utilización en presas de tierra.

Los afloramientos de roca no son de importancia y se encuentran, particularmente, en los cauces excavados por los cursos fluviales o en las elevaciones prominentes.

Las areniscas de grano fino y limosas, ocasionalmente calcáreas, son comunes en los afloramientos. Estas son ripables si el cemento es arcilloso y, en cambio, difícilmente lo son si el cemento es calcáreo.

Los estratos de coquina, característicos de la Formación Progreso por su dureza y compacidad, no son ripables en sí, pero dado que normalmente se disponen en niveles de 0.3 - 1 mt. interestratificados con materiales deleznales en una proporción menor a 10% y suelen estar cuarteados, su excavación, de ser requerida, podrá ser acometida casi siempre con los mismo medios que se usen para la de aquellos materiales entre los que se encuentran.

Se observa con relativa frecuencia la conservación de taludes sub-verticales en cau

ces excavados por cursos fluviales en paquetes limo-arenosos francamente deleznables. Sin embargo, no puede afirmarse que la resistencia al acaravamiento sea realmente apreciable de manera general.

7.3.3.2. Sub-zona 3B

La sub-zona 3B comprende los suelos residuales y afloramientos del Miembro Villingota.

En general, los minerales arcillosos no parecen ser predominantes en la roca, lo que unido a su textura hojosa y aspecto general de sus afloramientos hace pensar que no se presentarán problemas geotécnicos de excavación ni de otro tipo, salvo el caso de cortes donde deberán tenerse en cuenta ciertas precauciones debido a lo deleznable de la lutita típica del Miembro Villingota.

Los suelos residuales de la sub-zona 3B suelen presentar en superficie un polvo blanquecino que asemeja la coloración de la roca intacta y que le confiere a la cobertura tipo "sarteneja" un matiz distintivo del Miembro Villingota.

La roca intacta si bien no aflora, ha podido ser detectada muy próxima a superficie en sectores de alto relieve, tal como ocurre en los sitios de las muestras 2 y 33. Se trata de una lutita competente aunque seguramente ripable, con un 15% de carbonatos y abundante fracción sílicea compuesta por diatomeas.

7.3.3.3. Sub-zona 3 C

La sub-zona 3 C comprende los suelos residuales de la Formación o Miembro Dos Bocas.

La sub-zona 3 C es francamente arcillosa y masiva, sin que se observen intercalaciones más detríticas.

Un análisis mineralógico realizado por CEDEGE, en una muestra recogida en las proximidades del pueblo de Zapotal, revela que la proporción de arcilla es del orden del 60%, de la cual 95% es montmorillonita. Por otra parte, este mismo análisis determina que la porción

de yesos que microscópicamente se observan como relleno de fisura es del 8 %. Estas arcillas yesíferas son susceptibles de crear problemas de hinchamiento, por lo que habrá de prestarse máxima atención en los estudios geotécnicos de detalle.

A diferencia de la sub-zona 3A, la plasticidad de las arcillas en el perfil de meteorización aumenta con la profundidad tal como lo pudimos comprobar con la muestra 3. Se trata de una arcilla de color verde oliva con intercalaciones de yeso típicas, extraída de un lugar próximo a una terraza aluvial donde se había desalojado unos 3 mts. de cobertura suprayacente, que presenta límites de Atterberg $LL=110$, $IP=77$, cuando en la carta de plasticidad para el Miembro Dos Bocas se tienen valores promedio de $LL=63$, $IP=38$, que son apreciablemente más bajos.

Los afloramientos están constituidos por una lutita de color café chocolate que tien

ne frecuentemente apariencia de cera. Se trata de una roca blanda, por lo general in tensamente fracturada, sin problemas de excavación, aunque si los habría en cuanto a la estabilidad de taludes de no tomar las providencias necesarias.

7.3.4. Zona 4

La zona 4 esta constituida por los suelos re siduales y afloramientos del Miembro Zapotal.

Esta ubicada en el límite oeste de la Cuenca, ligeramente hacia el norte del sitio de presa. Es la menos extensa de todas las zonas y subzonas.

El terreno suavemente colinado, comprende co tas entre los 20 y 80 mts. SNM. La pendiente se encuentra en el intervalo 5-10%.

Los suelos no presentan tanta variación con la profundidad como en la zona 3. Son arcillas y limo-inorgánicas de plasticidad media y baja, arcillas limosas, arcillas arenosas

y limos arenosos (CL-ML).

Los afloramientos de roca intacta y ligeramente meteorizada, resultan comunes en los taludes sub-verticales del cauce fluvial, hacia la vecindad del sitio de presa. Se trata, principalmente, de areniscas de diversa composición y de conglomerados poligénicos bien cementados.

En conjunto es de esperar que los materiales del Miembro Zapotal presenten un buen comportamiento geotécnico y probablemente sean ripables en su mayoría.

Para la construcción de la presa, los materiales del Miembro Zapotal pueden revestir de singular importancia, sobre todo, por su proximidad a la obra.

7.3.5. Zona 5

La Zona 5 está constituida por los depósitos aluviales en los cursos fluviales y terrazas adyacentes.

El río aguas arriba del sitio de presa presenta una pendiente suave de 1 por 1000 hasta el sitio Dos Bocas, luego del cual crece en forma regular a través de un ramal norte y otro sur, con una pendiente de 3 a 4 por 1000.

El área que ocupan las terrazas aluviales, relativamente amplia en la vecindad del sitio de presa, se reduce aguas arriba, poco a poco, hasta virtualmente desaparecer en las cabece-ras de la Cuenca. Los materiales constituti-vos son usualmente limo-arcillosos y limo-arenenosos.

Esta zona la podemos dividir en dos sub-zonas de acuerdo a los materiales acarreados por los ramales fluviales norte y sur.

7.3.5.1. Sub-zona 5A

La sub-zona 5A está conformada por el ramal sur de la red aluvial. Los materiales son gravas, fundamentalmente, arenas gravosas y arenas en general de diversa composición y gradación.

Los depósitos de la sub-zona 5A poseen abundante material para ser usado como base o sub-base en la construcción de carreteras y como agregado grueso en la fabricación de hormigón.

7.3.5.2. Sub-zona 5B

La Sub-zona 5B está conformada por el ramal norte de la red fluvial. En los lechos fluviales de la parte alta de la Cuenca, se presentan arcillas arenosas y arenas arcillosas, en tanto que aguas abajo se encuentran arenas gravosas.

El acarreamiento de los taludes, corriente-mente sub-verticales, determina un permanente aporte de materiales aluviales con diferentes orígenes y características.

La utilización de estas materiales, especialmente de las arenas gravosas, puede revestir de importancia para el mejoramiento de algunas vías de acceso y penetración de la parte septentrional de la Cuenca.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1.- La Cuenca se inscribe dentro de dos unidades estructurales de la región sur de la costa ecuatoriana: la Plataforma Continental de Santa Elena y la Cuenca Progreso. Entre ambas existe un contacto discordante según la falla La Cruz.
- 2.- Las formaciones geológicas son producto de deposiciones clásticas y detríticas terciarias, correspondientes a facies continentales y marinas de aguas someras, principalmente. De acuerdo a la columna estratigráfica, de lo más antiguo a lo más reciente, tenemos: Grupo Azúcar (Paleoceno-Eoceno), Formación o Miembro Zapotal (Eoceno), Formación o Miembro Dos Bocas (Oligoceno-Mioceno), Miembro Villingota (Mioceno) y Formación Progreso (Mioceno). Detalles sobre litología o estructuras se proporciona en los capítulos correspondientes.
- 3.- Las características geomorfológicas permiten definir con precisión tres zonas en función de topografía y

pendiente: las colinas altas del S y SO compuesta por los Cerros de Estancia; la gran planicie central que sigue aproximadamente el eje E-EO del valle principal; y las colinas bajas y medias del centro, norte y noroeste de la Cuenca. Los rasgos característicos para cada zona en cuanto a topografía y pendiente han sido oportunamente discutidos.

4.- La Cuenca hidrográficamente es de 4º Orden y presenta dos ramales de 3º Orden, uno norte y otro sur con características disímiles. El primero con respecto al segundo tiende a presentar cauces más profundos pero menos anchos que arrastran materiales aluviales más finos. Los cauces la mayor parte del año, y en ocasiones durante años consecutivos, permanecen secos por la falta de lluvia; aunque, así mismo, en ocasiones se producen importantes avenidas que en la parte más baja de la Cuenca pueden alcanzar los $300 \text{ m}^3/\text{seg}$.

5.- En la Cuenca debido a que los suelos residuales y transportados que recubren las distintas formaciones son en su mayoría arcillas impermeables, a la baja pluviosidad y alta evapotranspiración, no existe en general condiciones apropiadas para la acumulación de aguas subterráneas que posibiliten la presencia de acuíferos explota-

bles en volúmenes importantes. Existen, sin embargo, varios pozos enclavados en los cursos actuales de determinados ríos que proporcionan caudales pequeños de agua sub-superficial.

- 6.- La ausencia del lavado del perfil de los suelos residuales es una característica importante de los mismos. La poca agua aprovechable determina que las reacciones químicas y físicas que regulan el proceso de meteorización sean poco intensas, razón por la cual el espesor de estos suelos resulta reducido en comparación, sobre todo, a aquellos de regiones más húmedas, alcanzando valores que oscilan entre menos de 1 metro a 3 metros como máximo, según se desprende de las observaciones de campo en los cauces de los ríos y en los cortes del tramo correspondiente de la carretera Guayaquil-Salinas.
- 7.- Los suelos residuales se emplazan por igual en colinas y mesetas, en tanto que los suelos transportados se limitan a las partes bajas del valle y terrazas, y al pie de monte de los Cerros de Estancia.
- 8.- La parte superior de los suelos residuales o transportados relictos está usualmente compuesta por una capa meteorizada y disgregada por una red de fisuras que alcan

zan profundidades en el orden de los 30 cm., al punto de estar constituída por bloques casi sueltos según el patrón tipo " saterneja" que resulta común a los suelos arcillosos desecados.

- 9.- Las características granulométricas y plásticas varían a lo largo del perfil de suelos tal como ocurre, a manera de ejemplo, en la Formación Progreso donde los suelos residuales, conforme ha quedado demostrado, si bien en superficie son más arcillosos y plásticos que aquellos de las formaciones adyacentes de la Cuenca, con la profundidad es usual encontrar limos-arcillosos y limos-arenosos menos plásticos.
- 10.- La estabilidad de taludes no constituirá mayor problema geotécnico debido a que no hay condición alguna que haga prever lo contrario. En el caso de cortes, estos no serán de mayor dimensión debido a las condiciones topográficas imperantes y además no necesitarán precauciones especiales de diseño, salvo aquellas ya recomendadas en el capítulo correspondiente. En cuanto a los taludes naturales, tampoco serán motivo de particular atención en vista de las características geológicas, geomorfológicas y climatólogicas vigentes.

- 11.- La permeabilidad primaria para las rocas bien cementadas y consolidadas es nula, en tanto que para las rocas, particularmente areniscas de la Formación Progreso, poco consolidadas y a menudo friables, se ha registrado una permeabilidad entre 62 y 92 milidarcies. La permeabilidad secundaria debida al fracturamiento de las rocas puede ser apreciable eventualmente, pero es de advertir que no representará ningún problema mayor para el caso de la presa, en lo que tiene que ver con la infiltración de las aguas del reservorio, debido a la presencia de la capa impermeable de suelo arcilloso.
- 12.- La resistencia a la compresión simple de las muestras extraídas del Grupo Azúcar, Formación o Miembro Zapotal y Formación Progreso, varía entre media, baja y muy baja. En general, presentan buenas características geomecánicas las areniscas del Grupo Azúcar, las areniscas y conglomerados bien cementados de la Formación Progreso. Estas rocas, muy difícilmente ripables sin el empleo de explosivos, pueden ser utilizadas como material de enrocado para presas y agregados gruesos para hormigón y posiblemente como material de sub-base para carreteras, de acuerdo a las necesidades específicas que se presenten en la Cuenca.

13.- Bancos y sitios de préstamo, en volúmenes al parecer importantes, de conglomerados, microconglomerados y arenas sueltas se encuentran en la parte baja de la Cuenca. Estos materiales pueden ser utilizados como agregados gruesos y finos para la fabricación de hormigón, aunque debemos hacer constar la reserva de que los ensayos de contenido de materia orgánica en las arenas revelaron índice por encima de lo que recomiendan las especificaciones de la ASTM para tal uso. En cuanto a los conglomerados, predominantemente síliceos, hay que seleccionar con cuidado el sitio de préstamo para que no resulte demasiado redondeado, ya que esto limita su adherencia en el hormigón. Así mismo, se debe prever que los materiales gravo-arenosos no contengan lutitas arcillosas ("galletas de río"), comunes a la Formación o Miembro Dos Bocas y al Miembro Villingota, que deterioran sus propiedades para el uso propuesto. De igual manera, estos materiales que no presentan dificultades particulares de excavación pueden ser empleados para filtros y drenes de presa sin ninguna restricción especial.

14.- Para terraplanes (carreteras, presas, albarradas, etc.) los suelos limo-arcillosos y limo arenosos presentes en sitios diversos de terrazas y de las formaciones Zapotal y Progreso pueden ser utilizados sin ningún

inconveniente relativo a su remoción y compactación.

No cabe pensar para este fin, el empleo de arcillas de alta plasticidad y con características expansivas que son comunes a los miembros Dos Bocas y Villingota y aún a la Formación Progreso.

- 15.- En lo relativo a la cimentación de estructuras en obras civiles, de modo general nos permitimos sugerir la remoción de aquello que hemos denominado " zona activa" en los suelos residuales (0.5 - 1.0 m .), ya que se trata de una arcilla de alta plasticidad, seguramente de efectos expansivos, cuyo comportamiento es difícil de prever. No obstante, cabe destacar que para el caso de tener que cimentar, por ejemplo, una torre de transmisión no sería nada raro poder asentar la estructura en el mismo lecho rocoso dada su común vecindad con la superficie.

Recomendaciones

- 1.- Es necesario realizar estudios granulometricos, plásticos y perforaciones mecánicas de mayor profundidad y densidad para definir con precisión las características y volúmenes de los materiales que pueden ser sujetos

de explotación con miras a algún proyecto local o regional que comprenda parte de nuestra área de estudio.

A N E X O S

A N E X O A

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

3

C R O N O L O G I A			F O R M A C I O N		ESPES M	L I T O L O G I A	
C U A - T E R C I A R I O	P L E I S T O C E N O		T A B L A Z O		40	Arenas, areniscas calcáreas, conglomerados	
	M I O C E N O	S U P	P R O G R E S O			Facies molasas: Areniscas flojas, arenas, arcillas, margas, conglomerados y niveles lumaque- las	
		M E D					
		I N F	VILLINGOTA DOS BOCAS ZAPOTAL		TOSAGUA	Arcillas margosas con diatomeas Arcillas masivas con vetas de yeso Conglomerados, areniscas basta y niveles lutitas	
	O L I O C E N O		S U P				
	E O C E N O	S U P	SECA SOCORRO	ANCON	700	Areniscas, arcillas	
			CALY PEBBLE BEDS		1000	Cantos, arcillosos con matriz limoarenosa.	
		M E D	S A N E D U A R D O		230	Calizas lumaquéllicas y calizas arenosas con módulos silex	
	I N F	ENGABAO CHANDUY ESTANCIA	AZUCAR	1200	Areniscas bastas y niveles arcillosos		
				700	Conglomerados y niveles areniscas y lutita		
				1500	Areniscas, arcillas y lentejones conglome- rados.		
	M E Z O S O I C O	C R E T A C I O	S U P E R I O R	DANLEN			Lutitas silicificadas, cherts y microbre- chas.
				GUAYAQUIL	CAYO	500	Areniscas, grauwacas, conglomerados y aglo- merados volcánicos.
				CAYO S.S.		3000	
				PIÑON			Complejo Igneo { Piñón: rocas volcánicas (basal- tos, diabasas, etc.) Pascuales: rocas plutónicas (cuarzdioritas)
J U R A S I C O			P A S C U A L E S				

A N E X O B

DESCRIPCION MACROSCOPICA DE LAS MUESTRA DE ROCA

CUESTRA	TIPO DE ROCA	FORMACION	COLOR		TAMANO DEL GRANO Y /O ESTRUCTURA CRISTALINA			CEMENTO	DUREZA	POROSIDAD EFECTIVA	METORIZACION	ESTRATIFICACION	SISTEMA DE DIACLASAS
			INTERPERLE	FRESCA	FORMAC. GEOMET.	CLASIF.	COMPOSIC. MINEROL.						
R-3	Progreso	Coquina	Café grisáceo	Gris-amarillento	Frag. de concha elongados (3-4 cm)	Mal Sorteo	Restos de conchas, cemento micritico	micritico	Bien cementado	Pobre	Media	N42°O/8°NE	*
R-5	Progreso	Arenisca	Gris	Café amarillento	Subangular	Mal Sorteo	Quarzo, feld., frag. rocas	siliceo	Bien Cementado	Pobre	Media	N63°O/12°NE	*
R-6	Progreso	Arenisca	Pardo	Gris	Subredondeado	Bien Sorteo	Quarzo, matriz arcillosa, frag. rocas,	siliceo	Bien Cementado	Pobre	Media	N80°O/14°NE	N78°O/90° NS N10°O/90°
R-7	Progreso	Arenisca Lúpula	Amarillo grisáceo	Amarillo blanquecino	Redondeado a Subredondeado	Sorteo	Quarzo, matriz arcillosa, feld. frag. rocas		Friable	Buena	Media Alta	N82°O/13°NE	*
R-18	Progreso	Arenisca Calcareo	Pardo-amarillento	Amarillo blanquecino	Subangular	Mal Sorteo	Quarzo, frag. concha, feld.	calcareo	Bien Cementado	Pobre	Media Baja	N14°O/8°NE	*
R-24	Progreso	Arenisca Limosa	Café amarillento	Café claro	Subredondeado	Mal Sorteo	Quarzo, matriz arcillosa	Siliceo	Friable	Pobre Buena	Media Baja	N35°O/10°NE	*
R-25	Progreso	Arenisca	Pardo	Café claro	Subredondeado	Mal Sorteo	Quarzo, matriz arcillosa, feld.	siliceo	Bien Cementado	pobre	Media	N40°O/12°NE	*
R-A	Grupo Azúcar	Arenisca Cuarcítica	Gris	Café amarillento	subredondeado		Quarzo, matriz arcillosa, feld.	siliceo	Bien Cementado	Pobre	Baja Media		N70°O/60°N
R-B	Grupo Azúcar	Limolita silisificada	Gris oliva	Gris blanquecino	-----	-----	Matriz arcillosa, siliceo cristal	siliceo	Bien Cementado	Pobre	Baja	N30°O/35°NE	N50°E/25°N N70°E/90°
R-C	Miembro Zapotal	Arenisca	Café amarillento	Café claro	subredondeado	Sorteo	Quarzo, matriz arcillosa	siliceo	Bien cementado	Pobre	Media alta	NS/25°E	N10°E/90° N85°E/70°S
R-D	Grupo Azúcar	Arenisca silicea	Gris	Café amarillento	Subredondeado	Sorteo	Quarzo, muscovita	siliceo	Bien cementado	Pobre	Media	N65°O/12°N	N70°E/90° N75°O/90° N20°O/90° N40°O/70°N

* El tamaño del afloramiento no permite establecer un juego de diacclas.

A N E X O C

DESCRIPCION DE LAS SECCIONES DELGADAS DE LAS MUESTRAS DE ROCA

Número de Muestra R-3
Roca: Coquina (Bioesparita)
Formación: Progreso
Descripción:

- a.- Resumen.- Coquina, con abundante resto biógenos (50%), res-
cristalizados a calcita, principalmente constituidos por pe-
lecípodos y abundantes gasterópodos; material micrítico bien
fino conforma la matriz (2-4%).
- b.- Textura.- La sección delgada revela la presencia de numero-
sos fragmentos fosilíferos de medios a gruesos elongados, mal
sorteado, con 40% de cemento espático; presenta cierto grado
de porosidad intersticial.

c.- Composición.-

Resto de pelecípodos, gasterópodos y otros fósiles	50%
Cemento espático grueso	40-50%
Cemento espático fino	2-4%
Arcilla	1%
Módulos de sílice	1%
Cuarzo	< 1%

- d.- Conclusiones.- La porosidad original de este tipo de roca es
alto, debido a la textura tipo " potatoe chips" (papas fritas)
que ofrecen los fragmentos de conchas, pero la recristalización
diagenética produce una disminución notable en esta propiedad.
Se trata de una roca típica de aguas someras salobres.

Número de Muestra: R-5

Roca: Arenisca de grano medio

Formación: Progreso

Descripción:

a.- Resumen.- Arenisca de grano medio, granos subangulares, fragmentarios, 30% de matriz arcillosa, granos constituidos por cuarzo plagioclasas, fragmentos líticos de material limolítico silisificado; otros constitutivos son piroxeno, biotita, limonita y óxidos.

b.- Textura.- Roca terrígena, 95% de terrígenos, homogénea, con ligeros incrementos de cuarzo en ciertas partes de la sección; porosidad baja por la presencia de matriz y cemento limolítico, granos mal clasificados.

c.- Composición.-

Cuarzo	30%
Matriz arcillosa	30%
Fragmentos líticos	20%
Plagioclasas (andesina)	10%
Piroxeno (augita)	3%
Cemento limolítico	3%
Materia orgánica	2%
Biotita	2%
Accesorios (carbonato, hematita limonitizada)	< 1%

d.- Conclusiones.- Los constituyentes de la sección estudiada provienen probablemente de más de una fuente y fueron depositados en un ambiente de mar poco profundo. Su importancia como roca reservorio de agua o aceite es pobre, por ser sucia y mal clasificada (la forma de grano subangular es un factor negativo que perjudica la permeabilidad, en especial en este caso que la matriz es arcillosa). Como roca para ser usada en construcción no califica por su baja dureza y deleznableidad.

Número de Muestra: R-18

Roca: Arenisca calcárea

Formación: Progreso

Descripción:

- a.- Resumen.- Arenisca calcárea, matriz calcárea, se ven restos fragmentarios de moluscos pelecipodos, con coloraciones de oxidación debido a la meteorización, muy biogénica, 25% de los granos de cuarzo, 10% de material volcánico, presenta fracturas y muy poca porosidad intergranular.
- b.- Textura.- Muestra homogénea, constituida por materiales fragmentarios líticos y biogénicos, grano fino a medio, y distribución bimodal; un tamaño menor para los fragmentos terrígenos y uno mayor para los restos de moluscos; la fracción de arena se sitúa en un 55%, teniéndose además 25% de restos fósiles y un 20% de matriz micrítica calcárea; el grado de redondeamiento de los granos es mínimo (subangulares).
- c.- Composición.-
- | | |
|---|------|
| Cuarzo | 30% |
| Fragmentos de concha | 25% |
| Feldespato, plagioclasas sódicas | 10% |
| Fragmentos de roca volcánicas | 10% |
| Carbonato de calcio como matriz micrítica | 20% |
| Calcita | 3% |
| Colofano | 1% |
| Oxidos | 1% |
| Accesorios (muscovita) | < 1% |
- d.- Conclusiones.- La roca fue depositada en un ambiente de aguas someras, poco profundas; la fuente de clastos podría ser volcano-sedimentaria, y durante la depositación habría la acción de corrientes débiles o de corta duración; la permeabilidad debida a las fracturas y porosidad intergranular, no uniformemente distribuida, le dan características mediocres como roca reservorio de agua o aceite.

Número de Muestra: R-A

Roca: Arenisca cuarzosa (subgrauvaca, según Pettijohn 1949)

Formación: Gp. Azúcar

Descripción:

- a.- Resumen. - Arenisca, matriz arcillosa, bien cementada, granos angulosos a subangulares, bien clasificados básicamente cuarzo, muy poco feldespato plagioclasa, se observa la presencia de minerales oscuros y granos oxidados en pequeñas cantidades; la mica muscovita también en pequeñas cantidades, alteradas por lo que los granos están fracturados.
- b.- Textura. - Roca terrígena, con un 20% de ortoquímicos, homogénea, bien compacta, porosidad baja por la presencia de matriz arcillosa, grmo fino a medio, con un 20% de arcilla, se trata de una arenisca fina, arcillosa, submadura.
- c.- Composición. -
- | | |
|-----------------------------------|------|
| Cuarzo | 70% |
| Matriz Arcillosa | 15% |
| Plagioclasa sódica | 10% |
| Cemento silíceo | 3% |
| Muscovita | 2% |
| Accesorios (magnetita, colorano) | < 1% |
- d.- Conclusiones. - El área fuente para los sedimentos del Gp. Azúcar, ha sido determinada por la Cordillera Chongón Colonche; y por la presencia del tipo y forma de plagioclasas descrito, la topografía de la cuenca debió ser abrupta y el clima húmedo, el sedimento fue depositado a no gran distancia del área fuente y en ambiente probablemente nerítico, teniéndose además la evidencia de tectonismo compresional post-depositación, basado en la forma del cuarzo. Su importancia como roca almacenadora de agua o aceite es mínima debido a sus bajas condiciones de permeabilidad; desde el punto de vista geotécnico es una roca aparentemente adecuada para agregados de hormigón por no contener materiales reaccionantes con el Protland; además su alta dureza o capacidad la clasificarían como material pétreo de notable resistencia a la abrasión.

Número de Muestra: R-B
Roca: Lutita Limosa Silisificada
Formación: Gp. Azúcar
Descripción:

- a.- Resumen.- Lutita limosa silisificada, fracturada, con fracturas rellenas de cuarzo, probablemente dando considerable dureza; radiolarios constituyen un 15% de la sección.
- b.- Textura.- Microscópicamente la sección se muestra homogénea, sin estratificación evidente; la presencia de radiolarios y de fracturas, así como micro-fallas, rellenas de cuarzo secundario, es uniforme.

c.- Composición.-

Minerales arcillosos	75%
Sílice criptocristalina	10%
Radiolarios en matriz silícea	15%
Cuarzo secundario en fracturas	10%
Accesorios (biotita alterada y apatito?)	< 1%

- d.- Conclusiones.- La presencia de radiolarios silisificados, sugiere aguas ricas en sílice y pobres en carbonato de calcio, probablemente tranquilas. La presencia de estilolita a lo largo de la muestra, sugiere un proceso diagenético muy fuerte; la estilolita involucra aquí un proceso de solución por presión y una post-consolidación. Se exhibe un aparente desplazamiento de mica semejante a una falla, lo que corrobora la disolución (ver Pettjohn, Sedimentary Rocks, 3th edition, pag. 342). La permeabilidad secundaria debido a las fracturas, está disminuida por la presencia de cuarzo en calidad de relleno de las mismas.

A N E X O D

RESULTADO ENSAYO DE PERMEABILIDAD

ENSAYO PERMEABILIDAD

MUESTRA 24

$$K = \frac{\mu \cdot \bar{Q} \cdot L}{A \cdot P}$$

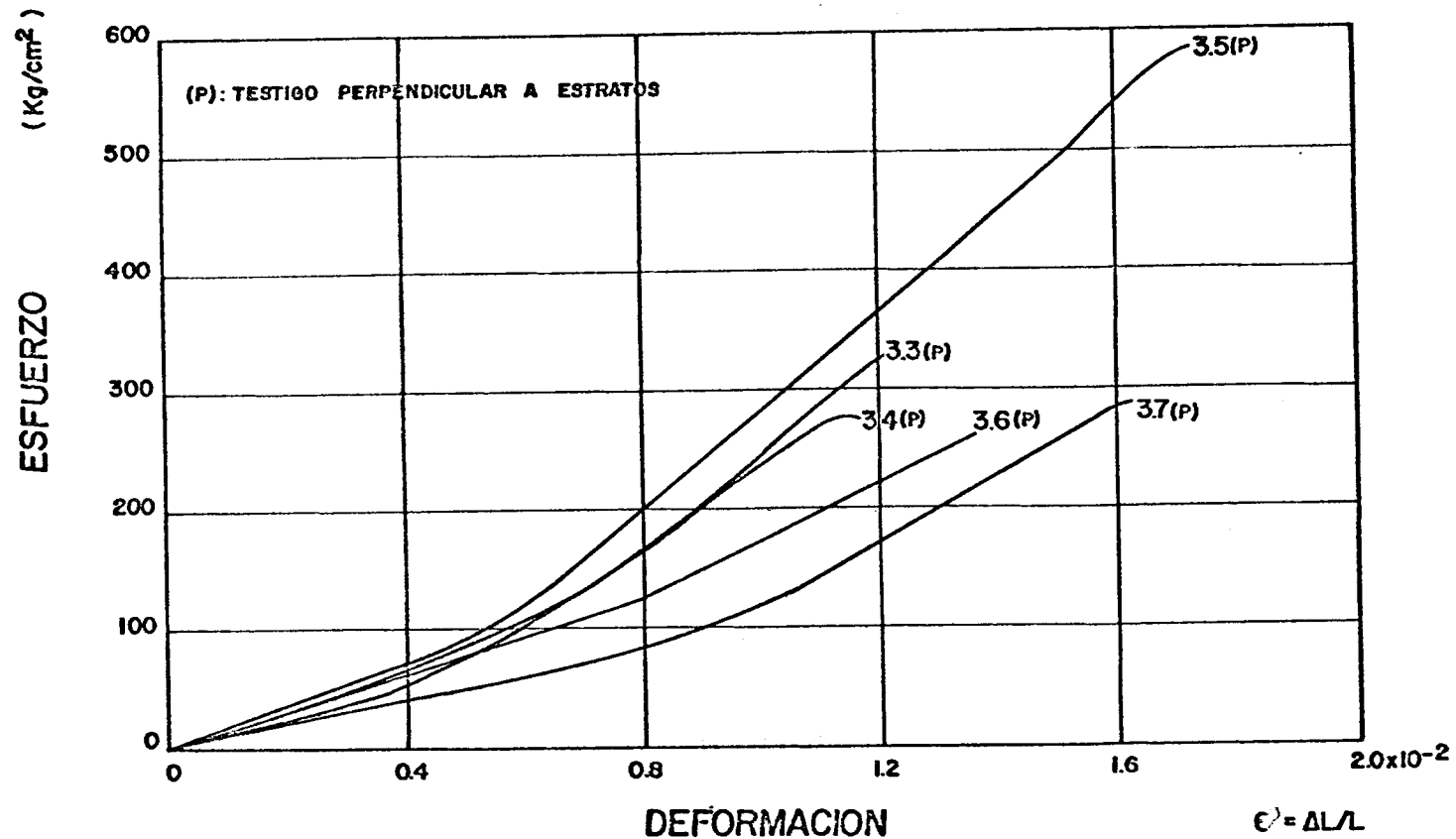
K = Permeabilidad de las muestras, darcies
 μ = viscosidad del gas usado, centipoises
 $\bar{Q}$ = Tasa promedio de flujo, cc/seg.
 L = Longitud promedio de la muestra, cm.
 A = Area transversal promedio de la muestra, cm²
 P = Gradiente de presión indicado por el manómetro, atm.

MUESTRA	μ (ctps)	$\bar{Q}$ (cc/ seg)	L (cm)	A (cm ²)	P (atm)	K (darcies)	OBSERVACIONES
24.1	0.0177	4.7	2.680	4.83	0.5	0.092	muestra horizontal a los estratos
24.2	0.0177	4.3	2.715	4.71	0.5	0.088	id.
24.3	0.0177	3.0	2.750	4.73	0.5	0.062	muestra perpendi- cular a los estra- tos.
24.4	0.0177	4.2	2.710	4.73	0.5	0.085	id.
24.5	0.0177	4.5	2.310	4.75	0.5	0.075	id.

A N E X O E

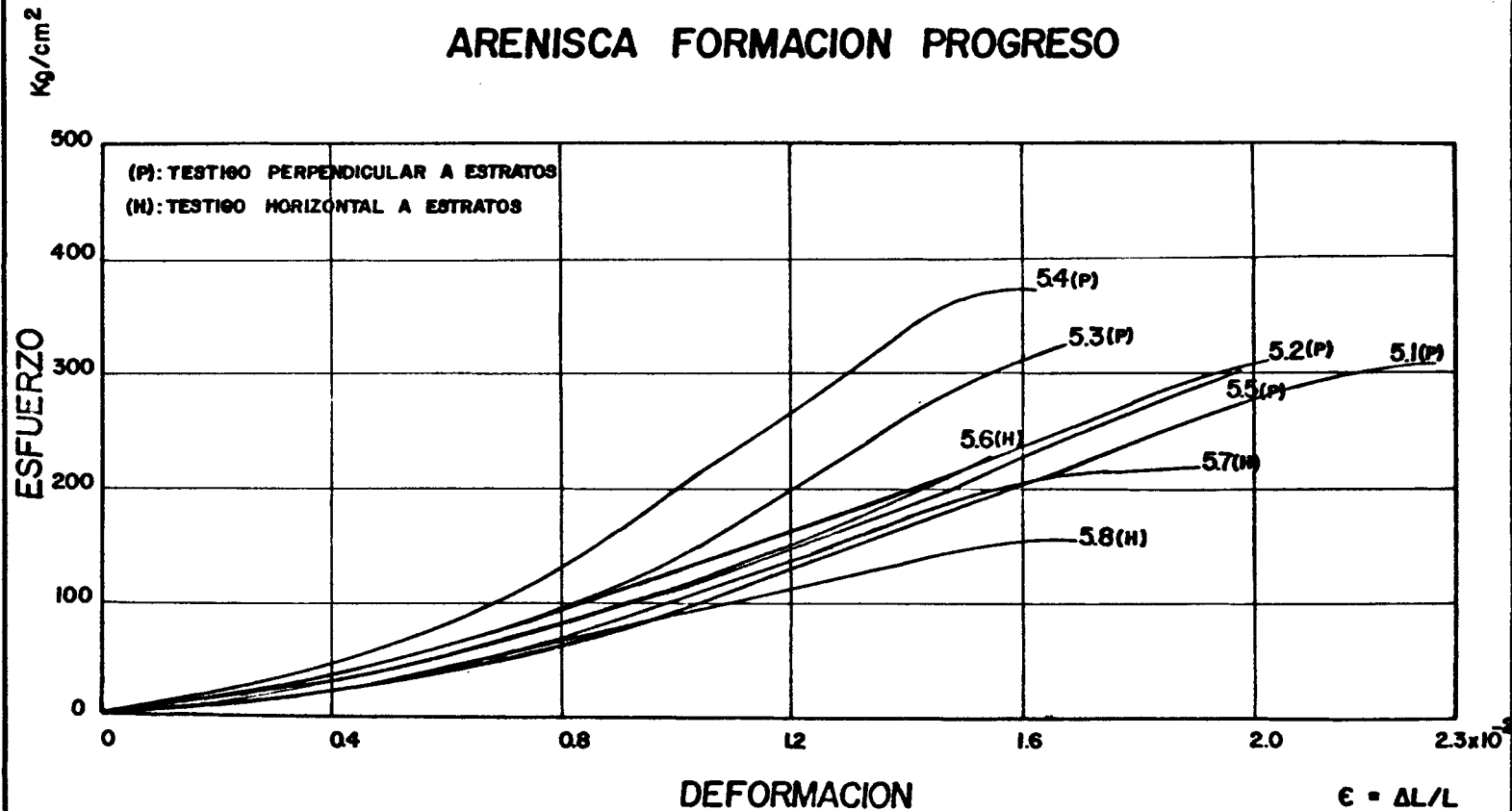
CURVAS CORREGIDAS ESFUERZO VS. DEFORMACION

COMPRESION SIMPLE COQUINA FORMACION PROGRESO

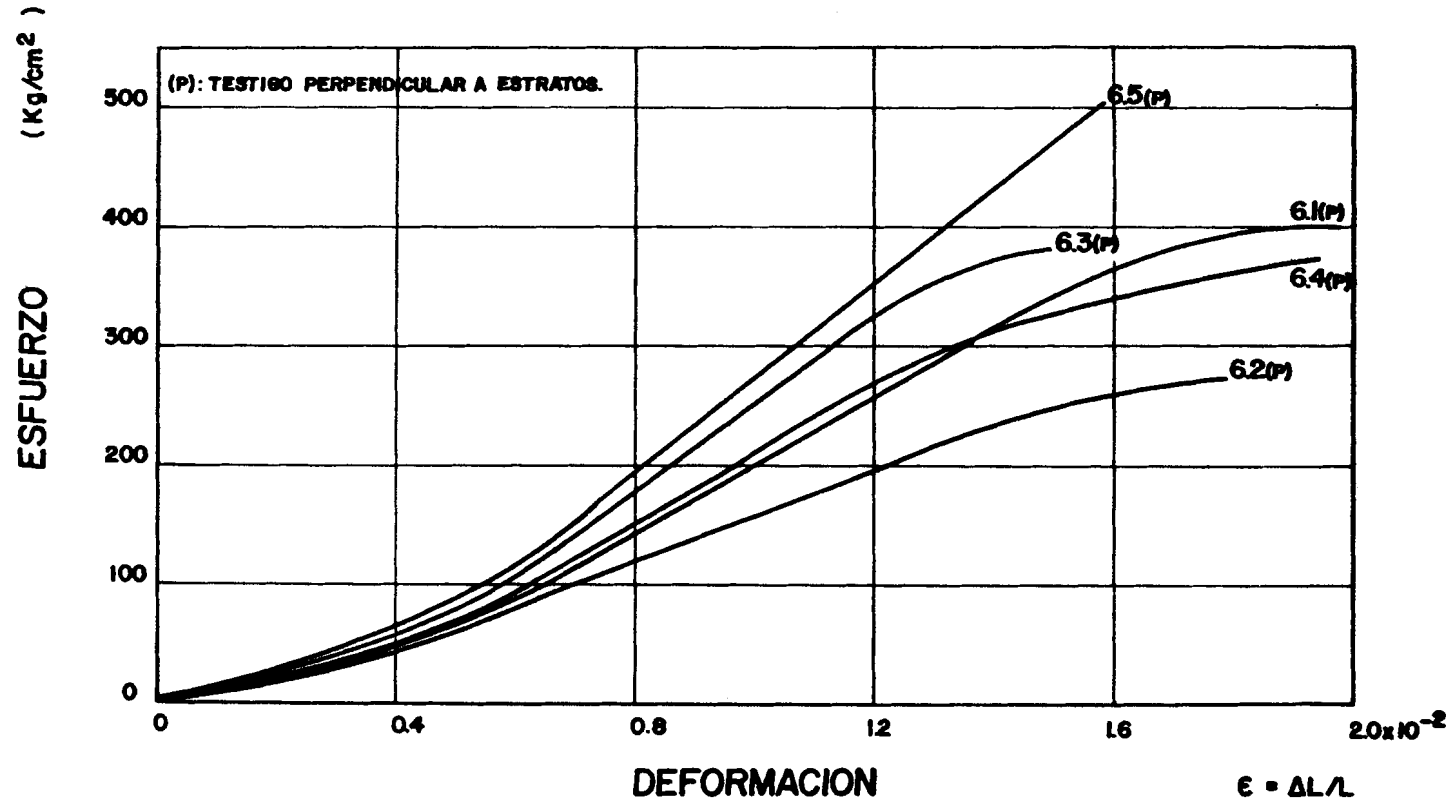


COMPRESION SIMPLE

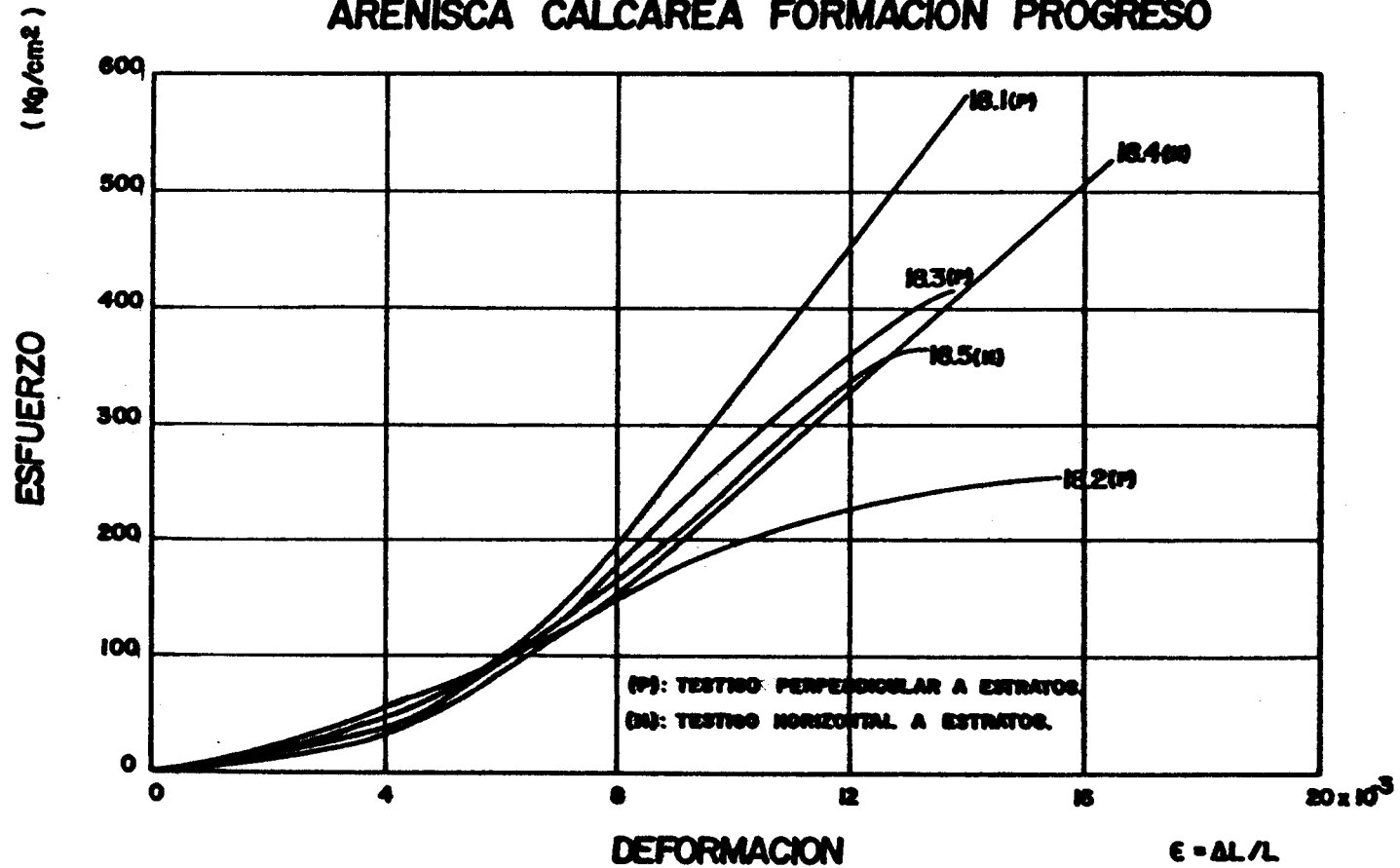
ARENISCA FORMACION PROGRESO



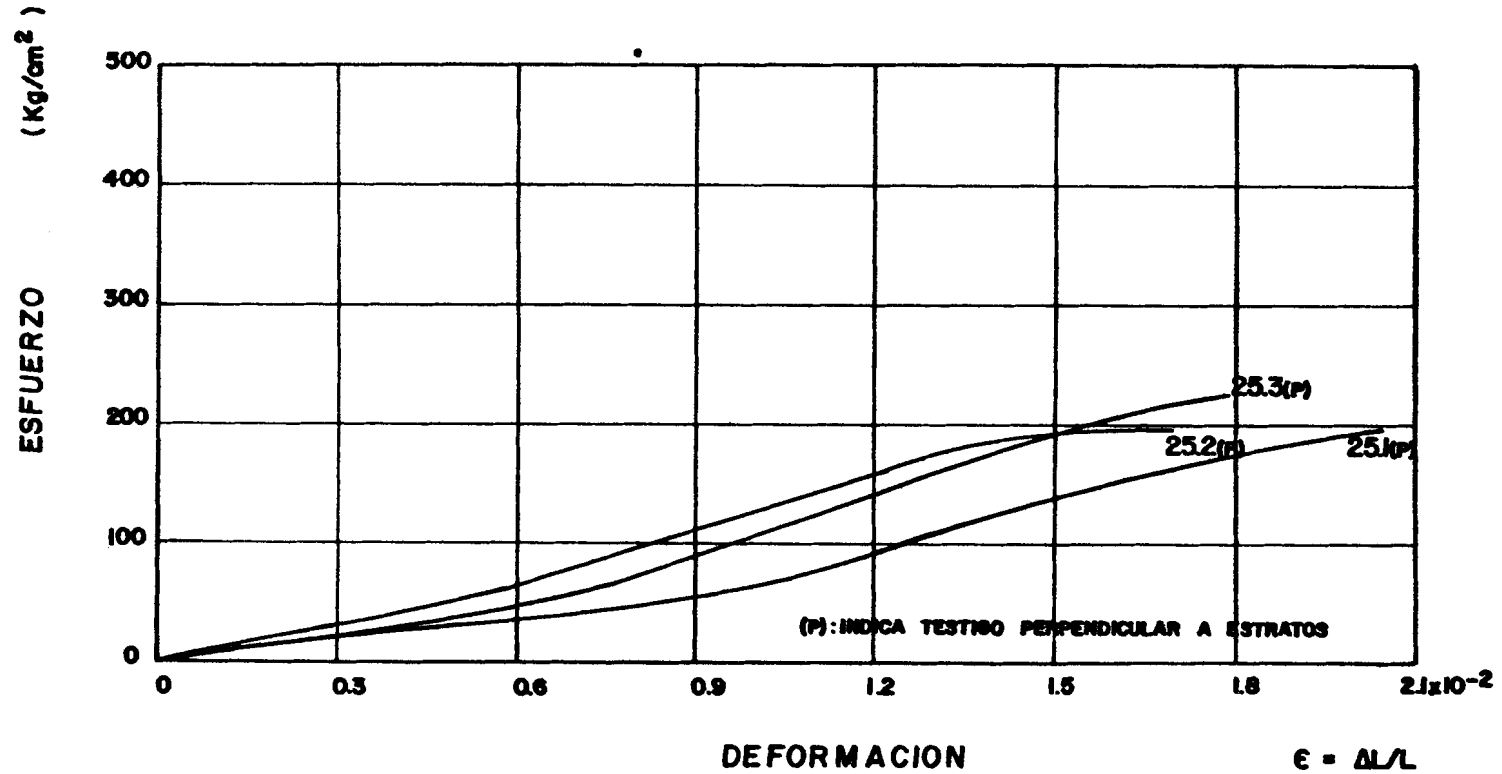
COMPRESION SIMPLE
ARENISCA FORMACION PROGRESO



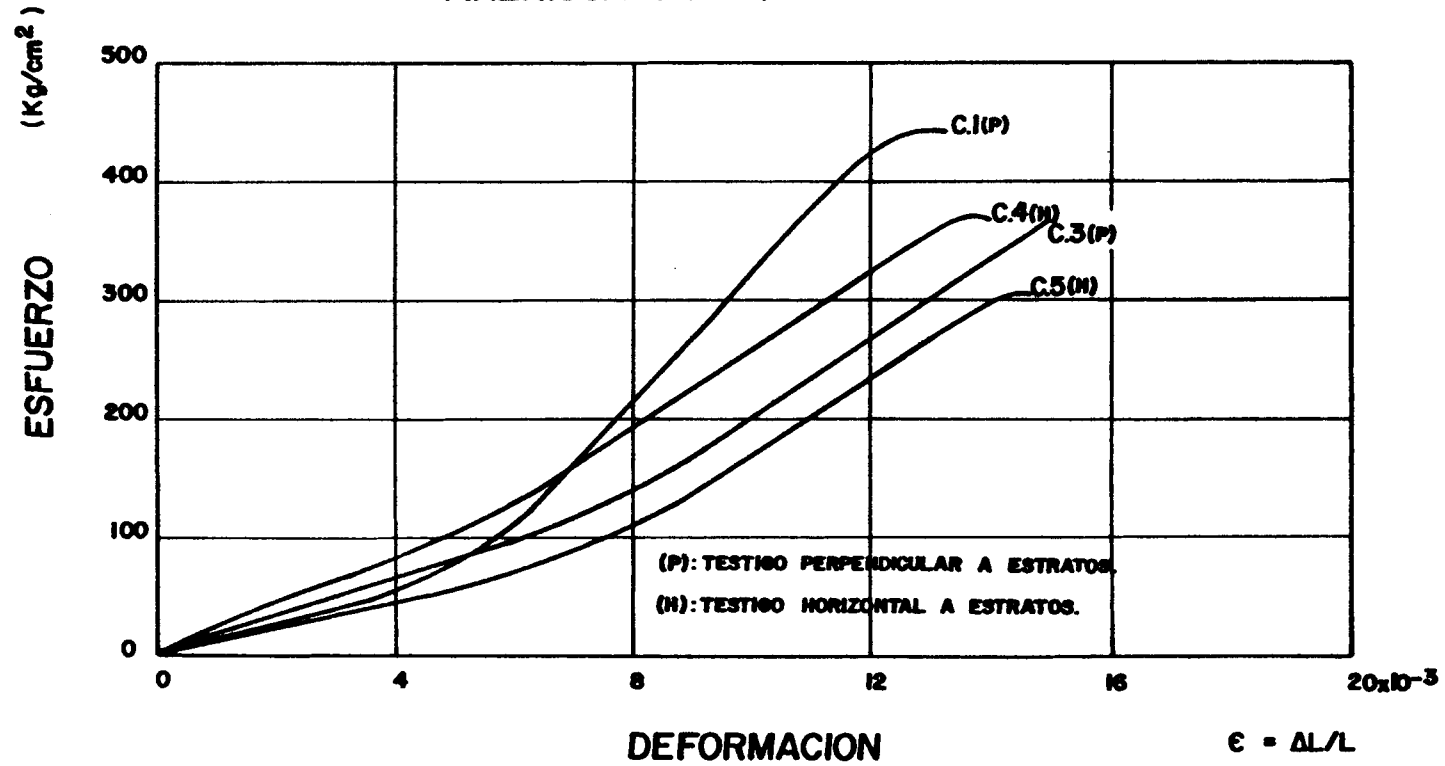
COMPRESION SIMPLE ARENISCA CALCAREA FORMACION PROGRESO



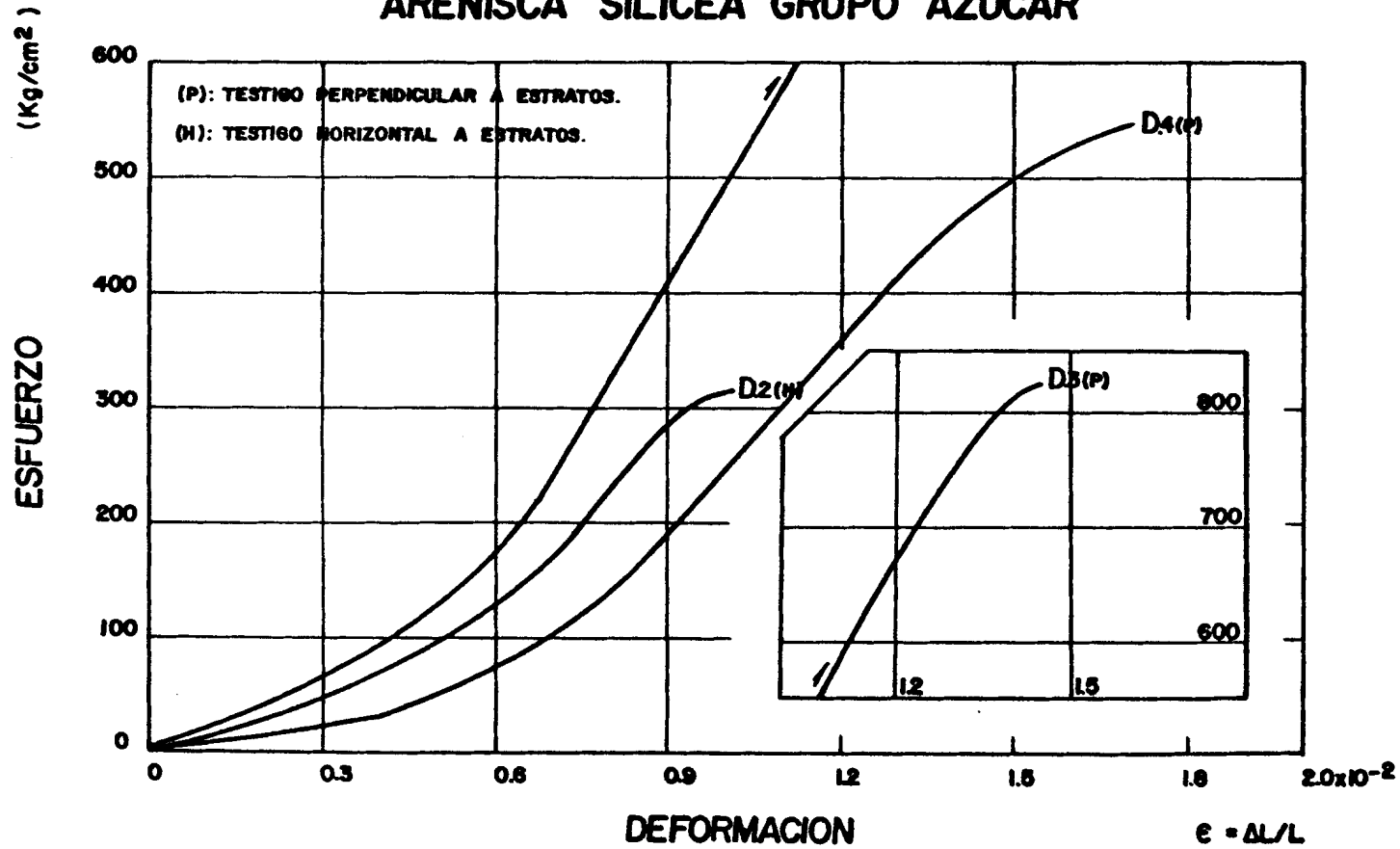
COMPRESION SIMPLE
ARENISCA FORMACION PROGRESO



COMPRESION SIMPLE
ARENISCA FORMACION ZAPOTAL



COMPRESION SIMPLE
ARENISCA SILICEA GRUPO AZUCAR



A N E X O F

RESULTADOS ENSAYOS COMPRESION SIMPLE

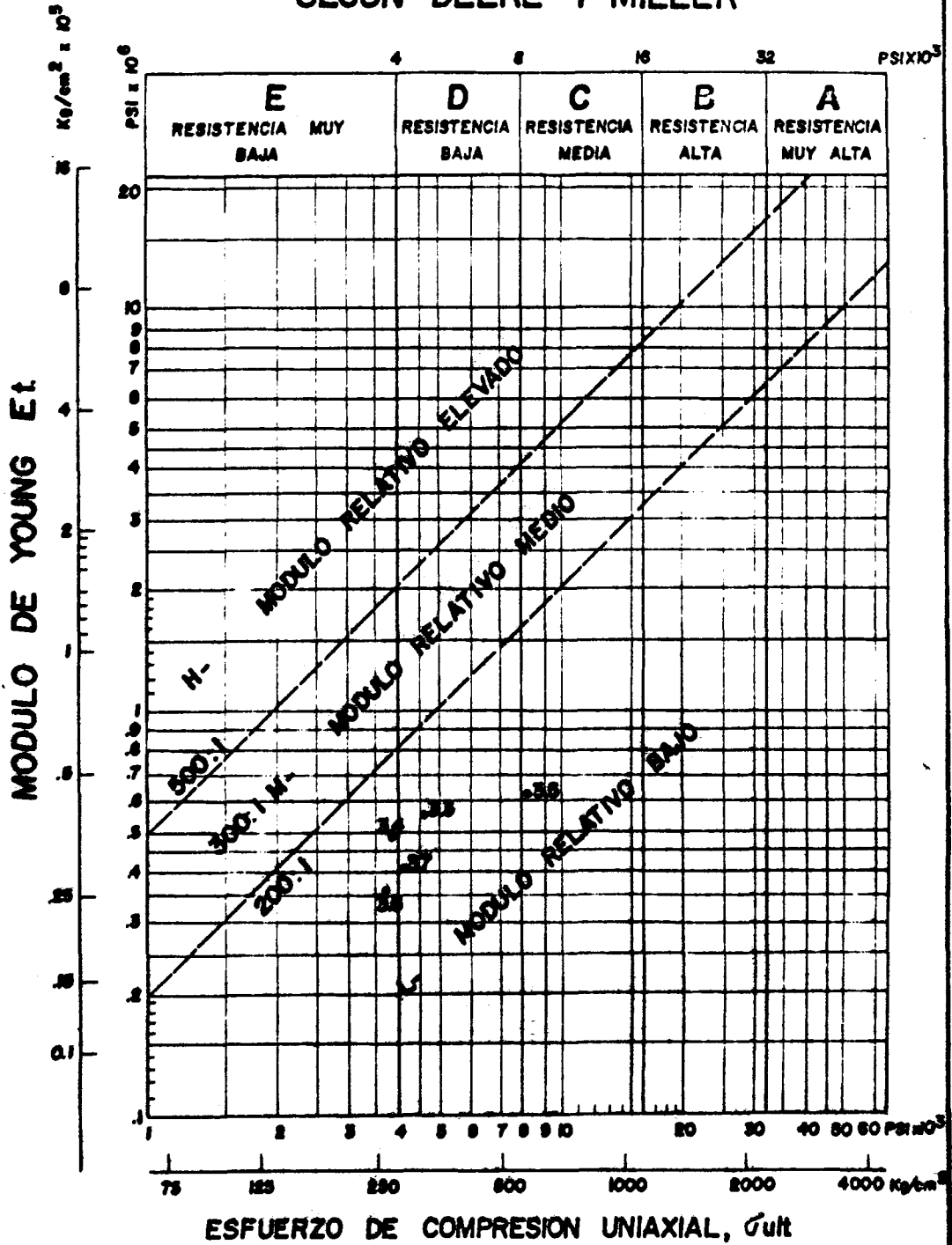
MUESTRA	TIPO	FORMACION	Lm	Dm	Lm/Dm	ϵ ult. x10-2	σ ult. (Kg/cm ²)	Et (Kg/cm ²)	Et/ σ ult	CLAS. ROCA INTACTA	PERMEA- BILIDAD	OBSERVACIONES
3.3	Coquina	Progreso	2.768	2.518	1.099	1.214	323.84	39017	120.48	DL	NULA	Testigos perpendiculares a estratos. Presentan oquedades por proceso de diagénesis
3.4	Coquina	Progreso	2.739	2.497	1.097	1.168	277.11	36462	131.58	EL	NULA	
3.5	Coquina	Progreso	2.765	2.515	1.099	1.736	583.09	43193	74.08	CL	NULA	
3.6	Coquina	Progreso	2.701	2.500	1.080	1.370	257.63	25258	98.04	EL	NULA	id.
3.7	Coquina	Progreso	2.733	2.517	1.083	1.630	286.47	28364	99.01	DL	NULA	id.
C.1	Arenisca	Zapotal	2.760	2.483	1.112	1.338	443.05	48159	108.70	DL	NULA	id.
C.3	Arenisca	Zapotal	2.761	2.483	1.112	1.493	360.70	34683	96.15	DL	NULA	id.
C.4	Arenisca	Zapotal	2.764	2.513	1.100	1.395	371.02	33127	89.29	DL	NULA	Testigos en el mismo plano de estratos
C.5	Arenisca	Zapotal	2.724	2.515	1.083	1.486	305.43	33199	108.70	DL	NULA	id.
25.1	Arenisca	Progreso	2.734	2.522	1.084	2.048	189.69	14157	74.63	EL	NULA	Muestra algo meteorizada
25.2	Arenisca	Progreso	2.770	2.518	1.100	1.697	193.98	16439	84.74	EL	NULA	id.
25.3	Arenisca	Progreso	2.513	1.875	1.340	1.791	223.73	22373	100.00	EL	NULA	id.
5.1	Arenisca	Progreso	2.773	2.427	1.143	2.308	307.99	17907	58.14	DL	NULA	Testigos perpendiculares a los estratos.
5.2	Arenisca	Progreso	2.763	2.497	1.106	2.027	309.80	21816	70.42	DL	NULA	id.
5.3	Arenisca	Progreso	2.805	2.523	1.112	1.676	322.00	31569	98.04	DL	NULA	id.
5.4	Arenisca	Progreso	2.765	2.525	1.095	1.627	371.86	35415	95.24	DL	NULA	id.
5.5	Arenisca	Progreso	2.786	2.527	1.103	1.974	302.39	21600	71.43	DL	NULA	id.
5.6	Arenisca	Progreso	2.583	2.527	1.022	1.549	222.06	17908	80.64	EL	NULA	Testigos en el mismo plano de los estratos
5.7	Arenisca	Progreso	2.734	2.498	1.095	1.902	215.92	18614	86.21	EL	NULA	id.
5.8	Arenisca	Progreso	2.653	2.508	1.058	1.696	153.64	11297	73.52	EL	NULA	id.

MUESTRA	TIPO	FORMACION	Lm (cm)	Dm (cm)	Lm/Dm	$\epsilon_{ult.}$ $\times 10^{-2}$	$\sigma_{ult.}$ (Kg/cm ²)	E_t (Kg/cm ²)	$E_t/\epsilon_{ult.}$	CLAS. ROCA INTACTA	PERMEA- BILIDAD	OBSERVACIONES
18.1	Arenisca Calcareo	Progreso	2.769	2.503	1.106	1.408	579.67	65873	113.64	CL	NULA	Testigo Perpendi- cular a estrato.
18.2	Arenisca Calcareo	Progreso	2.819	2.530	1.114	1.561	256.06	30851	120.48	EL	NULA	id.
18.3	Arenisca Calcareo	Progreso	2.758	2.515	1.097	1.378	416.50	49583	119.05	DL	NULA	id.
18.4	Arenisca Calcareo	Progreso	2.765	2.498	1.106	1.642	525.85	44564	84.74	DL	NULA	Testigo tomado en el mismo plano que los estratos id.
18.5	Arenisca Calcareo	Progreso	2.783	2.502	1.112	1.330	364.63	43408	119.05	DL	NULA	
D.2	Arenisca Silicea	Azúcar	2.761	2.456	1.124	1.014	315.88	49356	156.25	DL	NULA	id.
D.3	Arenisca Silicea	Azúcar	2.739	2.520	1.087	1.446	822.18	89367	108.70	CL	NULA	Testigo perpendi- cual a estrato id. id. id. id. id. id.
D.4	Arenisca Silicea	Azúcar	2.626	2.447	1.073	1.699	549.40	56061	102.04	DL	NULA	
6.1	Arenisca	Progreso	2.666	2.530	1.054	1.980	398.55	29305	73.53	DL	NULA	
6.2	Arenisca	Progreso	2.570	2.468	1.041	1.790	272.77	19484	71.43	EL	NULA	
6.3	Arenisca	Progreso	2.610	2.450	1.065	1.494	380.89	35269	92.60	DL	NULA	
6.4	Arenisca	Progreso	2.676	2.527	1.059	1.943	373.65	29892	80.00	DL	NULA	
6.5	Arenisca	Progreso	2.711	2.508	1.081	1.586	502.83	39908	79.37	DL	NULA	

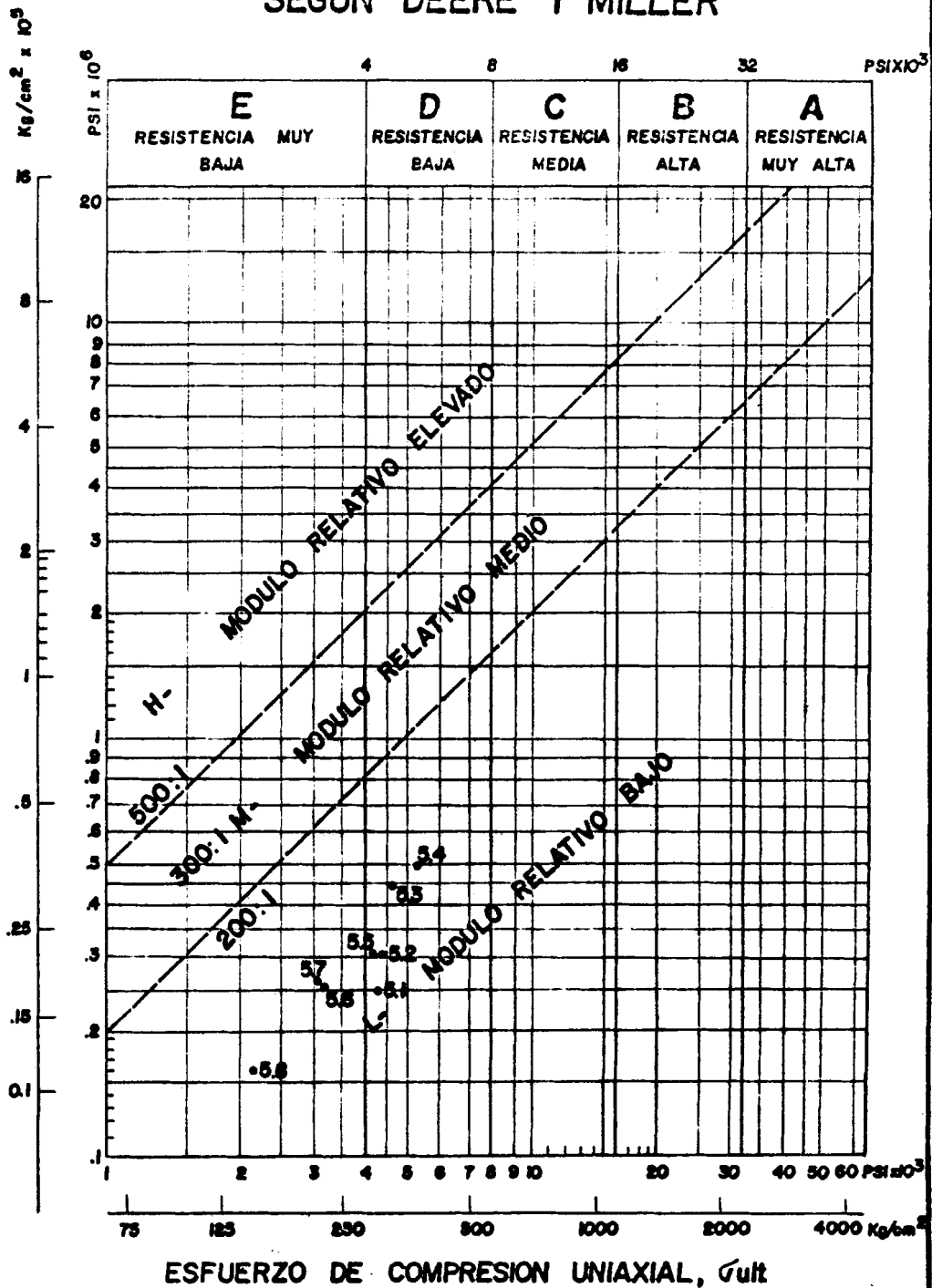
A N E X O G

CARTAS DE CLASIFICACION DE ROCA INTACTA

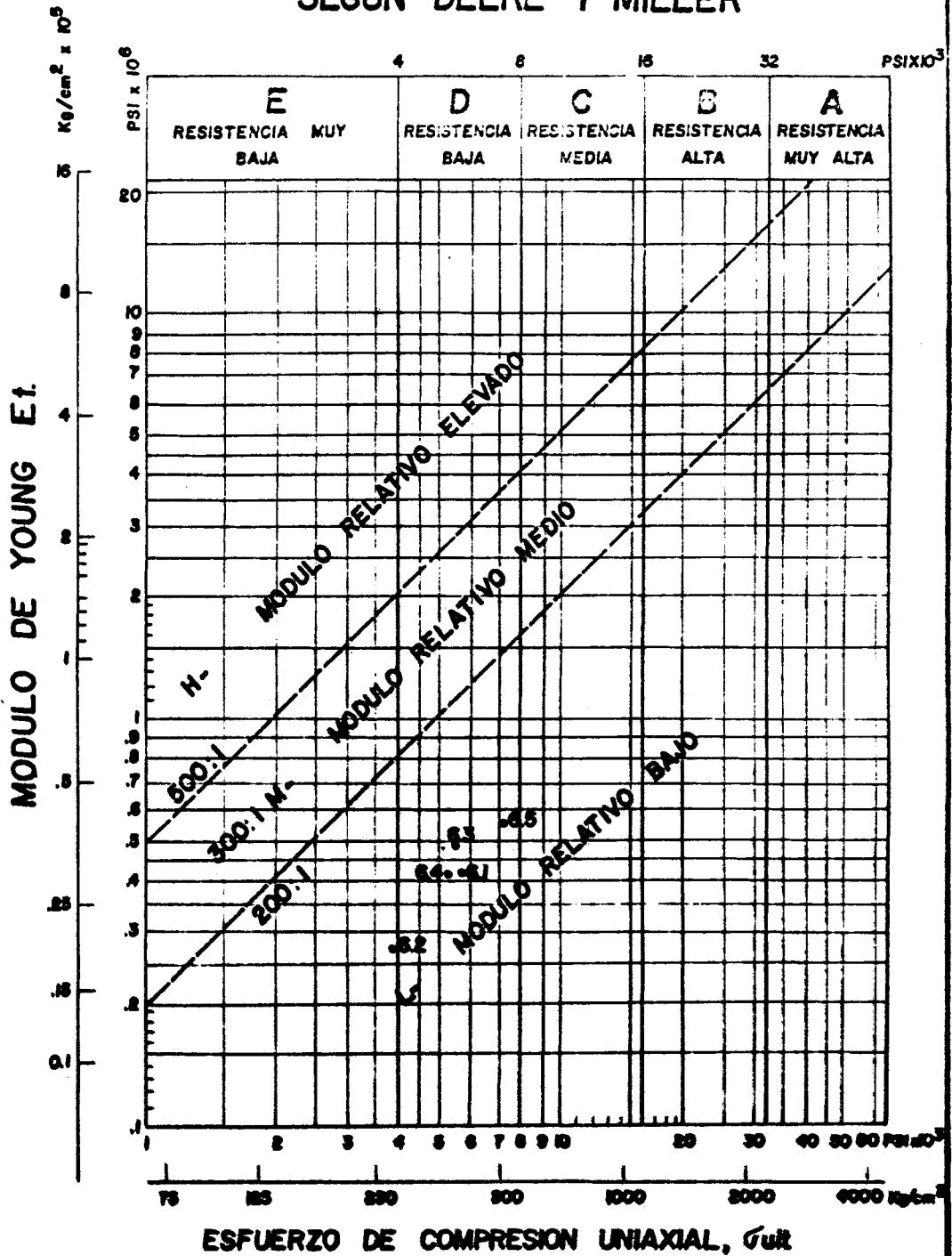
CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



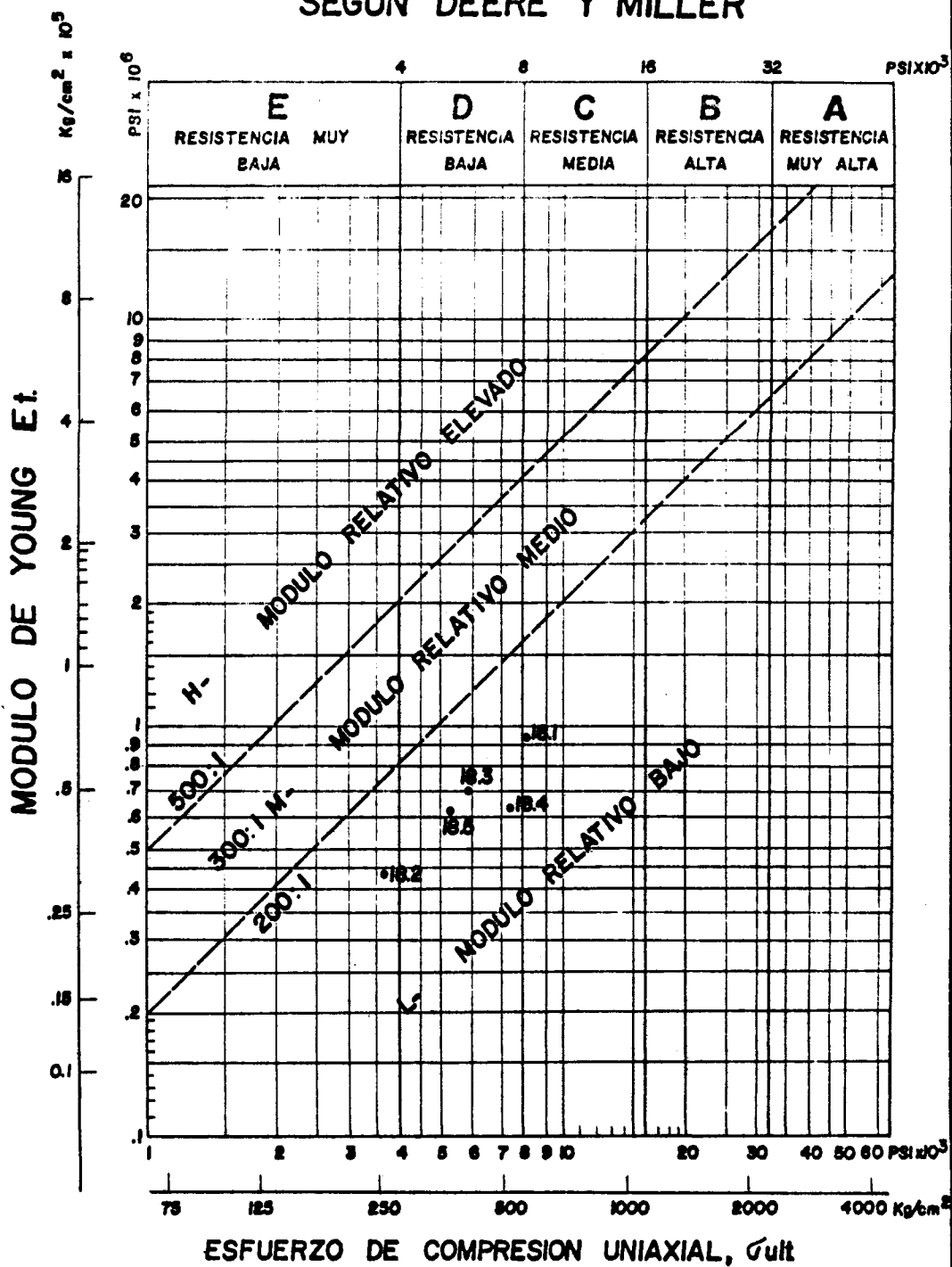
MODULO DE YOUNG Et.



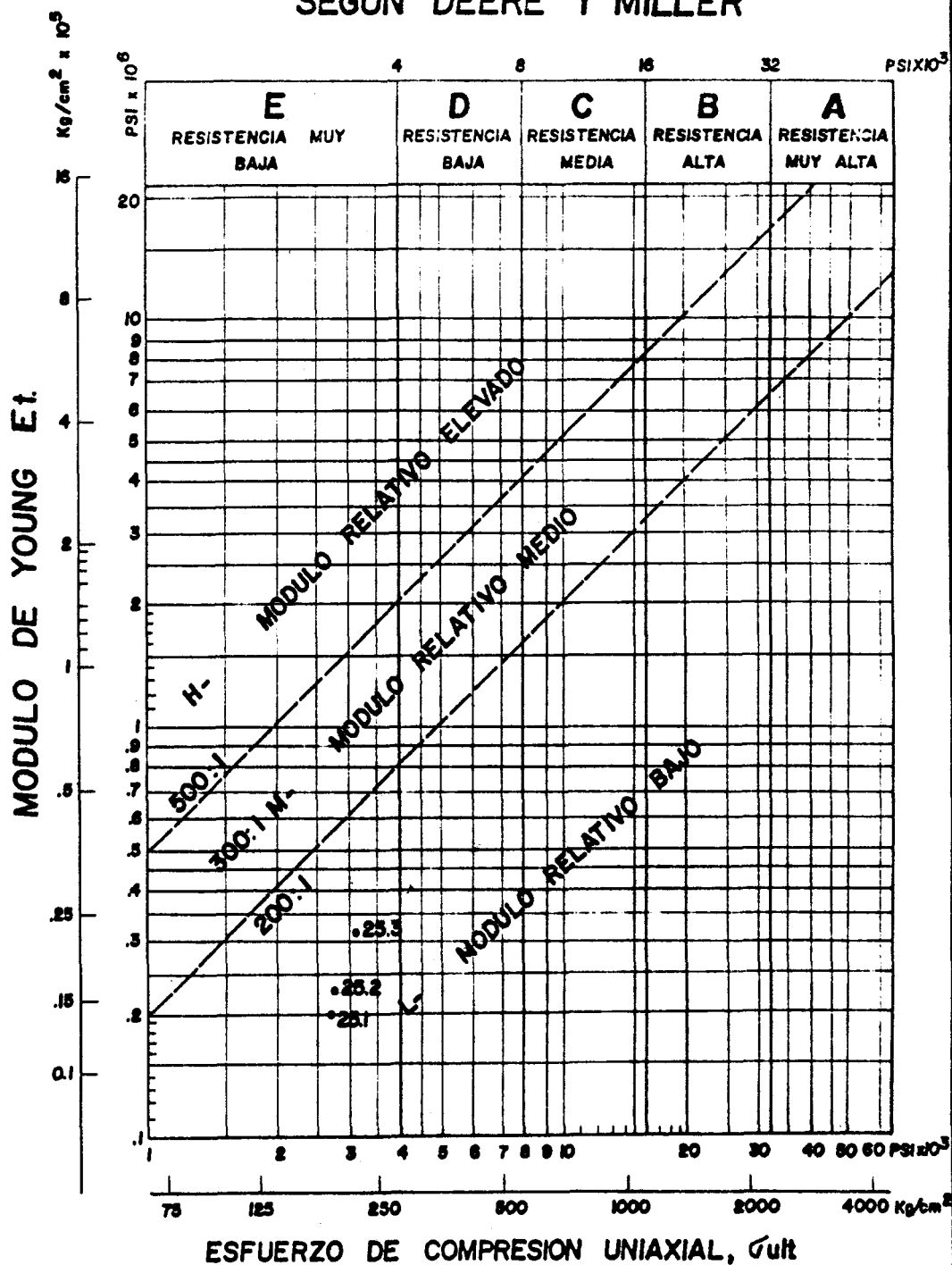
CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



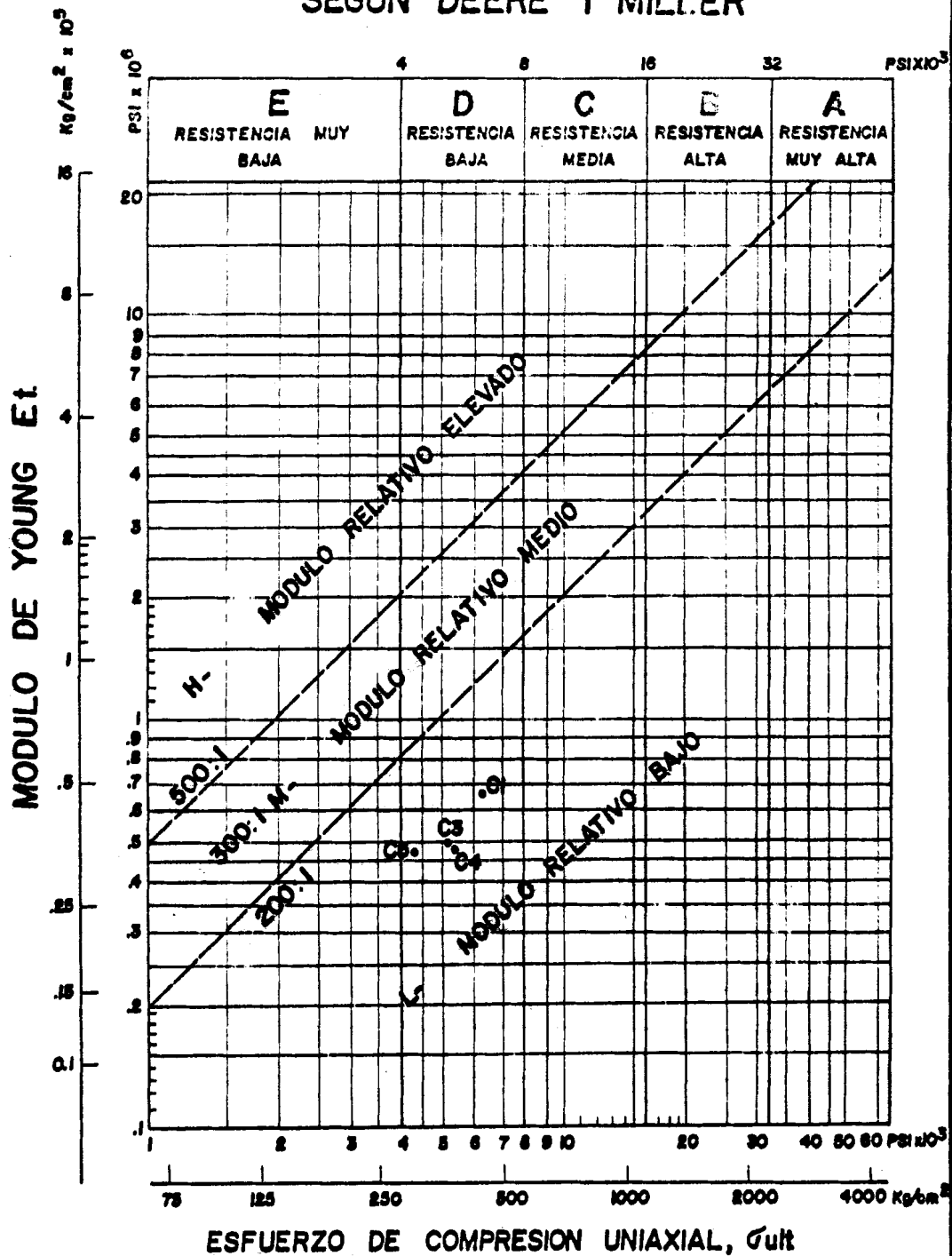
CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



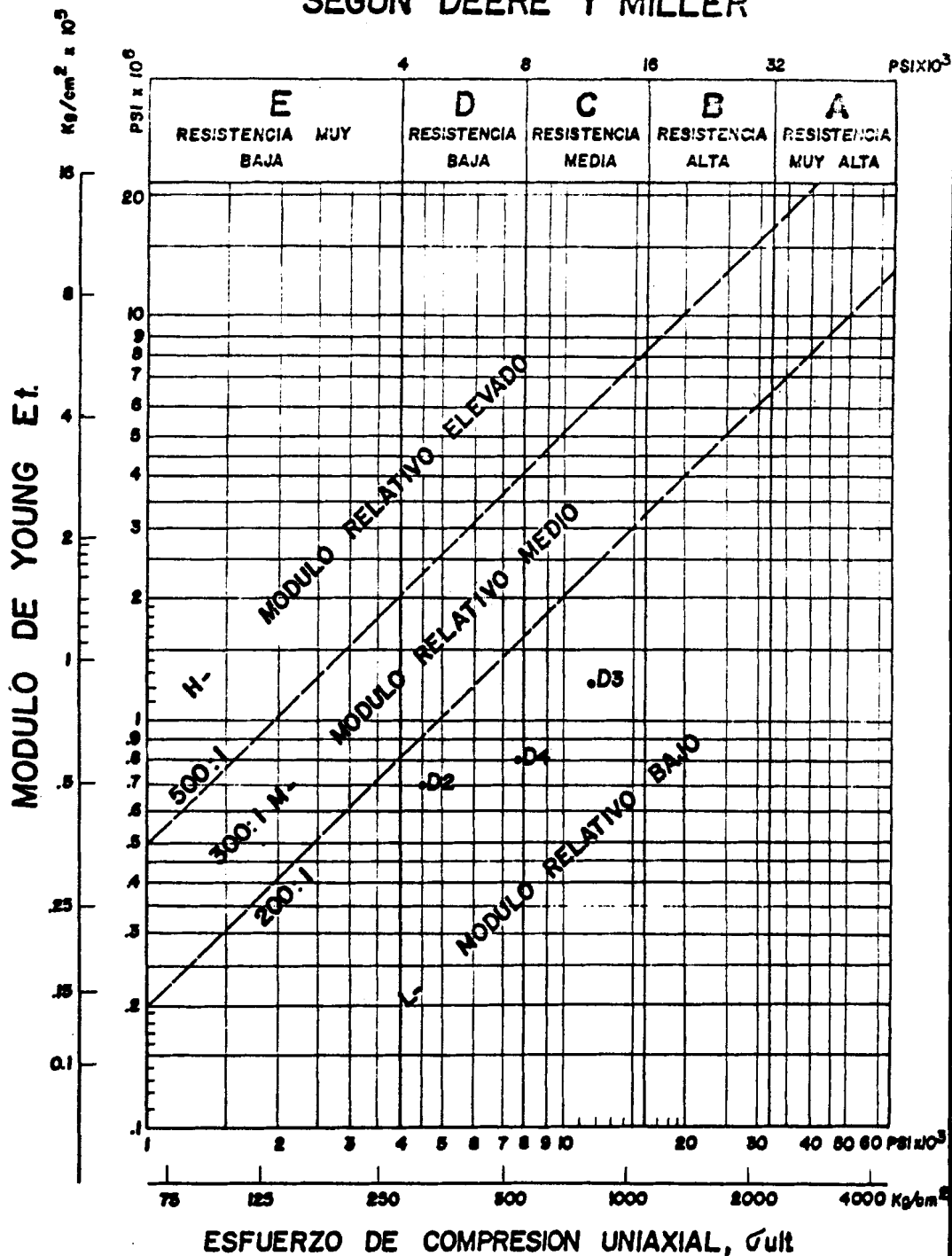
CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA SEGUN DEERE Y MILLER



A N E X O H

RESULTADOS ENSAYO DE CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO

FORMACION PROGRESO										
MUESTRA	L.L.	L.P.	I.P.	W (%)	W op (%)	σ_{max} (kg/m ³)	CLASIFICACION		COLOR	OBSERVACIONES
							SUCS	AASHO		
1	74.40	27.00	47.40	8.69	22.8	1495	CH	A-7-5	café gricáseo	
6	61.40	27.00	34.13	5.97	17.6	1560	CH	A-7-5	café gricáseo	
17	77.30	37.90	39.40	11.84	25.8	1440	OH	A-7-6	café gricáseo	
18	89.00	30.62	58.38	14.15	25.2	1470	CH	A-7-5	café gricáseo	
20	43.70	19.81	23.89	8.10	17.9	1640	CL	A-7-5	café gricáseo	
22	73.20	28.17	45.03	11.84	20.4	1500	CH	A-7-5	café gricáseo	
24	69.50	18.74	50.76	9.01	20.0	1520	CH	A-7-5	café gricáseo	
26	84.10	30.95	53.15	10.27	18.4	1475	CH	A-7-5	café gricáseo	
27	62.90	22.64	40.26	11.47	25.2	1420	CH	A-7-5	café gricáseo	
28	63.80	23.07	40.73	4.71	24.2	1480	CH	A-7-5	café gricáseo	
34	59.20	22.64	36.56	10.47	22.7	1500	CH	A-7-5	gris oscuro	
MIEMBRO VILLINGOTA										
2	54.50	22.64	31.86	10.24	24.8	1140	CH	A-7-5	blanco a café muy pálido	El lecho rocosa se encuentra muy próximo a la superficie
30	72.80	27.00	45.80	13.13	23.6	1450	CH	A-7-5	gris oscuro	
33	59.20	23.30	35.90	12.00	30.0	1020	CH	A-7-5	blanco a café muy pálido	El lecho rocoso se encuentra muy próximo a la superficie
35	58.50	22.94	35.56	10.64	25.4	1420	CH	A-7-5	gris oscuro	
MIEMBRO DOS BOCAS										
15	66.44	28.75	37.69	9.97	17.6	1470	CH	A-7-5	café gricáseo	
16	65.40	27.27	38.13	13.66	26.2	1440	CH	A-7-5	café amarillento	Esta muestra se encuentra en la Vecindad del contacto entre Mb. Dos Bocas y Fm. Progreso.

MIEMBRO ZAPOTAL

MUESTRA	L.L	L.P	I.P	W (%)	W ^{op} (%)	σ_{max}	CLASIFICACION SUCS AASHO		COLOR	OBSERVACIONES
32	28.20	15.92	12.28	5.71	18.0	1665	CL	A-6	café amarillento	

GRUPO AZUCAR

5	58.0	19.81	38.19	5.41	19.4	1680	CH	A-7-5	café-amarillento pálido	
8	48.0	19.62	28.38	7.17	16.9	1765	CL	A-7-5	café amarillento	

SUELO TRANSPORTADO METEORIZADO

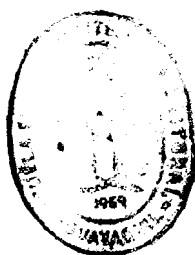
7	41.90	12.93	28.97	7.21	15.0	1820	CL	A-7-5	café grisáceo	Coluvial Meteorizado
9	55.00	15.92	39.08	7.31	17.8	1695	CH	A-7-5	café grisáceo	Coluvial Meteorizado
11	74.90	23.52	51.38	9.04	16.2	1530	CH	A-7-5	gris oscuro	Terrazas Meteorizada
13	41.50	16.06	25.44	7.28	11.9	1835	CL	A-7-5	café amarillento	Coluvial Meteorizada

DEPOSITOS ALUVIALES Y TERRAZAS

4				0.97			GW	A-1-a		
10				1.32			GP	A-1-a		
12				1.22			GW	A-1-a		
14				0.86			GP	A-1-a		
19	22.70	16.78	5.92	1.85			SC,SM	A-2-4		
21	40.50	16.84	23.66	5.61	16.9	1650	CL	A-6	café grisáceo	
23	28.55	13.39	15.16	5.59	15.4	1680	SL	A-6	café grisáceo	Terraza colgada
25	41.50	22.64	18.86	6.63	15.2	1680	CL	A-6	café grisáceo	
29	28.50	16.21	8.29	3.96	13.6	1735	SL	A-2-4	café grisáceo	
31				2.89			SM	A-1-b		No fue posible tomarle los límites de Attenberg

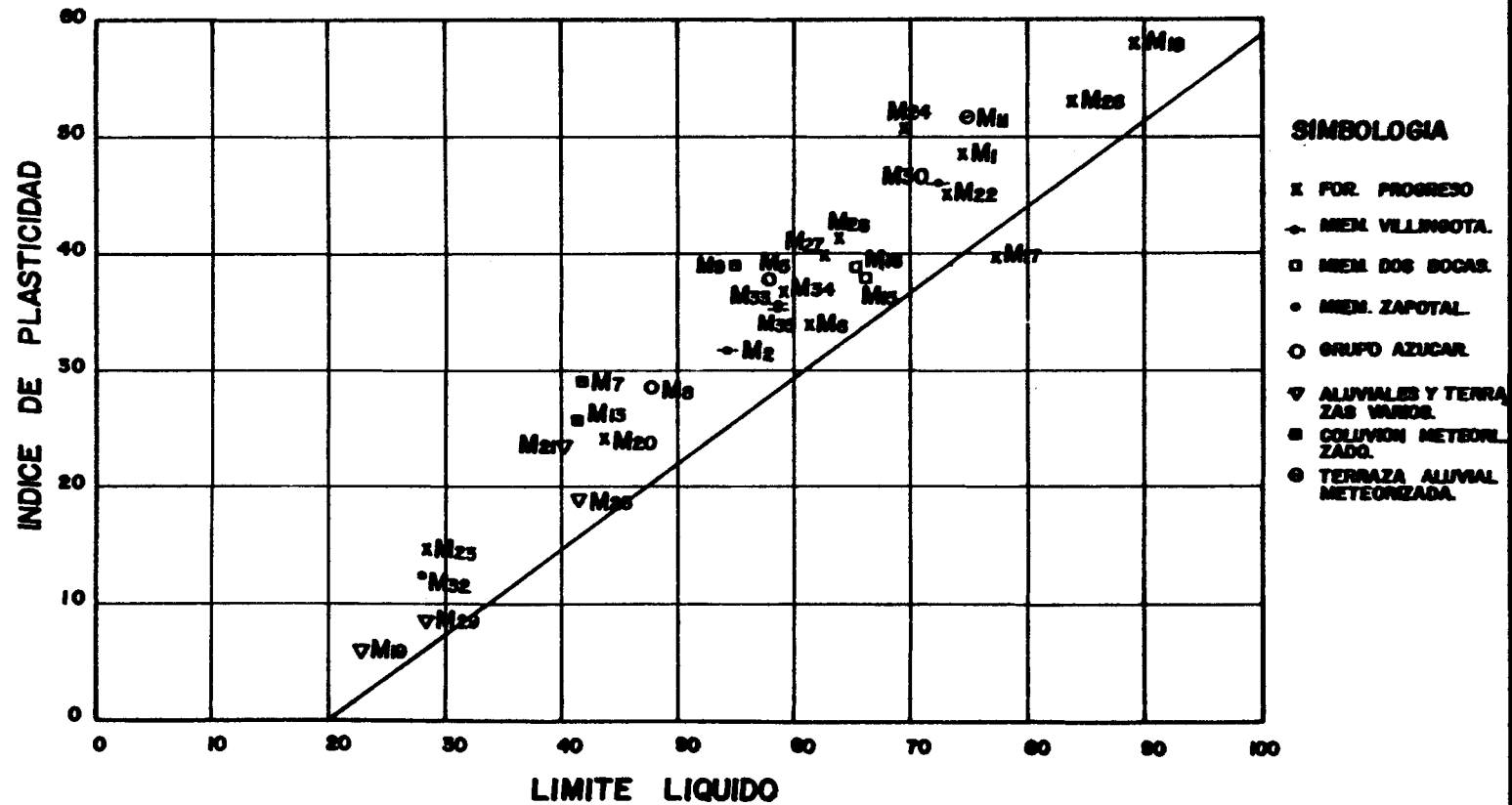
A N E X O I

CARTA DE PLASTICIDAD Y PROCTOR STANDARD



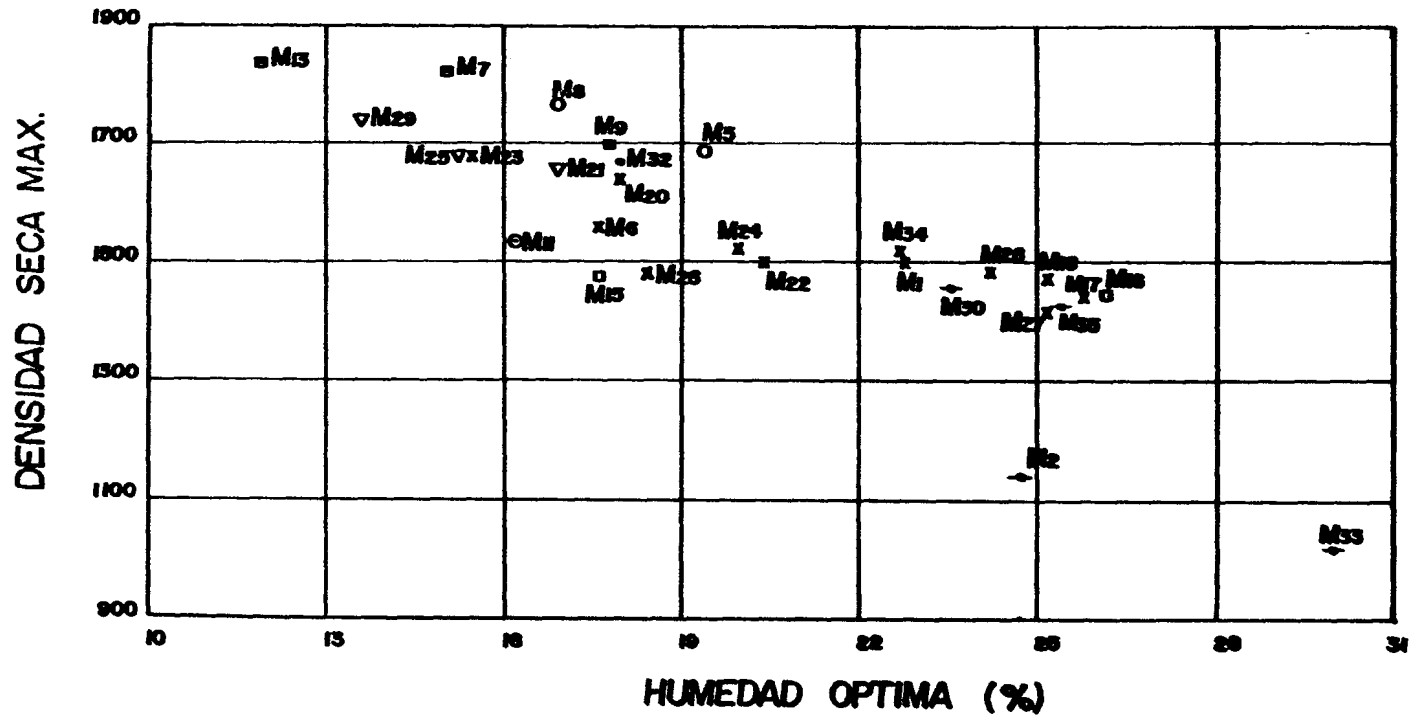
BIBLIOTECA

CARTA DE PLASTICIDAD



ENSAYO PROCTOR STANDARD

NOTA: SIMBOLOGIA UTILIZADA, VER CARTA DE PLASTICIDAD



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

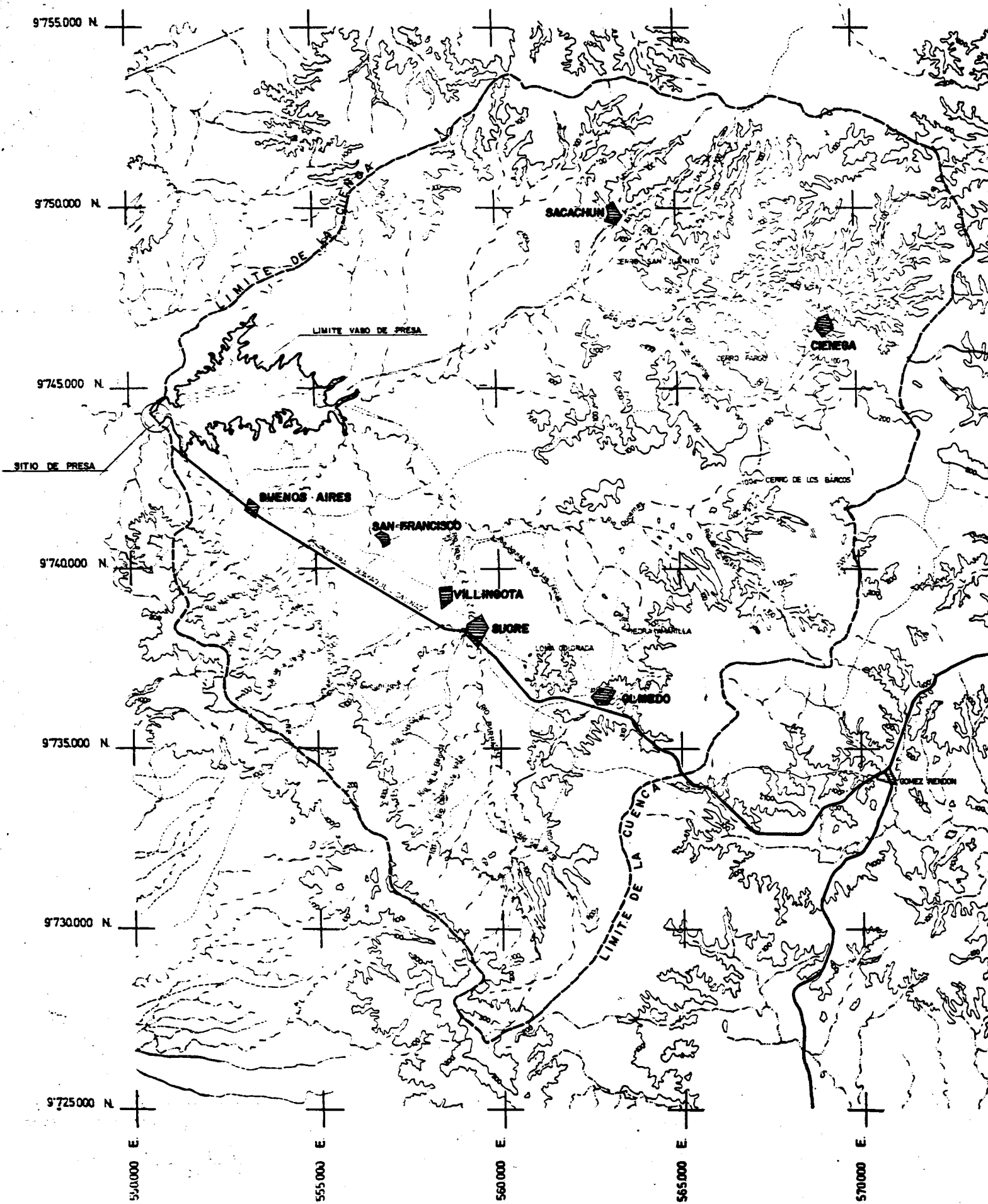
1. ALBAN, L. y GONZALEZ, M. Manual de Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica, ESPOL, Guayaquil, 1979.
2. ALVARADO, R. A Photo-Geomorphic and Photo-Morphotectonic Interpretation of the Northern Basin of Trinidad, West Indies, Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Pensilvania U.S.A., 1971, 25 p.
3. ALVARADO, R. A Photo-Hidrogeologic Interpretation of the Blesa Basin, Teruel Spain, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences I.T.C., 1977, 12 p.
4. AYON, H. Informe Geológico para las Alternativas M-5 y M-6 y Obras Conexas, CEDEGE, Guayaquil, 1978.
5. AYON, H. Los Factores Geológicos en la Zonificación Geotécnica, SEMSIR, Guayaquil, 1980, 16 p.
6. ASESORIA TECNICA DE PETROLEOS DEL MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y COMERCIO, Reporte Geológico de la Costa Ecuatoriana, 1966.
7. CEDEGE, Estudio de Base del Plan Hidráulico. Acueducto de Santa Elena. Esquema Hidráulico. Estudio Geológico, Guayaquil, 1978, 60 p.
8. CEDEGE, Estudio de Base del Plan Hidráulico. Acueducto de Santa Elena. Esquema Hidráulico. Estudio Geotécnico, Guayaquil, 1978, 107 p.
9. CEDEGE, Estudio de Base del Plan Hidráulico. Acueducto de Santa Elena. Esquema Hidráulico. Memoria, Guayaquil, 1978, 59 p.
10. CEDEGE, Estudio de Base del Plan Hidráulico. Acueducto de Santa Elena. Evaluación Económica, Guayaquil, 1978.

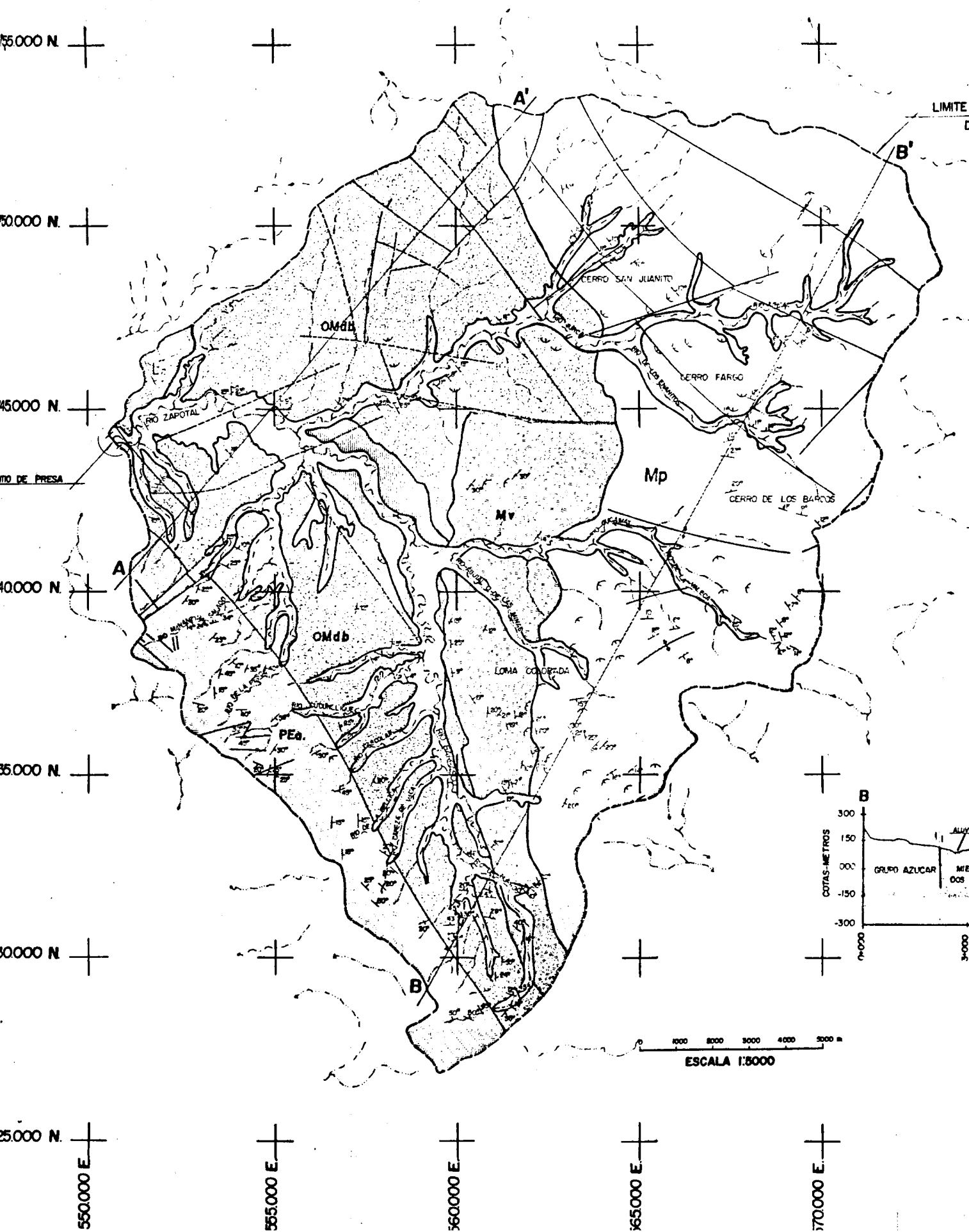
11. CEDEGE, Estudio Integral de los Suelos de la Península de Santa Elena, Guayaquil, 1978, 191 p.
12. CORTES, A. Taxonomía de Suelos, Instituto Geográfico Agustín Corazzi, Bogotá, 1976.
13. DEERE, D. y PATTON, F. Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales, Universidad de Illinois, U.S.A. 82 p.
14. DEERE, D. Engineering Classification and Index Properties for Intack Rock, Universidad de Illinois, U.S.A. 1976.
15. GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 950, "Nature to be Commanded..." Earth Science Maps Applied to Land and Water Management, Washington, 1978, 95 p.
16. KRUMBEIN, W. y SLOSS, L. Estratigrafía y Sedimentación, Departamento de Geología, Universidad de Northwestern, UTHEA, 1969.
17. KRYNINE, D. y JUDD, W. Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros, Editorial Omega S.A., 1975.
18. LAMBE, T. y WHITMAN R. Mecánica de Suelos, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Editorial LIMUSA-WHILEY, México, 1972.
19. LEGGET, R. Geología para Ingenieros, Editorial GILI S.A., Barcelona, España, 1964, 853 p.
20. LEVINSON, A. Introduction to Exploration Geochemistry, Departamento de Geología, Universidad de Calgary, Alberta Canadá, 1974.
21. LOPEZ, M. Manual de Fotogeología, Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear, Madrid, 1971, 287 p.

22. LOVELL, A. The Geology of the North Central Progreso Basin. Guayas Province Ecuador. TENEC Report Nro. G-1-179, 1961, 19 p.
23. MARURI, R. Factores Determinantes en la Zonificación Geoténica, SEMSIR, Guayaquil, 1980, 34 p.
23. MARURI, R. y AYON, H. Estudios Definitivos de la Primera Etapa del Plan de Desarrollo de la ESPOL. Estudios Generales del Terreno: Geología y Geotécnia, ESPOL, Unidad de Planificación, 1978-1979.
24. MATHEWSON, C. y FONT, R. Geologic Enviroment: Forgotten Aspect in the Land Use and Planning Process, Departamento de Geología, Universidad Texas A & M, College Station Texas, 1973. 6 p.
25. MATULA, M. Regional Engineering Geological Evaluation for Planning Purposes, Departamento de Ingeniería Geológica, Universidad de Comenius, Bratislava, Checoslovaquia, 1979, 7 p.
26. McLAUGHLIN, D. The Geology of the South Western Side of the Progreso Basin. Guayas Province Ecuador, TENEC Report Nro. G-1-79-A, 1956
27. NUGENT, L. Photogeology Analysis of Santa Elena Península, Ecuador, 1954, 5 p.
28. PERRI, G. Apuntes de los Cursos de Geotecnia (Estabilidad de Taludes), ESPOL, Guayaquil, 1976-1977.
29. RENGERS, N. y SOETERS, R. Regional Engieneering Geological Mapping from Aerial Photographs, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). 1979, 24 p.
30. RENGERS, N. Remote Sensing for Engieneering Geology: Possibilities and Limitations, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). 1978.

31. RODRIGUEZ, L. El Comportamiento de la Arcilla Negra Tipo Sarteneja, II Conferencia Ecuatoriana de Mecánica de Suelos y I de Geotécnica, Departamento de Publicaciones de la Universidad de Guayaquil, 1975, 14 p.
32. SAUER, W. Geología del Ecuador, Primera Edición Castellana, Editorial del Ministerio de Educación, Quito, 1965.
33. SAVOYAT, E. y FAUCHER. B. Esquema Geológico de los Andes Ecuatorianos, Revue de Geographie et de Geologie Dynamique, Nro. 2, Volumen XV, Fascículo 1-2, París, 1973, 28 p.
34. SEELYE, E. Data Book for Civil Engineers. Design, John Wiley and Sons Inc. , New York - Londres, 1946.
35. TERREROS, C. MORENO, B. Laboratorio de Mecánica de Suelos: Instructivo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Guayaquil, 1979.

M A P A S





LEYENDA

	DEPOSITO ALUVIAL		TERRAZAS INDIFFERENCIADAS
	FORMACION PROGRESO		PALEOTERRAZAS MAPEADAS POR FOTINTERPRETACION
	MIEMBRO VILLAGOTA		
	MIEMBRO DOS BOCAS		
	MIEMBRO ZAPOTAL		
	GRUPO AZUCAR		

CUATERNARIO

MIOCENO MEDIO A SUPERIOR

MIOCENO INFERIOR

MIOCENO INFERIOR

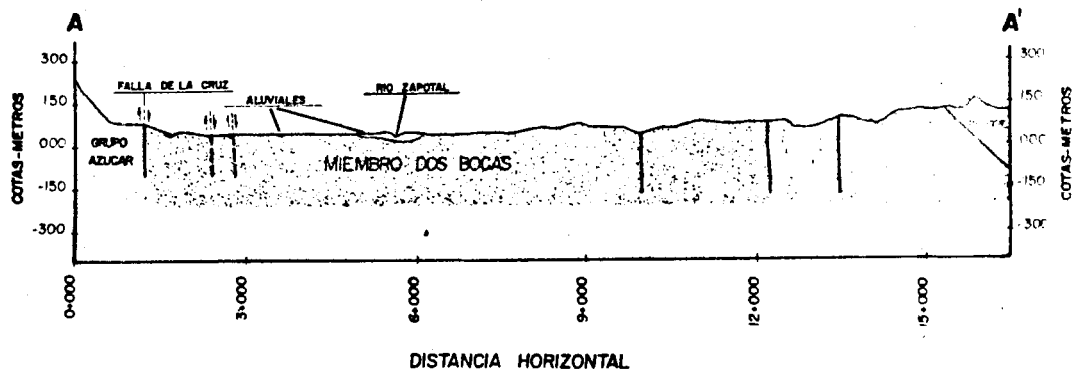
OLIGOCENO SUPERIOR

EOCENO INFERIOR

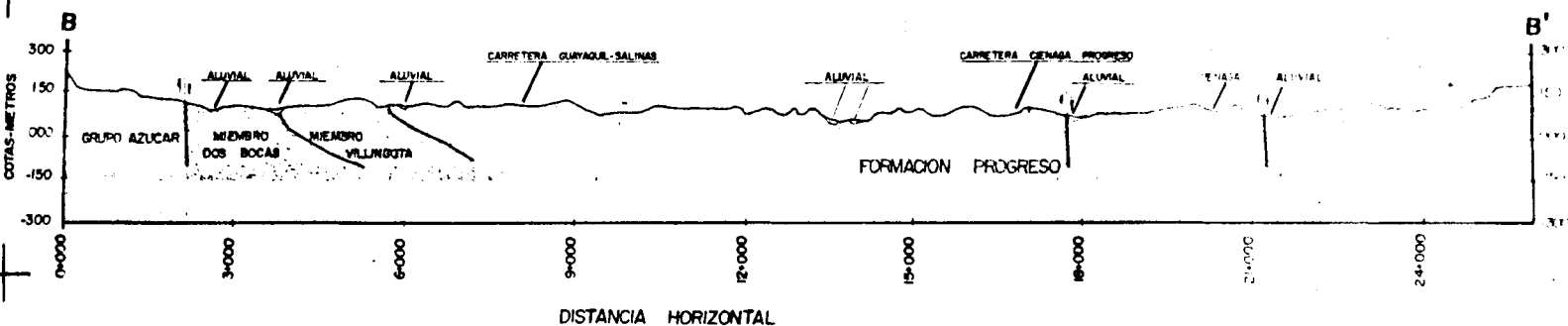
SIMBOLOS GEOLOGICOS

	CONTACTO
	CONTACTO TRANSICIONAL
	FALLA
	FALLA INFERIDA
	EJE SINCLINAL
	ESTRATIFICACION (RUMBO Y BUZAMIENTO)
	ESTRATIFICACION RUMBO POR FOTINTERPRETACION

PERFIL DEL EJE A-A'



PERFIL DEL EJE B-B'



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TESIS DE GRADO

INGENIERIA GEOTECNICA

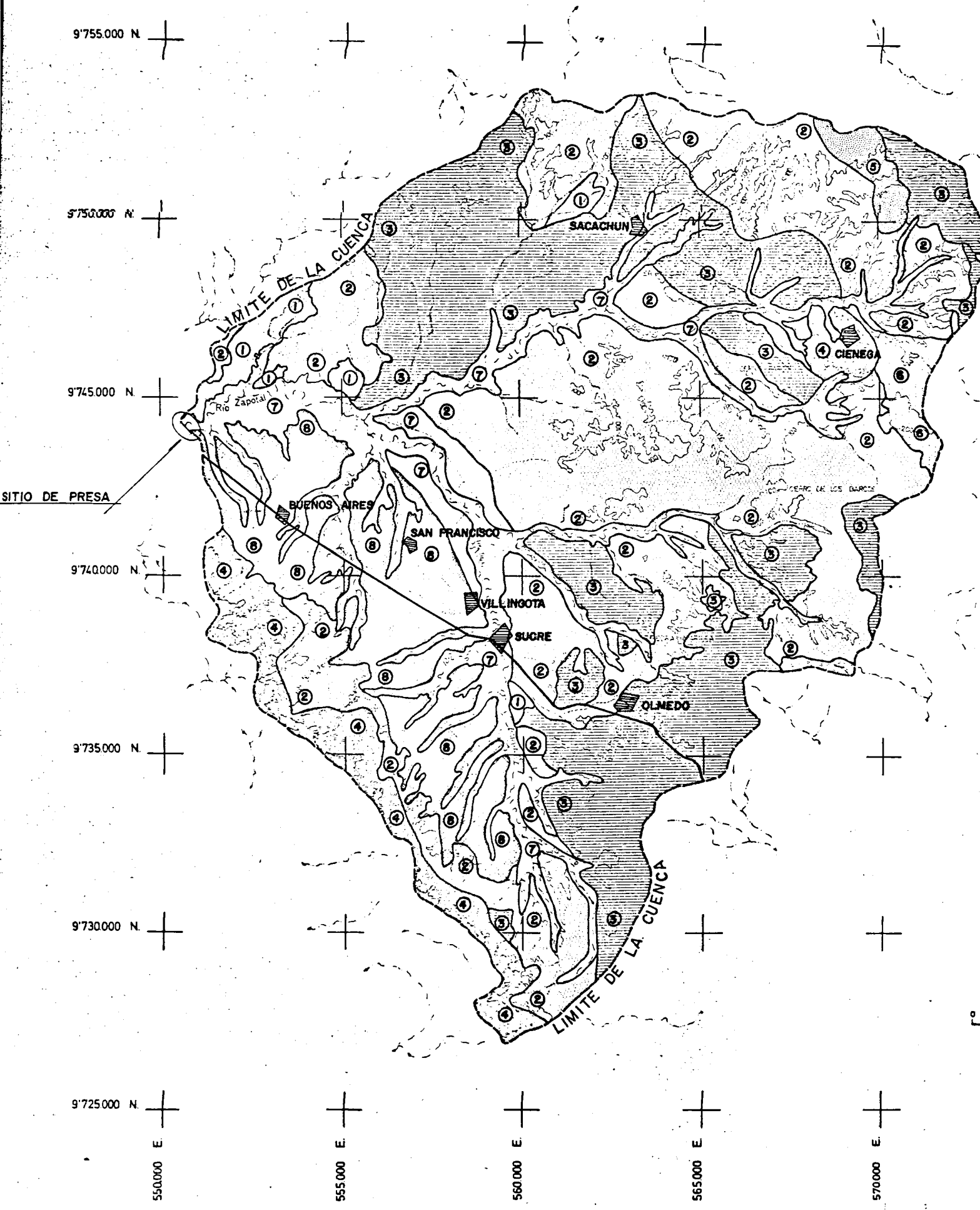
TEMA DE TESIS

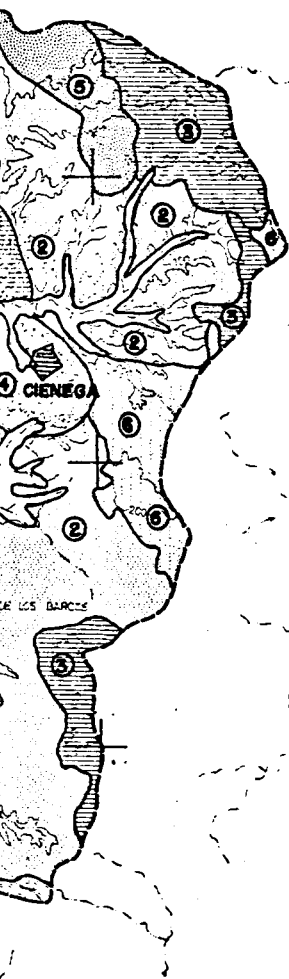
GEOLOGIA DE LA CUENCA

CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA DE DRENAJE DE LA
CERCA DE ZAPOTAL

POR ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

MAPA -II-





LEYENDA

- COLINAS**
- ① C1 20 mts. (ALTURA RELATIVA)
 - ② C2 20 - 50 mts. (ALTURA RELATIVA)
 - ③ C3 50 - 100 mts. (ALTURA RELATIVA)
 - ④ C4 100 - 300 mts. (ALTURA RELATIVA)
- MESETAS**
- ⑤ M1 LIGERAMENTE DISECTADAS
 - ⑥ M2 DISECTADAS
- AREAS PLANAS**
- ⑦ TERRAZAS Y VALLES
 - ⑧ PIE DE MONTE LOS CERROS DE ESTANCIA

0 1000 2000 3000 4000 5000 m.
ESCALA 1:50000

TEMA DE TESIS

CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA DE LA CUENCA DE DRENAJE DE LA PRESA DE ZAPOTAL.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

TESIS DE GRADO
INGENIERIA GEOTECNICA

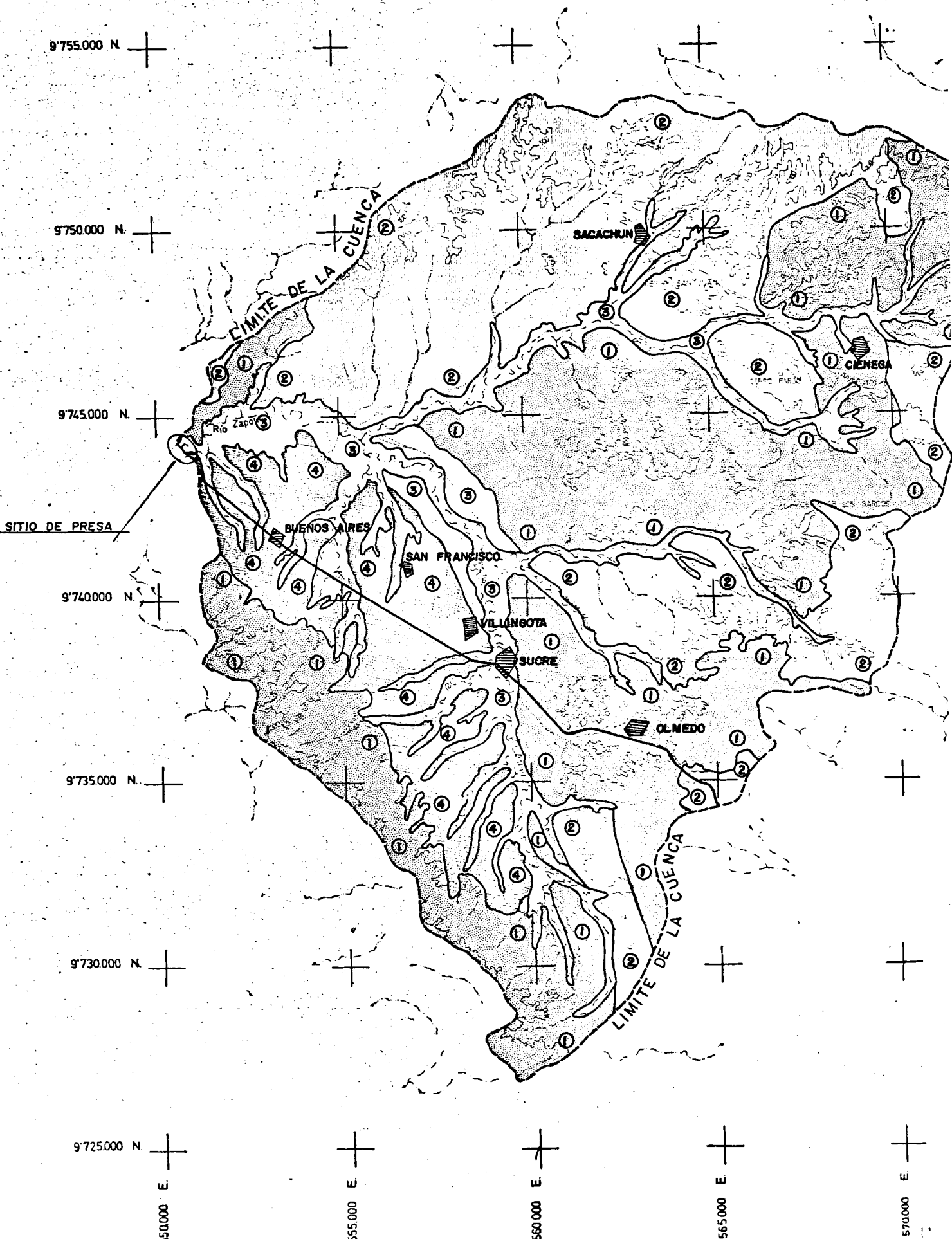
PLANO GEOMORFOLOGICO

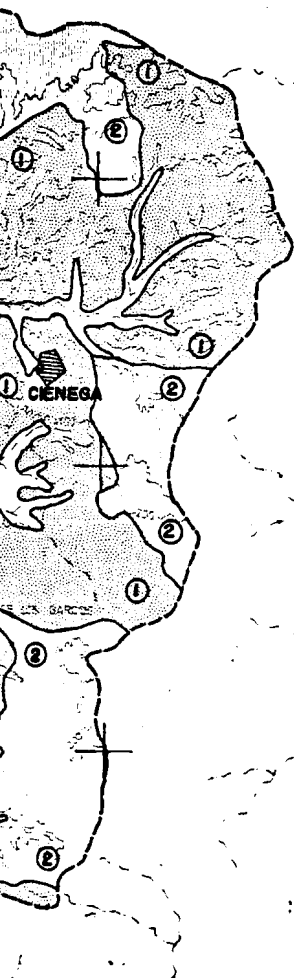
POR ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

Revisado: _____ Fecha: _____ Ref. MAPA-III-

570000 E.

575000 E.





LEYENDA

SUELOS
RESIDUALES



ZONAS DONDE PREDOMINAN SUELOS CON
ESPESORES MAYORES A UN METRO.



ZONAS DONDE PREDOMINAN SUELOS CON
ESPESORES IGUAL O MENORES A UN METRO.

SUELOS
TRANSPORTADOS



TERRAZAS Y VALLES DONDE PREDOMINAN
DEPOSITOS ALUVIALES O COLUVIDO-ALUVIALES.



MANITO COLUVIDAL DE PIE DE MONTE
CUYO ESPESOR VARIA ENTRE 0. Y 15 mts.

0 1000 2000 3000 4000 5000 m

ESCALA 1:50000

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

TESIS DE GRADO

INGENIERIA GEOTECNICA

TEMA DE TESIS

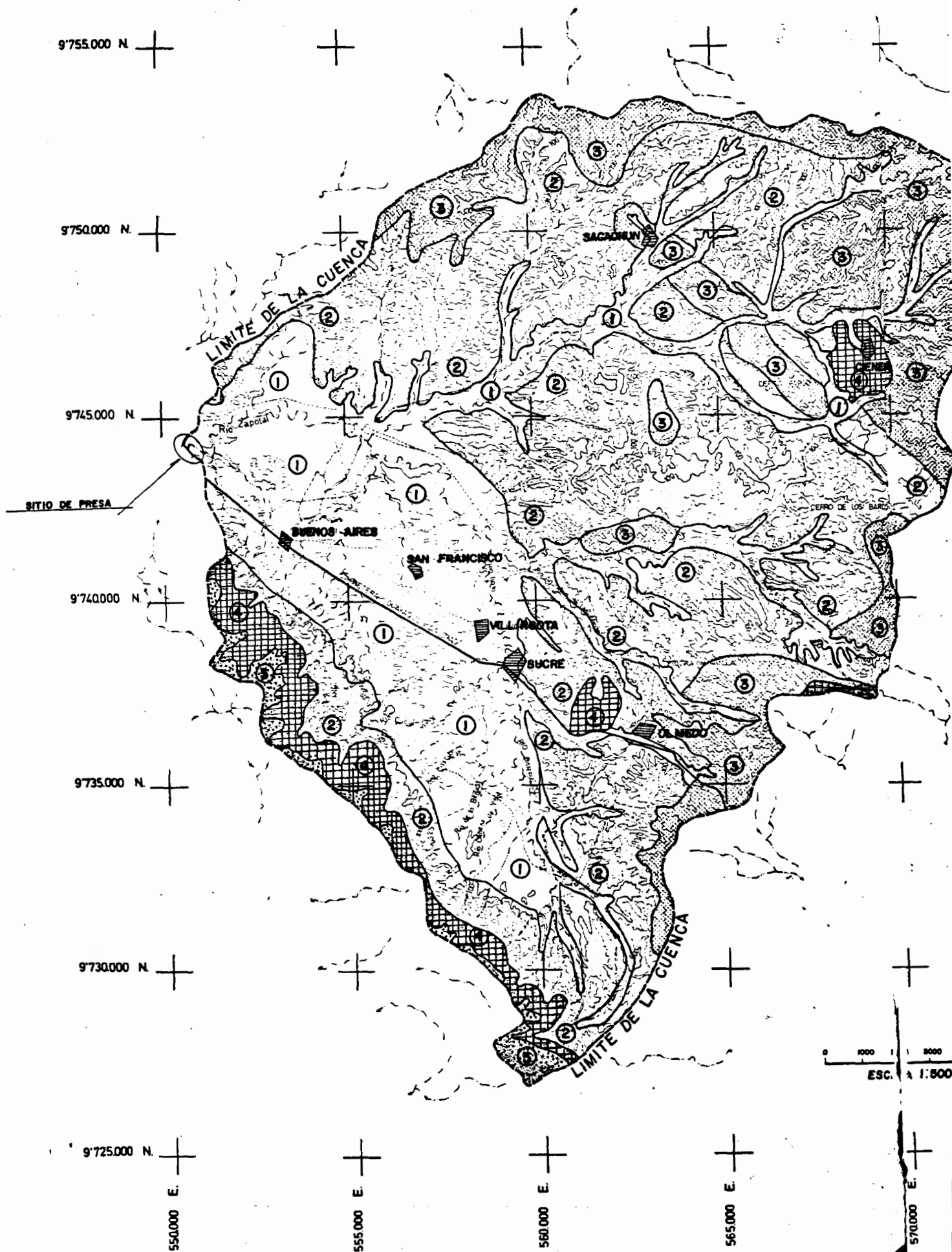
MAPA DE SUELOS

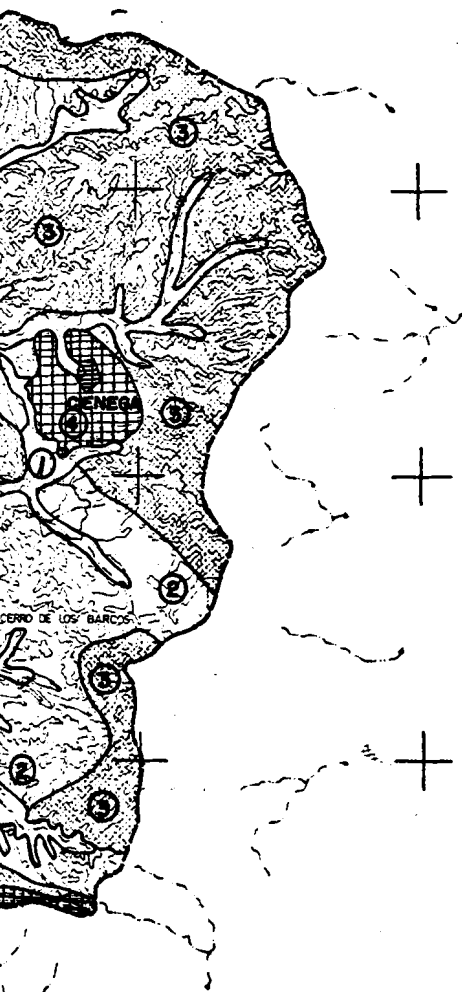
CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA DE DRENAJE DE LA

POR ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

570000

575000



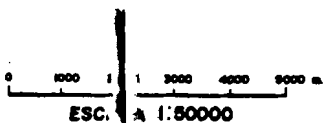


LEYENDA

RANGO DE PENDIENTES

①	0 - 5%
②	5 - 15%
③	15 - 30%
④	30 - 50%
⑤	50 - 70%

CLASIFICACION PROPUESTA POR
NICHOLS Y EDMUNDSON 1976



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

TESIS DE GRADO

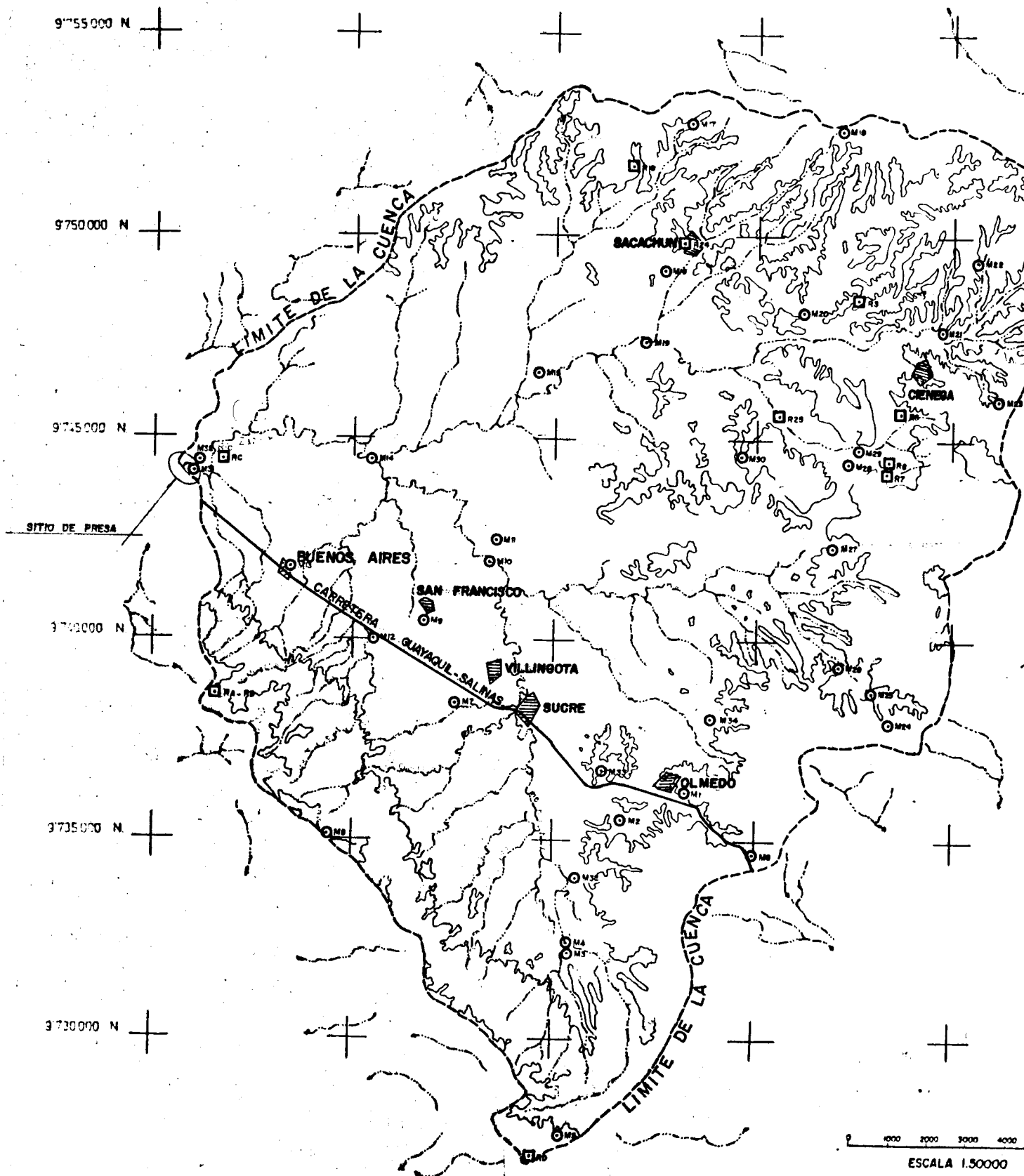
INGENIERIA GEOTECNICA

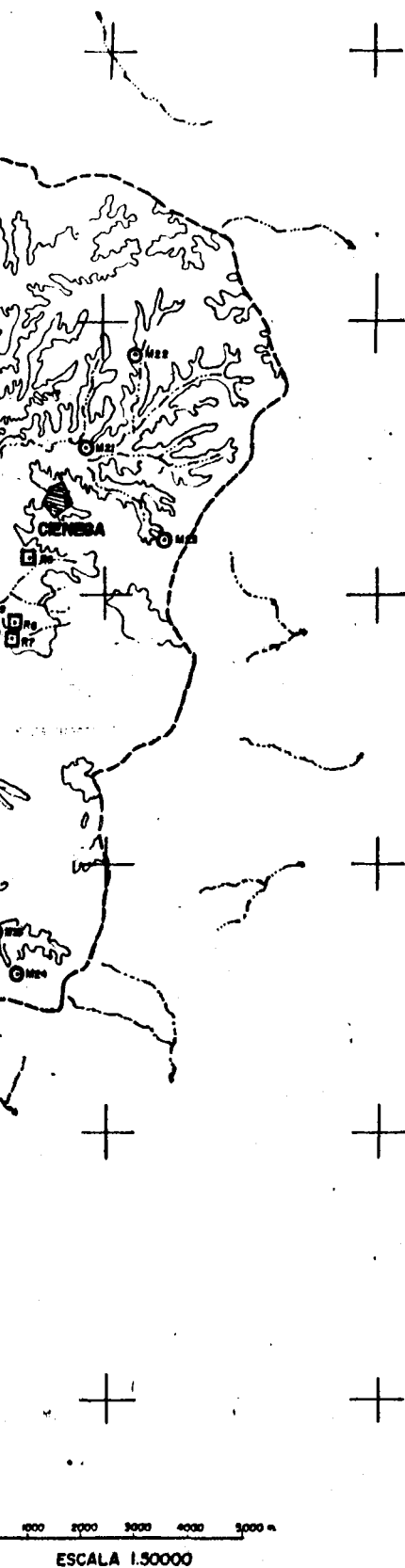
TEMA DE TESIS

PLANO GENERAL DE PENDIENTES
DE LA CUENCA

CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA DE DRENAJE DE LA

POR: ROBERTO ASPIAZU ESTRADA





LEYENDA

- MUESTRA DE SUELO "M_s"
- MUESTRA DE ROCA "R_s"

TEMA DE TESIS

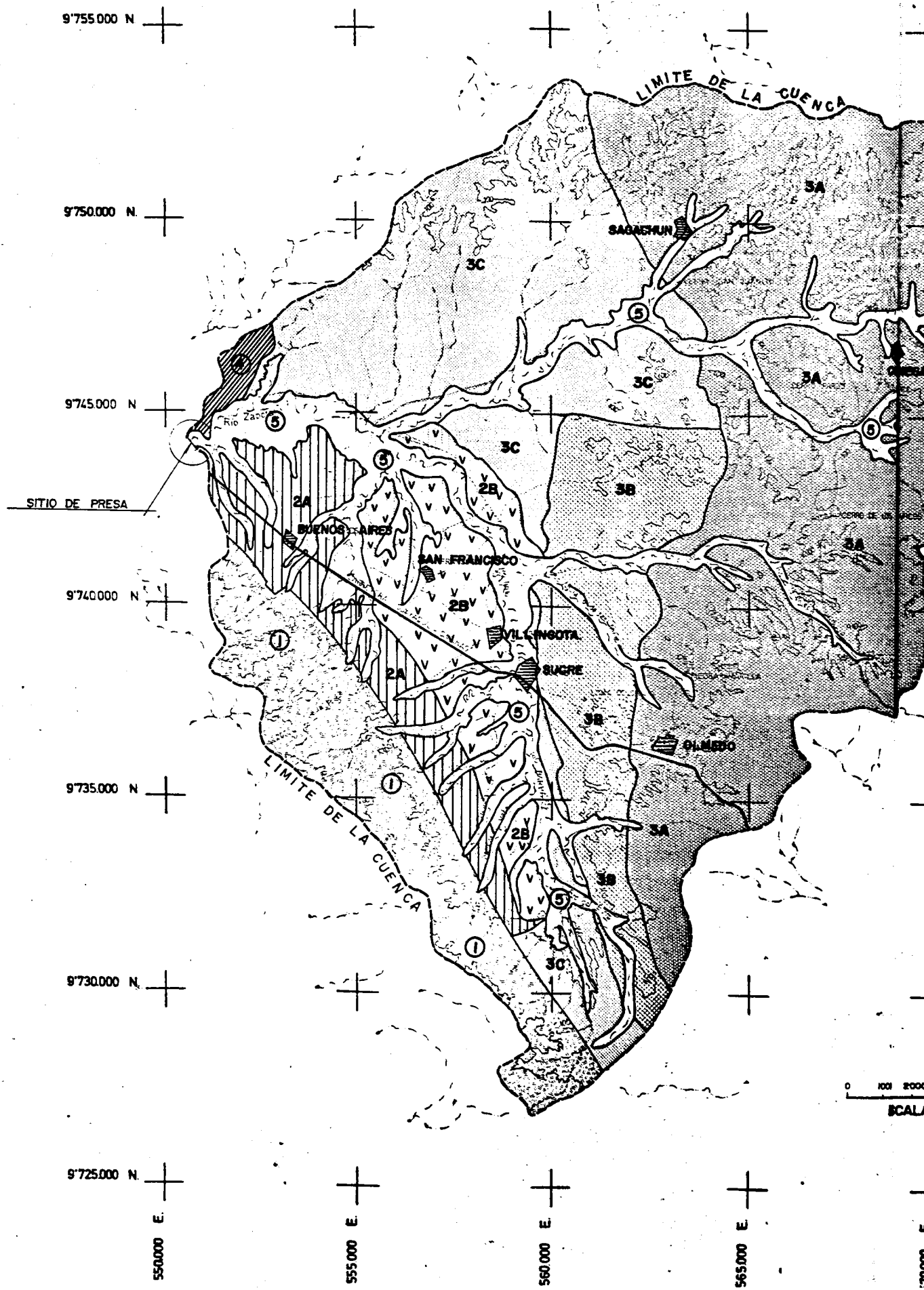
CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA DE DRENAJE DE LA
PRESA DE ZAPOTAL

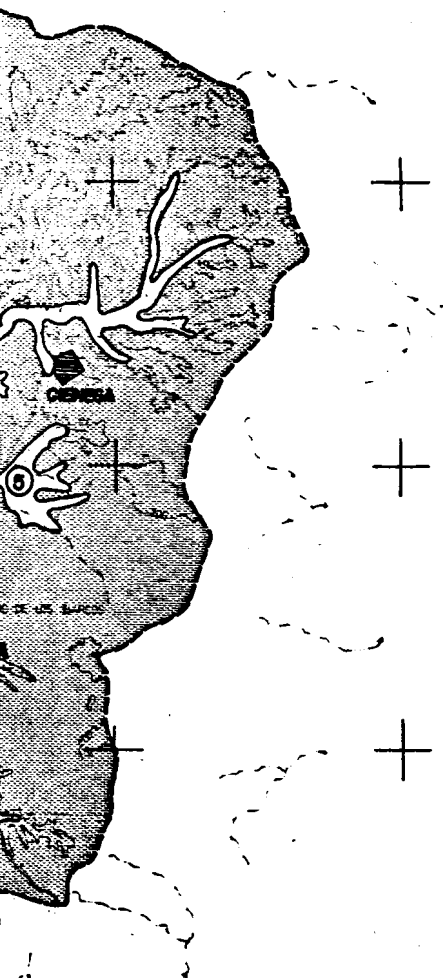
INGENIERIA GEOTECNICA

MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS
DE LA CUENCA

ROBERTO ALFONSO ALVARADO

MAPA -VI-





LEYENDA

ZONAS

- ① — [Symbol: Stippled box] — COMPRENDE SUELOS RESIDUALES Y AFLORAMIENTOS DEL GRUPO AZÚCAR
- ② — (A) [Symbol: Horizontal lines] — COMPRENDE SUELOS CON COBERTURA COLUVIAL RECIENTE O QUE PRESENTA VESTIGIOS DE ESTA
- ② — (B) [Symbol: V-shaped marks] — COMPRENDE COLUVIALES METEORIZADOS Y TERRAZAS RELICTAS
- ③ — (A) [Symbol: Stippled box] — COMPRENDE SUELOS RESIDUALES Y AFLORAMIENTOS DE LA FORMACIÓN PROGRESO
- ③ — (B) [Symbol: Stippled box] — COMPRENDE SUELOS RESIDUALES Y AFLORAMIENTOS DEL MIEMBRO VILLINGOTA
- ③ — (C) [Symbol: Stippled box] — COMPRENDE SUELOS RESIDUALES Y AFLORAMIENTOS DEL MIEMBRO DOS BOCAS
- ④ — [Symbol: Diagonal lines] — COMPRENDE SUELOS RESIDUALES DEL MIEMBRO ZAPOTAL
- ⑤ — [Symbol: Stippled box] — COMPRENDE DEPOSITOS ALUVIALES Y TERRAZAS MODIFICADAS ADYACENTES AL CURSO DE LOS RIOS

1000 2000 3000 4000 5000 m

ESCALA 1:50000

570000 E

575000 E

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

TESIS DE GRADO

INGENIERIA GEOTECNICA

TEMA DE TESIS

ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA

CARTA DE ZONIFICACION GEOTECNICA
DE LA CUENCA DE DRENAJE DE
LA PRESA DE ZAPOTAL.

por ROBERTO ASPIAZU ESTRADA

Revisado: _____ Fecha: _____ Ref. MAPA-VII-