

---

# **PROPIEDADES GEOMECAICAS DE LAS FORMACIONES COMPRENDIDAS ENTRE LOS BARRIOS SAN DIEGO, POBLADO, BUENOS AIRES Y LOS CAUNCES, DE LA CIUDAD DE MEDELLIN**

## **RODRIGO OSORIO M.**

- Ingeniero Civil. Universidad de Medellín, 1976
- Profesor de tiempo completo en la Universidad EAFIT

## **JUAN GUILLERMO HINCAPIE A.**

- Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional, seccional Medellín
- Profesor de cátedra en la Universidad EAFIT
- Ingeniero Geólogo de la Compañía "Jaime E. Hincapié A. y Cía. Ltda"

## INTRODUCCION

Medellín es una ciudad que desde el punto de vista geotécnico es extremadamente compleja, ya que se asienta sobre una gran variedad de suelos, con zonas planas y laderas con pendientes fuertes, en la cual se ha presentado un crecimiento acelerado en los últimos años, con poco control urbanístico en muchos de sus sectores, como en el caso, en gran parte, de la zona investigada.

La zona sobre la cual se desarrolló la investigación comprende una extensión de aproximadamente doce kilómetros cuadrados (12 Km<sup>2</sup>). Esta zona será de un gran desarrollo urbanístico, ya que actualmente es uno de los pocos sitios de la ciudad donde se encuentran terrenos que aun no han sido urbanizados.

En esta investigación logramos conjugar en forma interdisciplinaria la Ingeniería Civil y la Geología, dos ciencias que tienen en la geotecnia uno de sus principales apoyos, ya que ésta tiene un amplio campo para la investigación.

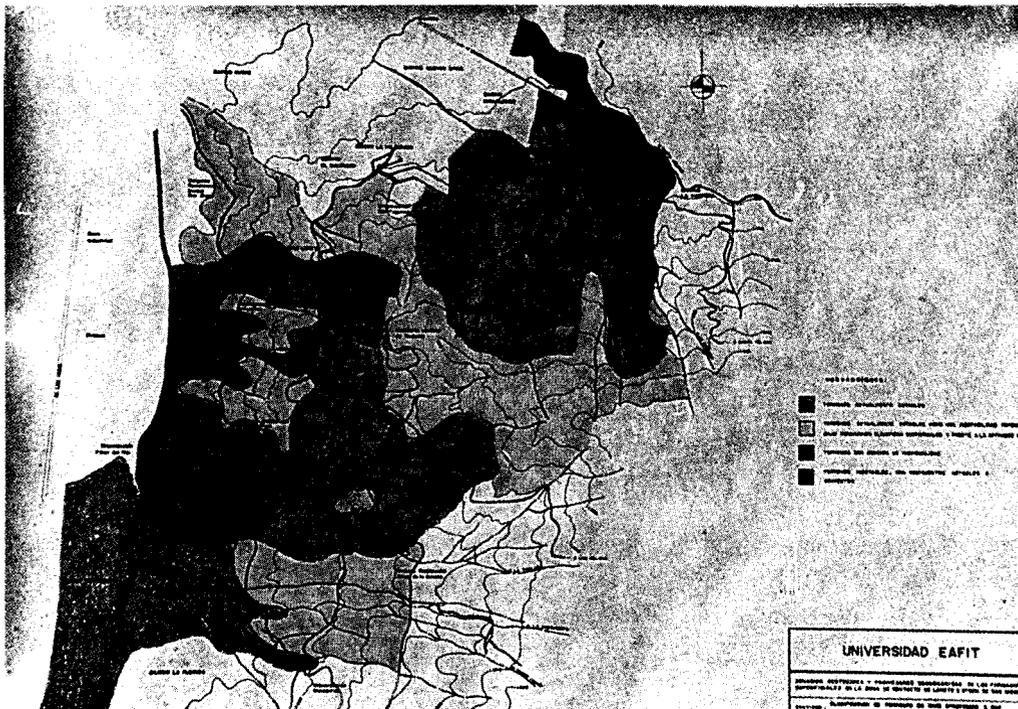
Consideramos que un ingeniero que trabaja aisladamente cualifica; por el contrario, el ingeniero socializado cuantifica los problemas que se plantea. De la adaptación a nuestra condición intelectual de esta proposición Bachelariana; parte nuestra idea de dar pautas a un discurso técnico, que incluya al

estudiantado y a todos los sectores profesionales comprometidos en la elaboración de una ingeniería aplicada, para hacer de ella una herramienta de adecuación a un medio natural como es el de la ciudad de Medellín y su entorno, para conducirla metodológica y científicamente por la obligatoriedad del progreso, a un habitat en realidad humano y racional.

Esperamos haber logrado el objetivo propuesto y damos la bienvenida a los comentarios de nuestros amigos y de las personas que a bien tengan hacerlos.

## 1. GENEALOGIA LITOLOGICA

Las diferentes unidades litológicas presentes en la zona que compromete al trabajo han sido previamente estudiadas, en una primera instancia por el Doctor Gerardo Botero Arango en 1963, a partir de un vasto estudio petrológico y cartográfico, denominado "Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia". Posteriormente en 1984 el doctor Jorge Julián Restrepo, profesor de petrología de la Universidad Nacional público un documento titulado "Unidades Litológicas de los alrededores de Medellín" en la cual modificaba la distribución cronológica, y exponía unos orígenes posiblemente diferentes a los atribuidos por el Doctor Botero A. a determinadas rocas.



Estas variables se introducen en la zona en estudio a manera de discusión, pues la teoría del origen de algunas unidades propuestas por el Doctor Botero, difiere de las más recientemente expuestas que cuentan con un campo a su favor, más amplio para la anunciación, debido a una mayor suma de experimentaciones y observaciones recopiladas por el Doctor Restrepo.

en el estudio de nuestro medio geológico, y posteriormente organizar las ideas en cuanto a las posibilidades de variación en el origen de determinadas unidades (figura #1).

### 1.1 Distribución Cronoestratigráfica

A continuación se desglosan cronológicamente las secuencias definidas por ambos investigadores, a manera de comparación. Para captar en primer lugar la evolución epistemológica,

### 1.2 Unidades litológicas - Discusión Genealógica

#### 1.2.1 Paleozoico

##### Anfibolita:

Roca metamórfica de medio a alto grado de metaformismo, considerada por el Dr. Botero como una ortoanfibolita basal respecto a la secuencia

Tabla 1

Distribución crono-estratigráfica de algunas unidades litológicas de los alrededores de Medellín, a partir de los trabajos del Dr. Gerardo Botero en 1963 y el Dr. Jorge Restrepo en 1984. (Sin escala vertical).

M. de A. (Millones de Años)	G. Botero	J. Restrepo
0.0 cuaternario (holoceno-pleistoceno)	Aluviones y taludes (1)	- Cenizas, sedimentos y depósitos de ladera (1)
2 Cenozoico	- Batolito de Altavista - Formación carbonífera de Antioquia - Formación Combia	- Pórfido de Ancón - Formación Combia - Formación Amagá
65 Mesozoico	- Batolito Antioqueño rocas híbridas o Contactos (1)	- Batolito Antioqueño - Stock San Diego (1)
225 Paleozoico	Serpentinitas (1)	- Stock de Altavista - Dunitas de Medellín (1) - Anfíbolitas de Medellín (1)
570	Ortoanfibolitas (1)	

(1) Formaciones y depósitos incluidos o colindantes con la zona en estudio.

En resumen, o nominalmente, tendríamos las siguientes variables:

- Taludes por depósito de ladera.
- Batolito de Altavista por Stock de Altavista
- Formación carbonífera de Antioquia por Formación Amagá
- Rocas híbridas o contactos por Stock San Diego
- Sepentinitas por Dunitas de Medellín
- Ortoanfibolitas por anfíbolitas de Medellín.

---

metasedimentaria suprayacente. El Dr. Restrepo sugiere el considerarlas afectadas por más de un evento metamórfico y recalca su complejidad.

Su color es oscuro con bandeamiento neísico en algunas localidades. Conformada principalmente por hornblenda y plagioclasa (andesina), puede desarrollar diópsido y granate. Generalmente foliada, condición recalca por la meteorización.

No se incluye en la zona estudiada, pero se le encuentra en el límite Este (E) de la misma, conformando coberturas de alteración.

Su saprolito, en términos generales, corresponde a un limo de color blancuzco de apariencia caolinítica, intensamente moteado de negro, expresión relicta de los minerales máficos, su textura y estructura están claramente preservadas.

Cuando la meteorización avanza hasta el umbral del horizonte IA superficial, arcilloso y plástico, degradado a colores claros en ambiente reductor, la reptación es un proceso generalizado en las vertientes bajo condiciones de saturación.

Rasgos morfológicos en el relieve y evidencias en el sitio a partir de perfiles de meteorización restituidos por medio de sondeos, evidencian el traspaso de unas condiciones de saprolito a suelos saprolíticos endebles; dicha discontinuidad se establece a profundidad considerable, favorece el corrimiento y deslizamiento de suelos, que generan inmensurables movimientos de masa.

### 1.2.2 Mesozoico

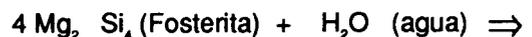
#### Rocas Ultrabásicas-Dunitas Serpentinizadas

Las dunitas son consideradas como rocas ígneas intrusivas de composición ultrabásica, formada casi en su totalidad por Olivino [ (Mg, Fe)  $2\text{SiO}_4$  ] y pequeñas proporciones de minerales metálicos.

Cuando en la roca dunitica ultrabásica por metamorfismo de bajo grado o retrogrado en el cual el olivino, mineral primario, es reemplazado por minerales secundarios tales como antigorita, serpofirita y talco, consideradas del grupo de las serpentinas, a la roca se le denomina serpentina. Pero debe advertirse que las condiciones atmosféricas, establecidas por el afloramiento de la roca, pueden incidir en las condiciones de serpentinización del olivino, y

dicho fenómeno en el cuerpo ultrabásico puede verse incrementado por acción de la meteorización.

Ante esta dualidad de proceso, las serpentinas pueden ser rocas de bajo grado de metamorfismo sucedido sobre rocas ultrabásicas, intrusivas peridotitas o caracterizadas por meteorización de las mismas con serpentinización como dirección de evolución exógena sobre el olivino. El resumen de lo expuesto puede, señalarse con base en la siguiente reacción.



Serpentina

Brucita

El Dr. Botero la clasificó como serpentina, debido al porcentaje considerable de olivino primario reemplazado por minerales secundarios de dicho grupo, lo definió entre el 65 y el 90%. Además, la caracteriza como intrusiva, con base en el estudio de cornuvianas derivadas del metamorfismo de contacto entre pizarras encajantes a la intrusión de las serpentinas y su cristalización, realizado por E. Grosse (1926).

Además en su estudio, por medio de observaciones de campo y sobre secciones delgadas en el contacto con las anfibolitas metamórficas, le adjudica un emplazamiento intrusivo y tectonizado, pues determina efectos cataclásticos, foliaciones, bandeamientos, etc. También en su cartografía señala, en el contacto con la anfibolita, áreas híbridas.

El trabajo del Dr. Restrepo en primer lugar modifica el término serpentina, pues indica que los minerales secundarios del grupo de la serpentina no han invadido o reemplazado lo suficiente el olivino para ser determinantes de su composición. Por el contrario, este mineral se encuentra en cantidades remanentes considerables para clasificar la roca como dunita. Esto señalaría que el trabajo petrológico del Dr. Botero fue sobre muestras con un alto grado de alteración (metamórfica) reforzada por fenómenos de meteorización del olivino a minerales del grupo de la serpentina.

En segundo lugar, el Dr. J. Restrepo cuestiona el modo de emplazamiento intrusivo bajo las condiciones de ascenso de flujo magmático o intrusiones frías, justificado en la ausencia de

---

aureolas de contacto. La describe como un bloque ajeno, base de una secuencia ofiolítica, cabalgante y sobre impuesto a las anfibolitas metamórficas por la dinámica de tectónica de placas. Caracterizado durante el cretácico por cabalgamiento u obducción, es decir, sobre imposición de material oceánico sobre corteza continental que lo arrastra sobre los terrenos metamórficos paleozoicos. Afirma que los esquistos o las rocas de metamorfismo dinámico serían resultado del esfuerzo transmitido por el cuerpo dunitico, sobre el basamento anfibolítico sobre el cual se emplazó.

Se observa que, su disposición corresponde claramente a las estructuras regionales de tendencias aproximadamente N-S y los cuerpos se distribuyen elongados a lo largo de ellas. La roca está altamente fracturada en las vertientes, contactos y usualmente en los afloramientos. Es de las unidades litológicas de mayor aporte por su continua destrucción, a los depósitos de gravedad de las vertientes, a los depósitos torrenciales ya cementados y a las cargas sedimentarias aluviales en tránsito actualmente.

Sobre esta unidad litológica sería provechoso un trabajo de campo sobre los contactos, asociado a un estudio petrológico para determinar la existencia de aureolas de contacto, delimitadas por Emil Grosse (1.926) y el Dr. Botero (1.963). Concluyendo su asociación o exclusión.

En caso de ser un bloque alóctono y cabalgante, debe existir una descompensación isostática, que estaría incidiendo en reacomodamientos verticales y laterales del cuerpo denso ultra básico sobre los subyacentes. De ser así, se debe detallar su incidencia en el desarrollo del Valle, evidenciando los rasgos estructurales y morfológicos que tal situación implicaría por descompensación (Subsidencia y/o removilización).

Se han estudiado asociaciones plutónicas ultramáficas, en ellas; las serpentinas predominan considerablemente sobre pequeñas masas de gabros, diorita y aún en otros cuerpos ígneos donde las aureolas de contacto son mínimas. Sería importante verificar si se presentó un modelo de tal diferenciación en el sector estudiado y a un nivel regional en Antioquia, para insertar en el conjunto teórico expuesto esta tercera alternativa o posibilidad de origen por asociaciones máficas.

### **Rocas híbridas (o de contacto) - Stock San Diego**

Es considerado por el Dr. G. Botero como una roca híbrida proveniente del contacto entre el cuerpo ígneo intrusivo, cretáceo, de composición promedia cuarzo diorítica y denominado Batolito Antioqueño con las rocas metamórficas pre-existentes, clasificadas por el mismo Dr. Botero A. como orto-anfibolitas, paleozoicas. Tal proceso generó una zona sobre la cual observó alternancias de:

- Gabros conformados por plagioclasas (labradoritas) y hornblendas; los evidenció en proximidades de Loreto y los clasificó como gabros hornbléndicos (muestra microscópica 419A). Además ubicó muestras en las cuales las hornblendas estaban tan supremamente desarrolladas que admitían el considerarlas como pegmatitas hornbléndicas; ellas se disponían a semejanza de capas delgadas, ya que su origen estuvo controlado por el enfriamiento del magma a través de fracturas.
- Lo más incidente en su trabajo, para el específico edafológico y geotécnico que busca el presente estudio, es la alusión a rocas dioríticas con micas biotíticas en su composición mineralógica, además de incluir porcentajes de cuarzo. Lo anterior ofrece una dualidad de materiales en el horizonte trazado por la meteorización, desde arcillosos (gabros) hasta limo arenosos (dioritas).

En su investigación el Dr. J. Restrepo conforma otra alternativa para explicar el origen de la unidad litológica y es el emplazamiento en el sitio de una roca ígnea intrusiva, de tipo Stock, pues su extensión es muy reducida, próxima a los 6 kilómetros cuadrados (6 kms<sup>2</sup>), posiblemente incluida en una serie de cuerpos pequeños diseminados de este género y en asocio genético con el Batolito Antioqueño.

Además el Dr. J. Restrepo deja excluida la teoría del Dr. Botero dada la insuficiencia en algunas consideraciones petrológicas, como es la de justificar la presencia de olivino en los gabros, insustentable por la contaminación con anfibolitas ante la asimilación del magma por ellas, como roca encajante intruida; existiría un error de procedencia mineralógica (en este caso el mencionado olivino).

El considerable aporte petrológico del Dr. J. Restrepo puede resumirse, en un giro, por

---

redefinición de la unidad o incorporación de observaciones a la investigación del Dr. Botero A. Las considera intrusivas de composición básica, desde gabros hasta dioritas, además pegmatitas con cristales muy desarrollados de hornblenda. La nueva caracterización mineralógica se renueva de la siguiente manera:

- Los gabros están conformados por olivino, de aquí su clasificación como gabro olivínico, además se acompaña por orto y clinopiroxeno, plagioclasa (sin precisar de que tipo) y hornblenda.
- A las dioritas las tipifica por la andesina cálcica y hornblenda, pero no confirma o excluye lo anotado por el Dr. Botero, cuando éste referencia la presencia de micas biotíticas y porcentajes de cuarzo.

De lo expuesto puede anotarse que ambas teorías de procedencia, Stock San Diego o contacto de Loreto diversifican esta unidad en su petrología y conducen a que sectores caracterizados por contenidos altos de minerales básicos (olivino, hornblenda, plagioclasa, etc.) es decir, gabro y pegmatita, deciden una dirección característica de meteorización, o sea, una secuencia de capa de alteración en el sitio con propiedades geomecánicas determinadas. La ausencia de olivino, la permanencia de plagioclasa y hornblenda, como la presencia de mica y cantidades de cuarzo (por determinar) deciden otro sector diorítico, cuya secuencia meteorizada y geomecánica será diferente. Además las fajas de dislocación esquistosas y micáceas exhiben propiedades más distantes que las anteriores.

### 1.2.3 Cuaternario

#### Depósitos Gravitacionales

Son depósitos originados por masas de suelos y en parte de roca. Su procedencia corresponde a gabros olivínicos, pegmatitas hornbléndicas y dioritas, rocas ígneas básicas y que conforman gran porcentaje del sector estudiado. Además se incluyen dunitas serpentinizadas (rocas metamórficas) emplazadas en el sector superior de la vertiente, y en bajo porcentaje anfíbolitas localizadas al Este (E).

En resumen todo este volumen de material meteorizado (suelo) acompañado del parcialmente meteorizado y fresco (fragmentos de roca), ante

condiciones geomorfológicas y mecánicas que son poco favorables e insuficientes, descienden o son trasladadas a geoformas en el relieve que les garantizan una estabilidad. El movimiento generalmente ocurre bajo condiciones de saturación.

Se encuentran como formaciones de suelos que contienen bloques, que han fluido por la vertiente. Posteriormente a su desplazamiento pueden aumentar su densidad por endurecimiento y desecación, alcanzando una cierta estabilidad. Al contrario de proseguirse la saturación asociada a la inclinación del terreno se continua un reacomodo por reptación. Si la presión de poros se incrementa notablemente se llega de nuevo a la ruptura y deslizamiento.

Si más del 50% del conformante del depósito es suelo se le considera un flujo de lodo. Por el contrario si el conformante esta dado por más de un 50% de roca se le denomina flujo de escombros.

En el sector se encuentran rellenando depresiones en el relieve o ubicados al pie de la vertiente, su origen puede explicarse por los siguientes procesos:

- Descensos gravitacionales de material conformado por suelo y roca, aprovechando las estructuras geológicas: fallas, fracturas y diaclasas.
- Condiciones climáticas: ocurrencia de lluvias intensas que aprovechan las texturas mineralógicas degradadas y al saturar el suelo formado se incrementa la presión de poros. Además en las estructuras atrapan aguas que sobrepasan el esfuerzo residual de ruptura hasta el deslizamiento del bloque o masa saprolítica.
- Eventos sísmicos evidenciados regionalmente que transmiten o dispersan ondas cizallantes en rocas previamente falladas (dunitas serpentinizadas), o suelos muy desarrollados, endebles, con estructuras relictas y baja resistencia al corte (suelos saprolíticos de gabro olivínico).

Corresponden en general a depósitos de suelos mixtos desde limos arenosos ferralíticos hasta arcillas grises con residuos arenosos que involucran abundantes bloques rocosos (mayores de 1 m) provenientes de las conformaciones ya mencionadas. En la zona en estudio presentan tendencia a deformaciones plásticas en superficie de tipo creep o reptación (ver zonación).

---

## Depósitos torrenciales

Se definen por la acumulación en las vertientes estudiadas de material grueso mal gradado acarreado por los torrentes o quebradas que las disectan, procedente de dunitas serpentinizadas, gabros y anfibolitas. Procesos de sobrecargas, deshidratación y diagenéticos, introdujeron cementación en los depósitos conduciéndolos a una roca sedimentaria denominada conglomerado serpentinitico.

## 2. GEOFORMAS GRAVITACIONALES-LA INCIDENCIA DEL CREEP O REPTACION COMO FENOMENO GENERALIZADO EN LAS VERTIENTES INVESTIGADAS

El creep o reptación es una deformación del suelo en superficie, particularizada por un movimiento lento y gradual del mismo en los primeros metros, en dirección de la pendiente, usualmente en el horizonte IA.

La velocidad del movimiento es mayor en superficie y decrece en profundidad, asimilable a un descenso progresivo de la humedad y un incremento en la consistencia. Por lo tanto, en superficie la humedad está por encima del límite plástico y próxima al límite líquido. En profundidad, al contrario, la humedad está muy por debajo del límite líquido y cercana al límite plástico o inferior a él.

Existen dos variables en el perfil o estratigrafía que determinan el posible desarrollo o evolución del movimiento, tomando como modelo teórico el perfil de meteorización del gabro presente en la zona investigada.

El primero se daría si la evolución del suelo presenta perfiles de meteorización avanzados con horizontes IA de espesor considerable, la relativa homogeneidad de la arcilla da velocidades altas en superficie y atenuación progresiva en profundidad y la reptación cumple su cometido normal. Una sobre saturación introduce una ruptura en superficie con flujo súbito de lodo. Ver figura 3.

Si la evolución se caracteriza por perfiles más bien jóvenes o estratigrafías cuyas propiedades geomecánicas presentan rupturas repentinas en profundidad, se pasa de un proceso de reptación activa a unas condiciones de rigidez, la sobresaturación introduce una ruptura en

profundidad y el movimiento se convierte en deslizamientos con falla geoméricamente delimitado. Ver figura 2.

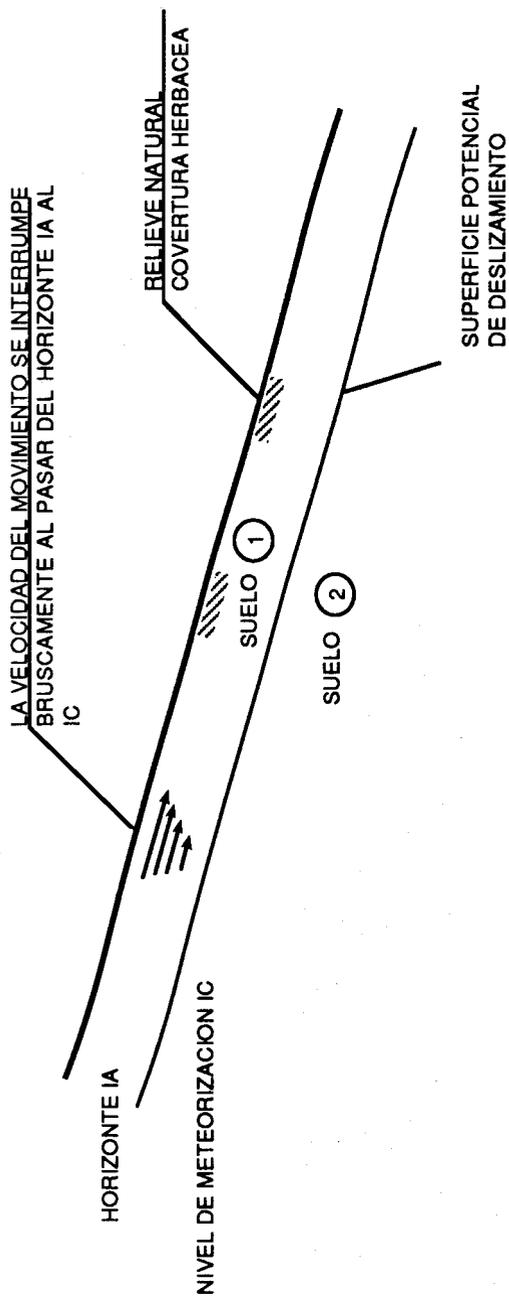
Se define este término reptación como un fenómeno de movimiento superficial, por dos razones irrefutables.

En primera instancia por un conocimiento ingenieril ya alcanzado y experimentado como lo trabajaron y/o continúan aplicando Terzaghi y Peck, Zevaeert y Sowers y Sowers. Por tal motivo se prosigue de esta manera con teorías ya constituidas científicamente.

En segundo lugar, nuestras laderas presentan coberturas superficiales altamente meteorizadas y saturadas que se desplazan más rápidamente en superficie que en profundidad. Por tal situación, las fundaciones y cimentaciones superficiales constituyen una encrucijada para constructores y un desafío para ingenieros, que con ánimo investigativo asumen el modelo natural en sus labores geotécnicas. Ante dicho problema técnico se concluye, entonces, que para el conocimiento del transcurso y devenir de nuestras vertientes es inamovible, por ahora, el término reptación como movimiento superficial que plantea problemas serios a cimentaciones también superficiales.

Se considera como un factor determinante de la reptación la presencia en nuestras vertientes de arcillas de tonalidades grises y/o azulosas, hidromorfos, de ambiente reductor. Su alta saturación en laderas, implica no sólo un descenso en la cohesión, sino también una lixiviación avanzada y casi total del hierro en estado férrico. Podría concluirse en primera instancia que la formación de suelos arcillosos y plásticos derivados del gabro se relacionan de manera directa con el fenómeno lixiviente.

Podemos afirmar que la meteorización es un ámbito geomorfológico determinante en climas tropicales húmedos y que en las formas adoptadas por los derivados de las rocas en relieves inclinados y con perfiles residuales normales, el creep es la primera manifestación latente de evolución dinámica. Es un problema asumible con elementos de mecánica de suelos ya que su movimiento presenta unas leyes intrínsecas de desplazamiento ya no texturales y estructurales pero si de acuerdo con el material procedente, meteorizado. Siendo el creep elemento generalizado de los horizontes residuales,



**SUELO 1**  
CORRESPONDIENTE AL HORIZONTE IA. SUELOS RESIDUALES GABROIDES ALTAMENTE LIXIVIADOS, AMBIENTE REDUCTOR. ARCILLA LIMOSA, GRIS AZULOSA. AUSENCIA DE TEXTURAS Y ESTRUCTURAS RELICTAS PARENTALES, CONDICIONES HIDRICAS DE SATURACION; COHESIVOS, DE CONSISTENCIA BLANDA.

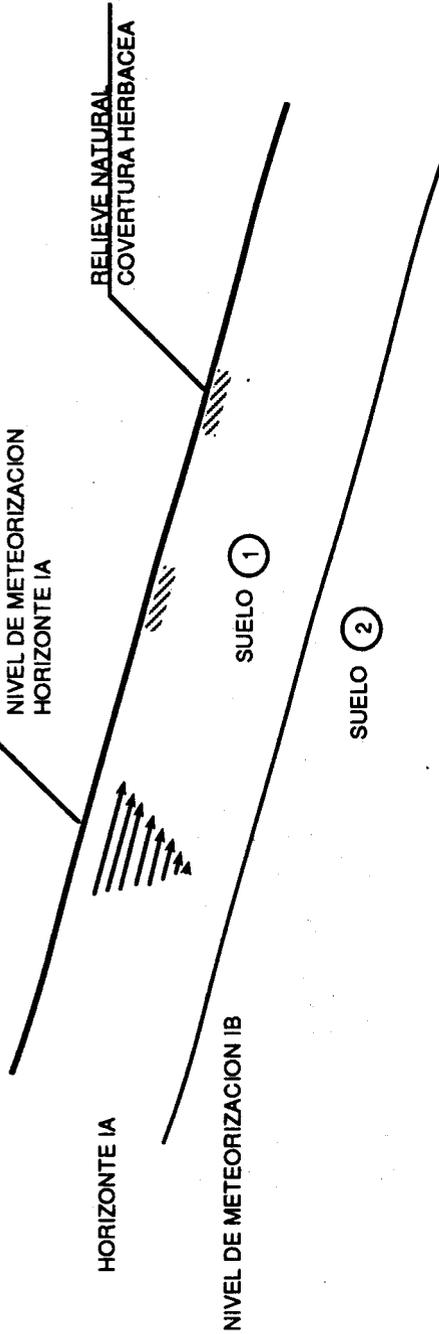
**SUELO 2**  
CORRESPONDIENTE AL NIVEL DE METEORIZACION IC. SAPROLITO GABROIDE (HORNBLENDAS Y FELDESPATOS METEORIZADOS), AMBIENTE PREDOMINANTE REDUCTOR. LIMO ARENOSO, COLOR BLANCO INTENSAMENTE MOTEADO DE NEGRO. TEXTURAS Y ESTRUCTURAS RELICTAS PARENTALES CLARAMENTE PRESERVADAS, CONDICIONES HIDRICAS DE NO SATURACION. COMPACIDAD DENSA. NO COHESIVO, DELEZNABLE Y ALTAMENTE ERODABLES.

SUELOS RELATIVAMENTE JOVENES, LOS HORIZONTES ESTAN DEBILMENTE DESARROLLADOS, O NO EXISTEN COMO EN ESTE CASO EL IB. MODELO DE REPTACION SOBRE PERFIL DE METEORIZACION JOVEN DE GABRO FAVORABLE A LA EVOLUCION DE MOVIMIENTO PROFUNDO Y SUBITO DE MASA - DESLIZAMIENTO

ESCALA: 1:200

FIGURA : 02

VELOCIDAD DE MOVIMIENTO ACELERADO EN SUPERFICIE. ATENUADO EN EL MISMO CON LA PROFUNDIDAD  
 NIVEL DE METEORIZACION HORIZONTE IA



**SUELO 1** CORRESPONDIENTE AL HORIZONTE IA. SUELOS RESIDUALES GABROIDES ALTAMENTE LIXIVIADOS. AMBIENTE REDUCTOR. ARCILLA LIMOSA, GRIS AZULOSA. AUSENCIA DE TEXTURAS Y ESTRUCTURAS RELICTAS PARENTALES, CONDICIONES HIDRICAS DE SATURACION. CONSISTENCIA BLANDA O FIRME EN PROFUNDIDAD.

**SUELO 2** CORRESPONDIENTE AL HORIZONTE IB. SUELOS RESIDUALES GABROIDES, PROCESOS FERRALITICOS ILUVIALES. AMBIENTE PREDOMINANTE OXIDANTE. LIMO ARCILLOSO, AMARILLO LEVEMENTE MOTEADO DE GRIS. AUSENCIA DE TEXTURAS Y ESTRUCTURAS RELICTAS PARENTALES. CONDICIONES HIDRICAS DE NO SATURACION. CONSISTENCIA FIRME.

SUELOS MADUROS Y EVOLUCIONADOS.  
 MODELO DE REPTACION SOBRE PERFIL DE METEORIZACION DE GABRO FAVORABLE A LA EVOLUCION DE MOVIMIENTO SUBITO FLUJO SUPERFICIAL, ANTECEDIDO DE REPTACION, ESTA PUEDE SER O ES ACELERADA POR ACCION DE LAS ESTRUCTURAS CLIMATICAS QUE A SU VEZ INTRODUCEN LAS DEFORMACIONES DE TIPO GRAVITACIONAL.

ESCALA: 1:100

FIGURA : 03

cada acontecimiento en diferentes unidades geo-edafológicas debe particularizarse como fenómeno.

### 3. MODELO DE PERFIL COMPARATIVO ALCANZADO

La importancia del trabajo de Deere y Patton "Estabilidad de taludes en suelos residuales - Cuarto Congreso Panamericano 1971", está expresado, como su nombre lo señala en el proceso de meteorización, de tan amplio efecto en el trópico. Y en la introducción en el mismo de estructuras (diaclasas, fracturas, etc.), o rasgos tectónicos (aun fallas). En síntesis es alcanzada la posibilidad de vincular los fenómenos geológicos endógenos y los

procesos exógenos (climas) con la mecánica de suelos.

A partir de la tipificación del perfil de meteorización y sobreimponiendo nuestras observaciones, sumadas a las experiencias alcanzadas en el medio, elaboramos el siguiente modelo comparativo. (Tabla 2).

A continuación de estos horizontes se introduce el término saprolito, debido a que en el trabajo en revisión, este nivel de meteorización divide:

- Unos depósitos tipificados como suelos a la luz de la mecánica de suelos relativamente homogéneos en cuanto a granulometría, consistentes y en

Tabla 2

DEERE Y PATTON		APLICACION DEL MISMO
		(En esta y otras investigaciones) (1) En este caso el gabro, pues su perfil de meteorización es el más desarrollado.
Horizonta IA	Eluviación	Lixiviación
	Arenosa	Arcilloso - claro, comúnmente hidromorfo.
	No hay estructuras Relictas	No hay estructuras relictas, pero sí las hay adquiridas- fracturamiento climático y deformación por reptación, umbral del creep.  Sobre este horizonte se han dispuesto varias estructuras civiles bajas, cuando se manifiesta en geomorfologías planas y cerradas, pero cuando se presenta en gradientes se le considera reptante.
Horizonte IB	Iluviación arcillosa	Precipitación. limo arcilloso, MH de acuerdo con la clasificación unifi- cada, comúnmente laterítico.
	Costas irreversibles	Costras ferruginosas reversibles, como se ha compro- bado.
	No hay estructuras	No hay estructuras relictas pero se presenta alto frac- turamiento climático, estructuras por acomodamiento gravitatorio. Las erosiones internas por tubificación son usuales en los suelos altamente ferralíticos. Sobre él se han "apoyado" infinidad de estructuras en Medellín.
(1) adelantadas con el Ingeniero Jaime Hincapié A.		

---

ausencia de discontinuidades heredadas del material parental y muy alta degradación mineralógica.

- De otros materiales rocosos que les dieron origen, de alta coherencia, mineralógicamente preservado como agregado no separable por medios mecánicos, pero cuyos fragmentos se desunen por diaclasas, fracturas y fallas. Su comprensión geotécnica es ámbito de la mecánica de rocas.

En conclusión el saprolito es la gradación entre el suelo maduro y evolucionado en equilibrio biogeográfico, con la roca dura y usualmente fracturada que lo generó. Por tal motivo es mecánicamente un suelo con apariencia de roca, con la textura mineralógica preservada y las estructuras claramente heredadas. La importancia de lo anterior es en resumen el comportamiento. alterno suelo- roca.

En nuestro medio, hemos evidenciado de tal forma la presencia de un nivel textural y estructural, que preserva la disposición mineralógica de la roca parental y los rasgos principales de esfuerzo - deformación de la misma, pero que el grado de saturación y las propiedades geomecánicas desfavorables lo hacen el espesor más inconsistente en el conjunto del perfil de meteorización, por tanto lo denominamos **suelo saprolítico**.

Este suelo es altamente degradado, lo que nos permite concluir la necesidad de introducirlo como un nuevo sub-nivel de meteorización. Observaciones directas de campo, sondeos y amplios ensayos geomecánicos sobre unidades litológicas diferentes, como son:

Anfibolitas metamórficas del Poblado,  
Dunitas serpentinizadas de Santa Elena,  
Dioritas-Andesitas del Stock Altavista,  
Gabros-Dioritas del Stock San Diego,  
Cuarzo-Dioritas del Aeropuerto Rionegro,

Nos ha indicado que entre el horizonte IB y el IC, saprolito propiamente dicho, se observa un espesor altamente meteorizado, conductor de aguas subterráneas, de alto gradiente hidráulico y cuya cohesión es casi inexistente, siendo suelos limo arcillosos con baja cantidad de arenas residuales.

En términos generales y ubicado en el perfil de meteorización, conservando la textura de la roca y

sus herencias aún advertibles, es el suelo más endeble en el conjunto de niveles y sub-niveles.

En él se sitúan movimientos transversales de masa en respuesta a las fuerzas gravitacionales que se ejercen en las vertientes. Ante desconfinamientos, hemos observado movimientos súbitos. A este nivel se le asigna la subdivisión de suelos saprolítico y/o espesor geomecánico de meteorización y deslizamientos por disminución significativa de la cohesión ante condiciones existentes de aguas subterráneas.

A continuación se sitúa el saprolito (IC<sub>2</sub>) propiamente dicho, limo arenoso a areno limoso en profundidad, de tonalidades claras y moteamientos negros, material denso a muy denso en la misma dirección, bajo controles estructurales de la roca gabroide. De un ángulo de fricción muy por encima de lo expuesto de la zona endeble clasificada de suelo saprolítico gabroide (IC<sub>1</sub>).

Cabe anotar, como se insinuó en el capítulo de unidades geo-edafológicas, la restricción de afloramientos de roca, sólo como diorita en San Diego. Además que las formaciones residuales sondeadas han atravesado los niveles IA y IB, atravesado el nivel saprolítico (IC<sub>1</sub>) y alcanzado el saprolito (IC<sub>2</sub>), pero no han culminado el perfil. Es decir, faltan los niveles IIA y IIB de roca meteorizada, por último el nivel III de roca fresca.

Como puede concluirse los principales movimientos en la vertiente se introducen como reptación por deformación plástica en el horizonte IA como se estudiará a continuación. Además hay movimientos profundos, tipo deslizamiento, distribuidos en un alto porcentaje en el nivel de suelo saprolítico (IC<sub>1</sub>); sin embargo, pueden penetrar al saprolito propiamente dicho.

## 4. PROPIEDADES GEOMECANICAS DE LAS DIFERENTES FORMACIONES

### 4.1 Suelos de dioritas

En esta zona se obtuvieron siete muestras, a las cuales se les realizaron diversos ensayos de laboratorio, cuyos resultados, comparados y analizados, son los siguientes:

#### 4.1.1 Límites de consistencia y granulometría

El límite líquido oscila entre NP y 66% y el índice de plasticidad entre NP y 51%. Los resultados

---

de estos ensayos aparecen en la figura adjunta o carta de plasticidad de Casagrande, donde se aprecia que todos los resultados están por debajo de la línea A.

La fracción, arcilla (porcentaje menor de dos micrones o 0.002 mm), oscila entre 2% y 30%. Su actividad, definida por Skempton como:

$$\Delta c = \frac{IP}{\% < 2 \mu}$$

da valores de 0.26 y 0.43, en sólo dos muestras que la presentan. Esto indica que son arcillas de baja actividad.

Los índices de fluidez encontrados tienen un rango de valores que se encuentran entre -0.26 y -0.10, lo que indica que desde este punto de vista, son suelos de "buena estabilidad".

Se observa además que, de acuerdo con su clasificación, varias muestras ensayadas corresponden a suelos arenosos con algún porcentaje de finos, lo que puede indicar en parte que sean suelos relativamente estables, en condiciones adecuadas de drenaje.

En cuanto a la permeabilidad, que es función de la granulometría, se pudo determinar sólo en forma aproximada, observando una variación entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm/seg, lo que hace que estos suelos sean relativamente permeables (entre regular y pobre).

#### 4.1.2 Gravedad específica

Este parámetro, tuvo una variación entre 2,49 y 2,70, siendo su valor promedio de 2.556, lo que muestra un valor relativamente bajo.

#### 4.1.3 Resistencia al corte

Se realizaron varios ensayos de compresión triaxial tipo U.U y de compresión inconfínada; con estos ensayos se determinó un ángulo de fricción interna, para cinco de las muestras, variable entre  $26,1^\circ$  y  $36,6^\circ$ , con un promedio de  $32,2^\circ$ . Para dos muestras restantes el ángulo de fricción fue de  $6,5^\circ$  y  $10^\circ$ . Como se observa, se presenta una variación apreciable, debido fundamentalmente al grado de meteorización alcanzado en los diferentes sitios de muestreo. La cohesión tuvo un rango de variación entre  $0,25$  y  $1,8$  kg/cm<sup>2</sup>, siendo su promedio de

$0,79$  kg/cm<sup>2</sup>. Sólo un valor, el correspondiente al ángulo de fricción más bajo, tuvo una cohesión de  $3,0$  kg/cm<sup>2</sup>.

Los valores obtenidos en los ensayos se pueden considerar razonables, de acuerdo con los resultados obtenidos para las demás propiedades mecánicas. En general se puede afirmar que las dioritas que se presentan en la zona, tienen una resistencia media a la cizalladura, la cual hace que éstos sean relativamente estables desde el punto de vista de cortes; en cuanto a la capacidad de soporte y dado que sólo se realizaron ensayos sobre los suelos prácticamente en superficie, son aptos para soportar estructuras del orden de tres (3) a cinco (5) pisos, con cimentaciones superficiales y deformaciones relativamente bajas.

Este material, cuando se encuentra como un suelo saprolito, ha sido empleado como material de préstamo para la realización de llenos de todo tipo, dadas sus buenas características de granulometría, resistencia al corte y permeabilidad.

Es importante anotar que sobre estos suelos y en profundidad, se han realizado cimentaciones con una sollicitación de esfuerzos relativamente grande.

Sin embargo, nuestro trabajo no tuvo como meta la realización de perforaciones en profundidad. Este objetivo debe ser primordial para una segunda etapa de la investigación, no sólo en este depósito, sino en los demás estudiados, ya que las propiedades geomecánicas varían sustancialmente con la profundidad y no debemos perder de vista que estamos en la zona de suelos tropicales, donde los perfiles de meteorización muestran una gran variedad de propiedades con la misma naturaleza del suelo.

#### 4.2 Suelos de gabros

Como primer objetivo de la investigación se tuvo el de realizar un estudio de suelos derivados del gabro en las zonas circundantes al Hotel Intercontinental, objetivo que posteriormente fue ampliado a otros suelos, debido a la importancia que ello representa para el desarrollo de la zona.

Sobre estos suelos saprolíticos se realizó un muestreo en nueve puntos diferentes, con extracción de muestras alteradas e inalteradas y que fueron sometidos a diferentes ensayos.

---

#### 4.2.1 Límites de consistencia y granulometría

Sólo en uno de los sitios de exploración estudiados se encontró que el suelo no presentaba características de consistencia y plasticidad. En todos los demás puntos se pudo analizar esta propiedad, encontrándose que el límite líquido oscila entre 37.2% y 54.8% y el índice de plasticidad entre 6.3% y 18.1%. Estos resultados se encuentran graficados en la carta de plasticidad adjunta, donde se puede apreciar que todos los valores se encuentran por debajo de la línea A y que corresponden a limos arcillosos o limos arenosos.

La fracción arcillosa se encuentra comprendida entre 5% y 29%. La actividad de estos suelos es, en general, de baja a nula por lo cual no se debe tener en cuenta en ningún proyecto. Los índices de fluidez que se presentan en estos suelos van, entre - 0.9 y 1.6, lo cual indica, y realmente fue comprobado en el sitio, que hay zonas de alta inestabilidad que deben ser manejadas con extremo cuidado, ya que son altamente susceptibles al deslizamiento y a la reptación. Este último fenómeno fue observado en gran parte en la zona en estudio y es uno de los puntos fundamentales que se deben tener en cuenta en cualquier proyecto que se realice y donde esté presente, ya que cualquier corte, por pequeño que éste sea, conlleva un riesgo alto de movimiento de una gran masa de suelos.

En cuanto a la permeabilidad de los suelos que estos depósitos presentan y cuya determinación se hizo por las fórmulas de Hanzen, se encontró que varía entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm/seg, lo cual implica que estos suelos tienen una permeabilidad entre regular y pobre. Dada sus características, en la mayoría de los casos de suelo saprolítico, con la permeabilidad antes anotada y dado que las propiedades de consistencia y plasticidad, son responsables primordialmente del compartimiento de este tipo de suelos, cualquier variación en su humedad hace que tenga una alta susceptibilidad al movimiento, por lo cual se debe tener especial cuidado en el manejo y control de las aguas que pueden escurrir o correr sobre estos depósitos.

#### 4.2.2 Gravedad específica

La gravedad específica, determinada para todos los depósitos de gabro, tuvo una variación, relativamente baja, entre 2.60 y 2.86 con un promedio de 2.7 normal para este tipo de suelos.

#### 4.2.3 Resistencia al corte

Como en los demás depósitos, sobre éste se determinaron ensayos triaxiales tipo U.U. y compresiones confinadas; el ángulo de fricción interno tuvo un rango de variación relativamente amplio, ya que se encontraron valores entre  $7.8^\circ$  y  $32^\circ$ ; de más de  $30^\circ$  se encontraron dos valores; entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$ , igualmente se encontraron dos suelos; de menos de  $20^\circ$ , que fue el valor que más se encontró, lo cual era de esperarse por las características del depósito, se tienen 5 valores.

El valor de la cohesión tuvo un rango de variación relativamente bajo, ya que para ocho de las nueve muestras varió entre 0.25 y 1.1 kg/cm<sup>2</sup>. Sólo en una muestra su valor llegó a 3.0 kg/cm<sup>2</sup>, valor éste que correspondió a un limo arcilloso de consistencia dura, con un ángulo de fricción de  $22^\circ$ .

De estos depósitos se puede afirmar, de acuerdo con su resistencia al corte, que son bastante complicados de manejar, ya que como se puede observar, tienen unas propiedades con un rango de variación relativamente grande, lo cual hace que se requiera un estudio muy cuidadoso de cada punto donde se quiera realizar un proyecto, pues sus características, tales como la capacidad de soporte, pueden variar sustancialmente entre punto y punto en una misma zona. Por ello, para cada proyecto específico, ya sea de edificio, casa, muro de contención, vía, etc., se requiere un estudio del suelo y un estudio de estabilidad de taludes.

En la época en que se realizó la presente investigación, se estaban adelantando diferentes proyectos en estos suelos de gabro y se pudo observar, que en algunos puntos, se presentaban problemas, especialmente deslizamientos y movimientos superficiales.

Igualmente sobre la zona de los suelos de gabro, se han venido presentando, periódicamente, movimientos que ha comprometido la seguridad social, puesto que, se encuentran localizadas en zonas de intenso tránsito vehicular, como es la carretera Las Palmas, donde actualmente se presentan unas fallas de gran magnitud.

#### 4.3 Suelos gravitacionales

Como era de esperarse, los suelos gravitacionales tienen un comportamiento bastante errático y

---

complejo, no sólo desde el punto de vista de estudio, sino también en cuanto a su manejo constructivo.

Gran parte de la zona está cubierta por este tipo de depósito, constituido por bloques y matrices arcillosas de gabros olivínicos, dioritas, dunitas serpentinizadas, etc., en muchos sitios contaminados con materia orgánica (zonas 1 y 3). Esto hace que sus propiedades sean bastante erráticas y su comportamiento en algunos casos sea imprevisible, por lo cual se requiere de una buena experiencia para acometer estudios en las zonas donde puedan presentarse estos depósitos. Sobre estos depósitos gravitacionales se adelantan actualmente varios proyectos de urbanizaciones en uno (1) y dos (2) pisos y de edificios en altura, además de una gran red vial. Estos proyectos deben ser manejados, desde el punto de vista geotécnico, con un gran cuidado, pues la experiencia nos ha demostrado que en estos depósitos gravitacionales se presentan fallas en superficie y a diferentes profundidades.

#### **4.3.1 Límites de consistencia y granulometría**

Dependiendo del grado de madurez del depósito, deben estudiarse los estados de consistencia y plasticidad del suelo, ya que en algunos casos se encuentran depósitos con una gran cantidad de finos y en otras con muy poca cantidad de ellos. En el caso de la presente investigación, los depósitos correspondían a suelos cuyos porcentajes de finos pasante por el tamiz 200, fue de mínimo 40.1%.

El límite líquido tuvo una variación entre 29.6% y 70.0%. El índice plástico, en la mayoría de los casos, tuvo valores relativamente bajos y su variación estuvo entre 8.5% y 26.3%. Es de anotar, que sólo en el caso de los suelos gravitacionales, de acuerdo con la clasificación unificada, se encontraron suelos de tipo CL (arcillas de baja plasticidad). En la mayoría de los casos se encuentran limos arcillosos o arcillas, en algunos casos con porcentajes medios a altos de materia orgánica.

Al igual que en la zona de los gabros, en los depósitos gravitacionales se encontraron índices de fluidez que indican zona de alta inestabilidad; debido a que en los suelos gravitacionales hay presencia de materia orgánica, y suelos arcillosos de plasticidad alta, se debe tener un extremo cuidado en el manejo de estos depósitos, tanto desde el punto de vista de exploración como en los cortes y cimentaciones de cualquier tipo de estructuras, ya que en muchos

casos, se presentan movimientos del tipo reptación o deslizamientos que pueden involucrar grandes masas de suelos.

Es importante anotar, que la exploración que se debe adelantar sobre estos depósitos en lo posible se debe hacer en forma continua, como se ha propuesto en varias conferencias, ya que ello nos puede indicar zonas de reblandecimiento por donde pueden presentarse flujos de material blando o simplemente zonas que presenten asentamientos altos. En general la exploración se debe adelantar hasta encontrar una zona, en algunos casos cementada o de conglomerados de alta densidad, casos en los cuales se tenga una relación esfuerzo-deformación adecuada; esto para el caso de estructuras en altura. Para el caso de estructuras livianas se han realizado cimentaciones superficiales, como es el caso de placas y losas corridas, además de zapatas individuales. En estas cimentaciones superficiales debe tenerse especial cuidado en cuanto a los asentamientos diferenciales por presencia local de material orgánico o estratos arcillosos de plasticidad alta.

En cuanto a su permeabilidad y granulometría puede decirse que en general son materiales fino granulares cuya permeabilidad varía entre  $10^{-4}$  y  $10^{-8}$  cm/seg, con una tendencia a la "impermeabilidad". La humedad promedio de las muestras tomadas fue de 38.3%

#### **4.3.2 Gravedad específica**

La gravedad específica de la mayoría de las muestras estuvo alrededor de 2.7. En una de las muestras el valor encontrado fue de 2.48, el más bajo de toda la investigación, correspondiente a un depósito gravitacional de gabro, siendo un limo arcilloso orgánico blando. El valor más alto, 2.84 correspondió a un depósito de gravedad de gabro con algo de dunitas serpentinizadas; en este sitio de muestreo hay actualmente una falla en profundidad que estimamos de aproximadamente 5.0 m. Sin embargo, el suelo de consistencia media puede parecer de "buena calidad", lo cual obviamente es falso. De aquí la necesidad de una buena investigación en profundidad para los proyectos sobre flujos de escombros y lodos.

#### **4.3.3 Resistencia al corte**

Como era de esperarse, se encontraron valores muy variables de la resistencia al corte de

---

estos suelos gravitacionales, lo cual obviamente es debido a la presencia de todo tipo de suelos, tales como arcilla muy blanda, limos, arenas y bloques de todos los tamaños en cualquier proporción y grado de meteorización.

Los ensayos realizados para determinar la resistencia al corte, fueron básicamente los mismos que para los otros depósitos, esto es, comprensión confinada y comprensión triaxial tipo U.U., todos ellos sobre suelos inalterados arcillosos o arcillo-limosos, tomados en la mayoría de los casos en superficie. Los resultados nos muestran que el ángulo de fricción tuvo un promedio de  $13.5^\circ$  para 6 muestras, en los cuales la cohesión promedio fue de  $0.4 \text{ kg/cm}^2$ . En otra de las muestras el ángulo de fricción fue de  $27.2^\circ$ , con una cohesión de  $0.15 \text{ kg/cm}^2$ .

De lo anterior podemos concluir que la matriz arcillosa de estos coluvios presenta una resistencia al corte relativamente variable y que se puede considerar entre media y baja, lo cual la hace, desde el punto de vista estabilidad y capacidad portante, de un manejo cuidadoso, ya que no se puede confiar sólo en el resultado del laboratorio, sino que además se debe tener presente su génesis, grado de contaminación orgánica, madurez del depósito, localización, pendientes, drenajes, pluviosidad y uno de los aspectos que consideramos más importante dentro de la investigación, la experiencia y sobre todo el criterio que el consultor tenga sobre el depósito gravitacional que está manejado, ya que todos los datos de laboratorio le sirven como una gran base de datos a una determinada cantidad de trabajos que él haya realizado y con el tiempo hayan demostrado lo acertado o no de sus conclusiones. En los depósitos gravitacionales estudiados, nos encontramos con que esta zona es la de mayores problemas dentro de toda el área en estudio, no sólo desde el punto de vista de diseño, construcción y manejo sino también en cuanto a estudios geotécnicos, ya que no siempre existe una buena relación geología - ingeniería - construcción.

## 5. ZONACION GEOTECNICA PROPUESTA

### 5.1 Unidad Geotécnica 1 - Gravitacional

Las coberturas superficiales están expresadas por depósitos de gravedad conformados por flujos de lodo y escombros de gabros olivínicos, pegmatitas hornbléndicas y ocasionalmente dunitas serpentinizadas. La matriz es heterogénea y mixta,

compuesta por arcilla limosa de color gris con abundantes residuos arenosos, consistencia media, incluye bloques del material mencionado. Las estructuras gravitacionales, por el reacomodo de los suelos en dirección de la pendiente, están claramente desarrolladas. En algunos sitios la matriz se torna limo arcillosa orgánica de color café; otras estructuras provenientes de la desecación son habituales, poligonales y estrechas. Cuando estos suelos se humedecen, adquieren inmediatamente plasticidad y responden con desarrollo de reptación.

Los valores correspondientes de la resistencia al corte son bajos en los suelos gravitacionales contaminados con materia orgánica o sin ella, con una capacidad de carga del orden de  $0.9 \text{ kg/cm}^2$ , valor éste tomado a una profundidad de 1.0 m sobre un afloramiento. Para los suelos saprolíticos de gabro a una profundidad de 1.5 m, se incrementa hasta  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , aproximadamente, lo que indica que este suelo presenta una mayor capacidad y estabilidad que aquéllos orgánicos.

El nivel freático en la zona se encuentra a una profundidad de 4.5 m en promedio, lo que confirma la tendencia al descenso.

Esta zona presenta, desde el punto de vista estabilidad, un factor de seguridad bajo, ya que actualmente se observan varios movimientos activos (reptación y deslizamiento) y cicatrices de otros recientes.

Por lo tanto, clasificamos esta zona como de terrenos con indicios de inestabilidad y terrenos inestables, con movimientos actuales y recientes.

### 5.2 Unidad Geotécnica 2 - Gravitacional

En superficie se conforma por depósitos de flujos de lodo y escombros de dunita serpentinizada, alterna material procedente de anfíbolitas y gabros, la matriz es limosa comúnmente laterítica. Albergan aluvionamientos torrenciales antiguos inter-estratificados. Movimientos gravitacionales atenuados.

Estos depósitos, en nuestro concepto pueden coincidir con los depósitos torrenciales, también cementados y de aspecto conglomerático evidenciados una y otra vez en el centro de la ciudad y originados posiblemente por el torrente de la Santa Elena.

---

Esta zona, en un alto porcentaje, se considera como terrenos actualmente estables pero con inestabilidad potencial bajo condiciones climáticas excepcionales y frente a la actividad humana.

Desde el punto de vista de capacidad de carga, básicamente en la parte superficial donde se realizaron los muestreos, se encontró un valor de resistencia última alrededor de 1.0 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en algunos casos, se presentan valores mayores que deben ser estudiados con detenimiento. En profundidad la resistencia aumenta considerablemente. La gravedad específica de los sólidos se encontró alrededor de 2.9 a 3.0, lo cual se debe primordialmente al tipo de minerales ferralíticos de las rocas que dieron origen a estos depósitos; los suelos en general son MH.

En general es una zona de un comportamiento "aceptable", desde el punto de vista de manejo y cortes, donde actualmente hay una gran cantidad de construcciones, tanto en altura, como de viviendas de uno y dos pisos. Los edificios de mediana altura (5 a 8 pisos), han sido cimentados en zapatas o pilas cortas o medianas (en algunos casos hasta unos 10 m de profundidad); las cimentaciones de las viviendas, normalmente, son superficiales y del tipo vigas o zapatas.

En el caso de los edificios más altos, las cimentaciones que normalmente se han empleado, han sido las pilas profundas y en algunos casos los pilotes, obviamente dependiendo del tipo de suelo encontrado en profundidad.

Cuando se han empleado pilas, se utilizan normalmente anillos de concreto, para dar una buena estabilidad a la excavación. De acuerdo con nuestra información, en esta zona no se han presentado problemas serios durante la etapa de excavación de cimentaciones. Sólo en algunos casos se han presentado inconvenientes en esta etapa, pero opinamos que se debe especialmente al sistema constructivo y cuando se llega al nivel freático.

Los taludes en esta zona, que se observan sobre las vías que la cruzan, son generalmente estables, aun con pendientes muy fuertes. Se presentan problemas de inestabilidad en algunos puntos, pero generalmente están asociados a mal manejo de las quebradas en la zona o a tratamientos inadecuados de las aguas de escorrentía, provenientes generalmente de lluvias.

### 5.3 Unidad Geotécnica 3. Gravitacional

Está conformada por depósitos de flujos de lodo y escombros, de dunitas serpentizadas, alterna materialmente procedente de gabros, matrices erráticas. Albergan aluvionamientos torrenciales antiguos, inter-estratificados. Es influenciada por procesos de reptación.

Se ubica en la vertiente norte del estudio, como una depresión ascendente N - S; sobre ella se localiza el barrio de vivienda popular "Urbanización Caunces de Oriente".

Esta unidad geotécnica se clasifica como terrenos con indicios de inestabilidad.

Es una zona, en donde actualmente encontramos, aproximadamente, un 40% del área con construcciones de uno y dos pisos. Su ubicación y las características socio-económicas de la población que allí se ubica, hace pensar, que las solicitaciones de carga y esfuerzo a las cuales el suelo se verá sometido, por construcciones, no serán sustancialmente mayores a las que actualmente se presentan. El problema primordial de inestabilidad puede radicar en el manejo inadecuado que se haga de los suelos en superficie o por cortes, aun de pequeña altura, donde se presenten movimientos superficiales.

En general las cimentaciones que se realizan en esta zona, del tipo superficial, son vigas corridas o en algunos casos, menos frecuentes, zapatas. La capacidad portante del suelo en términos generales y en superficie puede estar del orden de 0.3 a 1.0 kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo, para cualquier caso de construcciones, se debe adelantar un estudio de suelos que permita detallar más adecuadamente los tipos de cimentación a emplear y las capacidades máximas del terreno, ya que dependiendo de la mayor o menor cantidad de arcilla o limo, se presentan valores más o menos variables.

Además se deben dar recomendaciones muy específicas en cuanto a la construcción de las cimentaciones y los cortes que se puedan adelantar, ya que hay indicios de movimientos en superficie.

### 5.4 Unidad Geotécnica 4. Gravitacional

Se le localiza al Norte del área estudiada, modelando la vertiente de gradiente S - N del valle joven, pero de alta evolución morfodinámica del

---

torrente Santa Elena. Sus pendientes fluctúan entre moderadas a muy fuertes.

Está conformada, esta unidad, por depósitos de gravedad, flujos de lodo y escombros de gabros olivínicos y algo de pegmatitas hornbléndicas, en matrices limo arcillosas y/o arcillo limosas, con fracción orgánica significativa que puede observarse en los afloramientos, donde predominan colores oscuros y consistencia terrosa. Estas condiciones se han confirmado en profundidad a partir de perforaciones, sin embargo el contenido de contaminación no persiste en profundidad, y las arcillas se tornan grises, saturadas y plásticas, para en ciertos niveles volver a incrementarse el contenido de materia orgánica. Esta condición advierte sobre deslizamientos cíclicos en la vertiente, lo que permite afirmar su origen como material previamente desplazado sobre ella y en épocas recientes, con movimientos en dirección a la quebrada Santa Elena.

En algunas áreas la concentración en superficie de tales materiales, gabros olivínicos y pegmatitas hornbléndicas, adquieren tan alta densidad y magnitud en tamaño que les imprime la característica paisajista de regueros de bloques.

Esta zona se considera con indicios de inestabilidad, y hacia algunos sectores con movimientos recientes.

En esta unidad hay relativamente pocas construcciones, en comparación con el área total de la misma. En la parte baja se encuentran bloques de edificios de cuatro pisos, los cuales están cimentados, según nuestra información, superficialmente. Las construcciones más antiguas, de acuerdo con observaciones en el sitio, han presentado algunos problemas de asentamientos, pero no tenemos información, respecto al tipo de cimentación que se empleó en cada caso. En las construcciones más recientes de uno y dos pisos, se ha recurrido a cimentaciones por medio de zapatas individuales, amarradas con viga, apoyadas a una profundidad entre 2.0 y 3.0 m, con capacidades admisibles entre 1.0 y 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. En otras oportunidades se ha cimentado sobre vigas corridas.

Durante las etapas de construcción de las fundaciones y apertura de excavaciones para alcantarillados, se han presentado problemas por la gran cantidad de rocas de gabros olivínicos o pegmatitas hornbléndicas que a veces se han encontrado. En otras oportunidades los problemas

se han originado en la presencia del nivel freático a poca profundidad, lo que hace que las excavaciones presenten un cierto grado de inestabilidad. En estos casos, es preciso recurrir a sistemas de entibado y bombeo que permitan sostener temporal y adecuadamente las paredes, ganando en estabilidad y protegiendo a los trabajadores.

## 5.5 Unidad Geotécnica 5 - Gravitacional

Esta unidad está conformada por depósitos de flujos de lodo y escombros, regueros de bloques de gabros olivínicos y pegmatitas hornbléndicas. Matrices limo arcillosas a arcillo limosas, suprayacen perfiles de meteorización en el sitio de gabro olivínico. Influenciados por reptación superficial (cobertura gravitacional) hasta movimientos profundos (en la masa residual).

Se presenta en la vertiente S del cuerpo montañoso, conformado por la roca ígnea, ocupa un amplio sector en porcentaje respecto al terreno estudiado. Se localizan por ahora sobre él, las urbanizaciones Las Lomas Uno y Dos, además es atravesado en dirección con tendencia próxima E-W, por la vía a Las Palmas, las transversales superior e inferior; en la actualidad hay varios proyectos urbanísticos a ejecutar a corto plazo.

En la investigación que se adelantó, podemos afirmar que esta zona es una de las más complicada desde el punto de vista de cortes, diseño y construcción de cimentaciones, vías, taludes, manejo de aguas, movimientos superficiales, etc. En ésta se han construido desde casas, sobre depósitos gravitacionales y ocasionalmente sobre arcillas grises, hasta edificios en altura que normalmente se fundan sobre suelo residual en profundidad.

Las cimentaciones que se han empleado en esta unidad van desde zapatas individuales y superficiales, hasta pilas profundas apoyadas en el gabro meteorizado, lo cual nos indica que se han empleado muy diversos valores de capacidad portante.

Durante la etapa de construcción de las fundaciones se han presentado, en varias ocasiones, problemas bastante complejos debido primordialmente a las propiedades mecánicas de los depósitos que, generalmente, son muy heterogéneos por su misma génesis.

---

Esta zona presenta actualmente una gran cantidad de problemas atribuibles a movimientos activos; estos problemas han ocasionado grandes trastornos en sectores como la vía a Las Palmas, en donde actualmente hay varios sitios de fallas, todos ellos de gran riesgo, pues no sólo son peligrosos por las zonas que pueden afectar ladera abajo, sino porque además es una vía de mucho tráfico, especialmente en fines de semana.

Zona con indicios de inestabilidad y hacia algunos sectores con movimientos recientes.

### **5.6 Unidad Geotécnica 6. Gravitacional**

Se constituye esta zona por depósitos de flujos de lodo y escombros de gabros olivínicos y pegmatitas hornbléndicas; procesos de meteorización reductores y posteriores al descenso gravitacional han generado zonas de suelos arcillo-limosos. Influenciada por reptación.

En esta unidad se encuentran localizadas varias urbanizaciones reciente de cuatro y cinco pisos, además de construcciones antiguas de uno a cuatro pisos. Está atravesada por varias vías de tráfico mediano. Las urbanizaciones más recientes han sido cimentadas, en la mayoría de los casos, en zapatas individuales o pilas cortas, cuando se trata de edificios. En el caso de viviendas se ha recurrido a cimentación superficial en vigas o zapatas. En algunas ocasiones se han empleado placas de cimentación.

En esta zona se han presentado problemas bastante graves, hasta el punto de tener que abandonar proyectos en la etapa de excavación, por deslizamientos superficiales, que han ocasionado la destrucción total de viviendas antiguas hasta de tres pisos.

Es una zona con indicios de inestabilidad y hacia algunos sectores con movimientos recientes.

### **5.7 Unidad Geotécnica 7. Gravitacional**

Se ubica en la vertiente E del valle joven de la Quebrada Santa Elena, la porción inferior de la unidad ocupa el talud erosional disectado lineal y lateral por el flujo turbulento de ésta.

Se disponen en superficies depósitos de flujos de lodo, cuyos fragmentos contenidos, son en un porcentaje alto, correspondientes a gabros

olivínicos, caracterizados por una matriz arcillosa gris, degradada en profundidad en sus propiedades geomecánicas por un alto reblandecimiento, originado en la abundancia de flujos subterráneos de agua que afloran en el frente del talud o en su pie. En estos depósitos de gravedad es frecuente encontrar contaminaciones orgánicas (movimientos recientes) dando lugar a arcillas oscuras y de alta inestabilidad, plásticas y de cohesión muy baja ( $0.25 \text{ kg/cm}^2$  o menor).

Esta unidad, dentro de toda la investigación, es la que en nuestro concepto presenta el mayor grado de inestabilidad, pues los movimientos activos en toda el área y zonas vecinas nos llevan a concluir que en corto o mediano plazo se pueden presentar los represamientos del torrente, inundando una gran zona aguas abajo la cual se conoce como "centro de la ciudad".

A la altura de la unidad deportiva Miraflores, los desplazamientos horizontales y verticales superan en algunos puntos el metro de altura; en el caso de presentarse una aceleración fuerte del movimiento por agentes como el agua, un sismo u otras, el deslizamiento es inminente.

Se clasifica como zona de terrenos inestables con movimientos activos y recientes.

### **5.8 Unidad Geotécnica 8 - Gravitacional**

Se observan sobre esta unidad depósitos de flujos de lodo de dioritas y algo de gabros olivínicos y piroxénicos. Caracterizada por movimientos de masa de dioritas, descendidos por gravedad y controlados por debilidades estructurales (bloques hundidos), alternas de reptaciones superficiales hasta movimientos profundos de suelos.

Los depósitos de gravedad de tal procedencia alcanzan al pie de la vertiente espesores de más de 20 m. En la generalidad de los estudios de suelos se observan de matrices altamente heterogéneas, lo que implica suelos mixtos que contienen fragmentos de roca de las ya señaladas; los escarpes o superficies de ruptura muestran una actividad de degradación geomecánica que aseguran movimientos regresivos. El trazado de las vías a Las Palmas que corta perpendicularmente el material incoherente ha acelerado de manera alarmante la movilización del suelo. Esta unidad está sometida a un amplio deterioro, en la cual la reptación y otros movimientos superficiales súbitos expondrán la

---

formación del suelo a erosión edafológica, pero lo más diciente es la posibilidad de fallas profundas donde las estructuras geológicas adelanten su discontinuidad a condiciones de resistencia residual baja, ofreciendo superficies geoméricamente delimitadas, para movilizar volúmenes considerables de suelo.

En esta zona se presentaron problemas en algunas obras, durante la etapa de construcción de las cimentaciones, llegando incluso, en uno de los casos, a continuarse el problema durante algún tiempo posterior a la terminación de la obra.

En la mayoría de los casos las cimentaciones de los edificios se han adelantado en profundidad, en pilas o pilotes. En otras oportunidades el sistema empleado ha sido el de zapatas o pilas cortas.

Esta es una de las zonas que presenta, en términos generales problemas, durante las etapas de excavación tanto de las cimentaciones como de los sistemas de alcantarillado. Los taludes, naturales o artificiales, en varias oportunidades han presentado fallas que afortunadamente no han sido graves, pues generalmente ocurrieron en zonas de poca densidad de población.

Sin embargo hay un riesgo inminente en algunos sitios, al igual que varios movimientos activos que están comprometiendo una gran zona.

En particular, en la zona de bifurcación de la vía a Las Palmas y Loreto, hay deslizamientos que se han activado fuertemente en los últimos meses, llegando incluso hasta la carretera Las Palmas parte baja, donde hay manifestaciones de movimientos activos que seguramente, en corto plazo, podrán causar la destrucción de la misma.

Se clasifica como terrenos inestables con movimientos actuales y recientes.

### **5.9 Unidad Geotécnica 9 - Torrencial**

Corresponde a un antiguo cono de deyección, donde la alta confluencia torrencial contribuyó a conformar depósitos aluviales considerables en espesor y de alta distribución granulométrica, procesos posteriores a su depositación introdujeron cementación, dando lugar a un conglomerado de serpentinitas, anfíbolitas y en ocasiones gabros, en matriz amarillo verdosa, posiblemente ferralítica y de alta coherencia. En los últimos eventos de

deslizamientos de ladera, algunos flujos de lodo alcanzaron dichos depósitos torrenciales y hoy los cubren. El lodo se ha desecado dando paso a un suelo coherente, de consistencia dura.

Esta unidad es la que menos problemas presenta en toda la zona investigada. Se han construido sobre ella todo tipo de obras, como son, desde las casas más antiguas de el Poblado, hasta grandes edificios como Santillana, Patio Bonito, Banco Ganadero, etc. Igualmente se han utilizado todo tipo de sistemas de cimentaciones, que van desde zapatas superficiales, que en algunos casos se apoyan en la "costra ferralítica", hasta pilas y pilotes para los edificios en altura.

Se clasifica como terrenos actualmente estables.

### **5.10 Unidad Geotécnica 10 - Residual y Saprolítica**

Corresponde a una serie de acolinamientos de suelos residuales y saprolitos que conforman una faceta en esta montaña baja expresada al W, en procesos de deterioro.

El material parental es una roca ígnea - diorita, con perfiles de meteorización cuaternarios desarrollados y afloramientos de roca restringidos. Presenta movimientos inducidos por propiedades mecánicas del suelo (horizonte IA - IB) hasta texturales y estructurales del material parental (saprolito - roca)

Se observan geformas ascendentes evolucionadas, a manera de disecciones que son aprovechadas por los avenamientos naturales, recargados hídricamente por aguas negras o de desecho.

Estos flujos de escorrentía penetran a esta porción ígnea a modo de subcuencas de bajo orden y a través de ellas se trasladan formaciones gravitacionales en dirección vertiente abajo.

Los procesos continuados de erosión y movimiento de masa por gravitación han interrumpido la continuidad del cuerpo, separándolo como generalidad y dejando suspendido a media ladera, sus afloramientos como una serie de cuerpos menores a manera de remanentes dioríticos, voluminosos y caracterizados por pendientes muy fuertes respecto al entorno.

Este cuerpo diorítico durante el cuaternario, bajo factores ambientales interactuantes, alcanzó un alto nivel de meteorización; y debido a la desmedida intervención humana se insertaron amplias perturbaciones en esta unidad geodafológica.

En esta zona se han construido edificios en altura, que han debido ser cimentados en profundidad por medio de pilas, de acuerdo con nuestra información.

Se le considera como terrenos actualmente estables pero con inestabilidad potencial bajo condiciones climáticas excepcionales y frente a la actividad humana.

### 5.11 Unidad Geotécnica 11- Residual y Saprólítica

Se distribuye sobre una roca ígnea, gabro olivínico y afines. Se han elaborado sobre ella

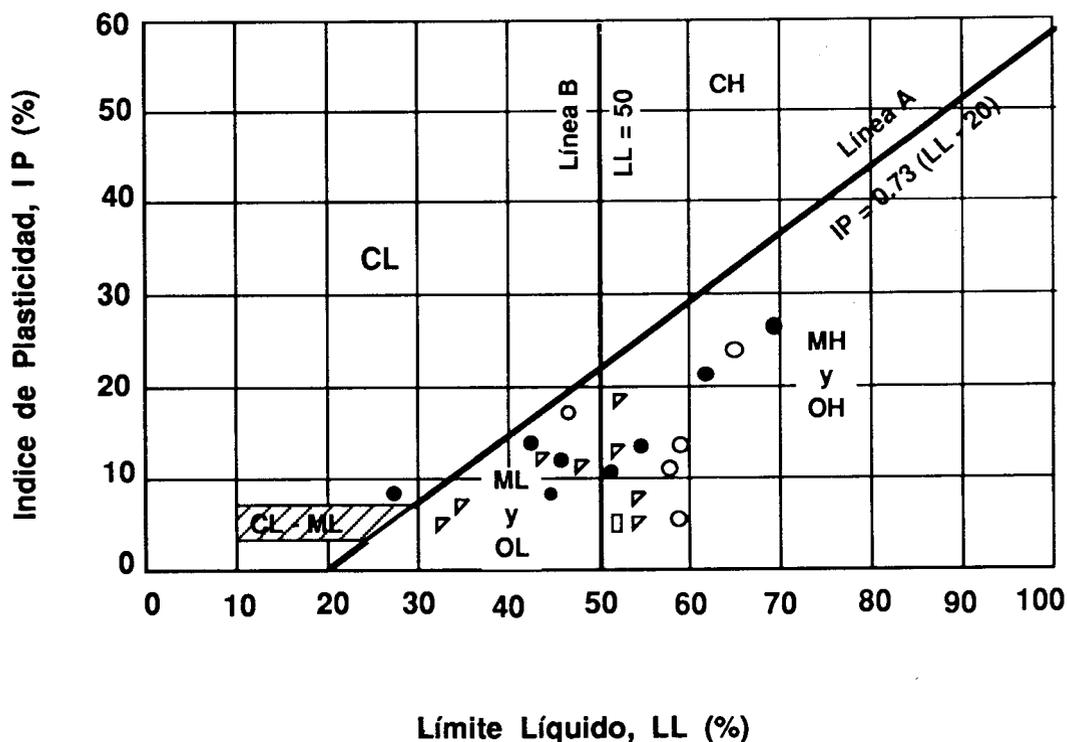
durante el cuaternario perfiles de meteorización. Se distribuyen en superficie rasgos de movimientos inducidos por propiedades mecánicas del suelo (horizonte IA - IB) hasta texturales y estructurales del material parental (saprólito).

En ella se localiza El Seminario Conciliar de Medellín. Corresponde a la cima o cresta del cuerpo en estudio, geofoma que trabaja como una divisora de aguas, entre la vertiente N tributaria al torrente Santa Elena y la vertiente S que avana y declina, aproximadamente, hasta la urbanización Las Lomas; las aguas de escorrentía fluyen hacia el torrente de La Poblada. Hacia El-W compone el sector alto de la faceta de idéntica disposición y dirección S - N; combina pendientes suaves a muy fuertes.

En general el área está destinada a reforestación maderable, lo que dificulta su acceso, con sectores

Tabla 3  
Carta de Platicidad de CasaGrande  
Suelos de:

- Diorita
- Gravitacional
- ▽ Gabro
- Serpentina



---

parcelados de forma rudimentaria. Las áreas despejadas exhiben hondonadas e irregularidades atribuibles a procesos de reptación; se observan en ellas regueros de bloques (horizonte IIB degradado). Sin embargo, algunos afloramientos meteorizados expuestos por carretables antiguos exhiben secuencias edafológicas desarrolladas, donde los horizontes IA y IB algunas veces abigarrados, se trasladan en profundidad a saprolitos jóvenes, es decir: suelos texturales, granulares y de clara memoria estructural.

Esta unidad está débilmente aprovechada, apenas cuenta con obras de infraestructura. Lo que hace difícil su reconocimiento, más aún con la ausencia de perforaciones profundas.

Los comportamientos exigen una doble consideración:

- Terrenos actualmente estables pero con inestabilidad potencial bajo condiciones climáticas excepcionales y frente a la actividad humana.
- Terrenos con indicios de inestabilidad hacia algunos sectores.

#### **5.12 Unidad Geotécnica 12 - Residualy Saprolítica**

Se presenta una roca metamórfica correspondiente a dunita serpentizada, con perfiles de meteorización cuaternarios. Se caracteriza por movimientos inducidos por propiedades mecánicas del suelo (horizonte IA - IB) hasta texturales y estructurales del material parental (saprolito - roca).

En ella se ubica el Barrio Los Caunces, los suelos conforman una ladera empinada que desciende hasta el torrente La Pastora.

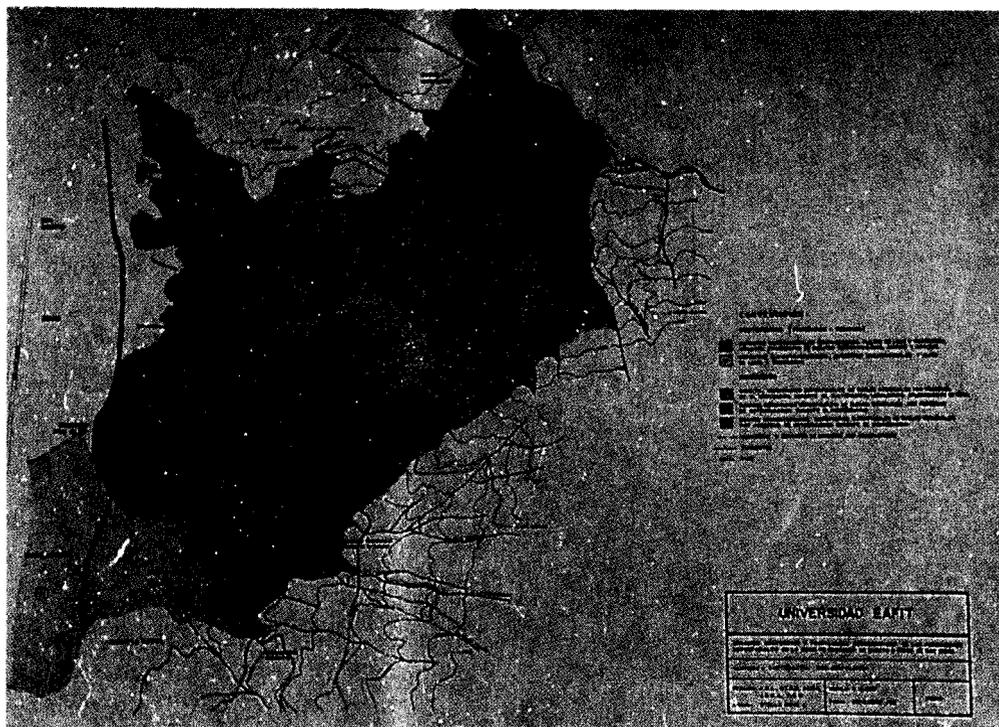
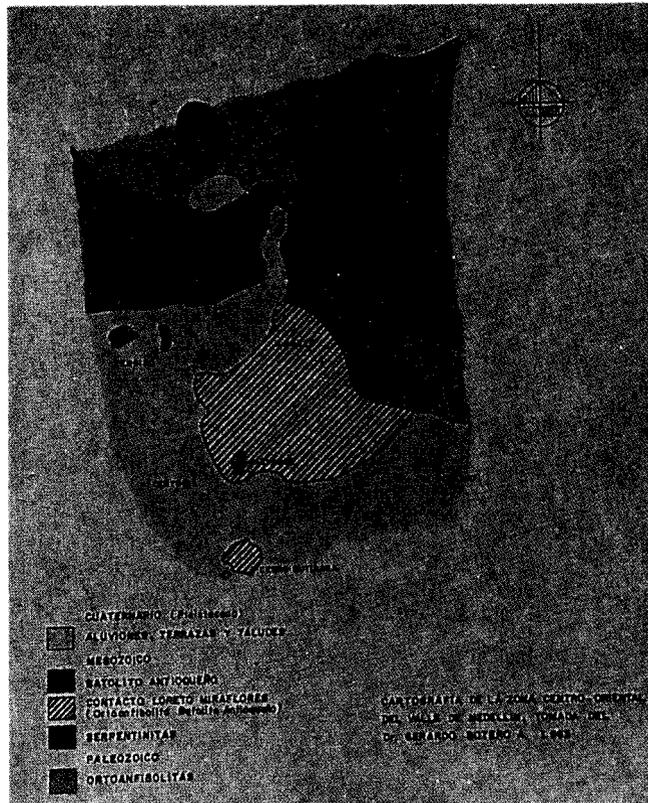
Es evidenciable un limo arcilloso laterítico de consistencia dura que suprayace un saprolito endeble rojizo, guarda su textura y estructura relictas. Terrenos actualmente estables pero con inestabilidad potencial bajo condiciones climáticas excepcionales y frente a la actividad humana.

Expresamos nuestros agradecimientos a la Universidad EAFIT por el apoyo brindado para el presente trabajo y a todas las personas que lo hicieron posible.

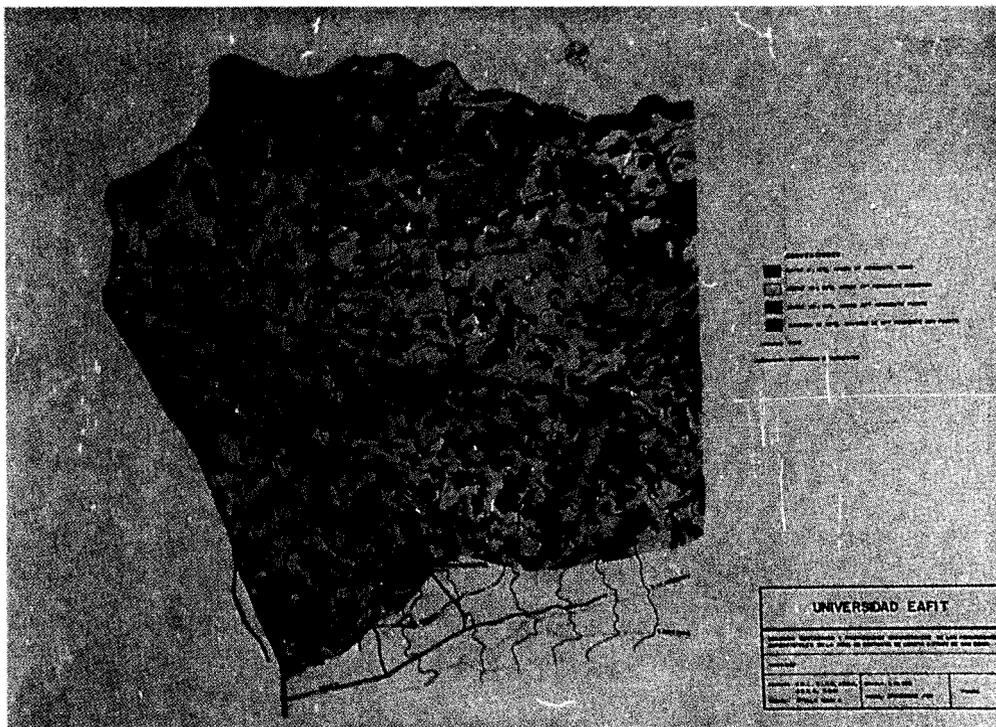
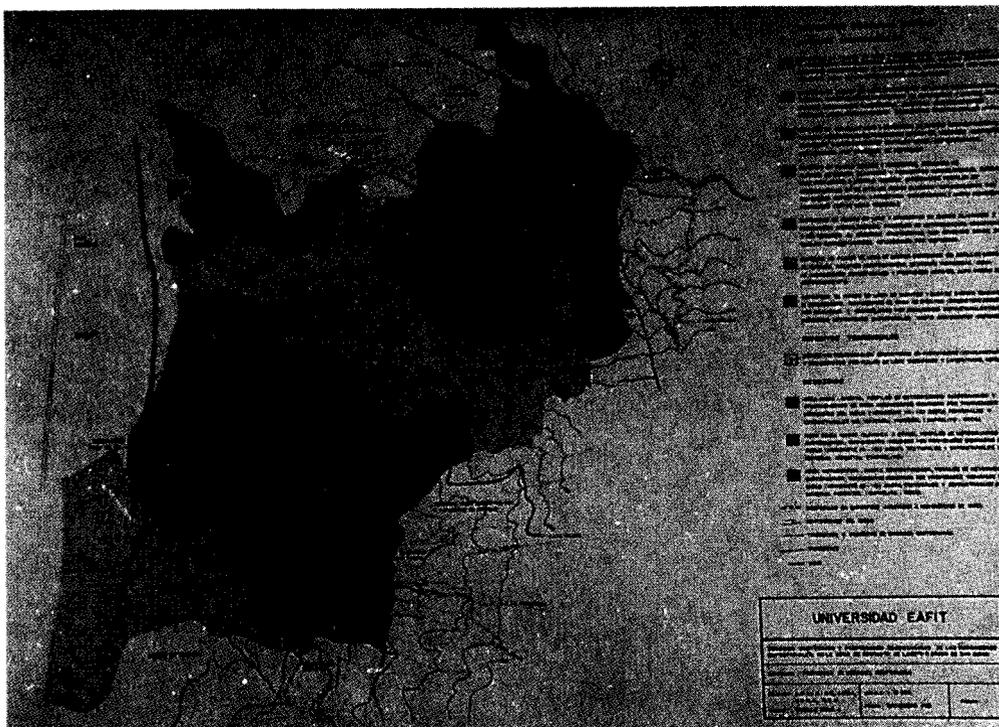
## **6. CONCLUSIONES**

- 6.1 Debido a que la zona está constituida por tres formaciones residuales de gabros, dioritas y serpentinitas altamente meteorizadas y además de varios depósitos gravitacionales que las suprayacen, siendo éstos de edad reciente, las propiedades geomecánicas presentan alta heterogeneidad, lo cual dificulta su manejo ingenieril.
- 6.2 Se ha dado un mal tratamiento a los problemas de los cortes en algunas vías y urbanizaciones; prueba de ello, son los deslizamientos presentes actualmente sobre la vía Las Palmas, la variante al Barrio Loreto y en vías de penetración sobre el seminario y cortes en el Barrio Los Caunces, entre otros.
- 6.3 Los proyectos donde no se han adelantado estudios geotécnicos apropiados, se han visto afectados por deslizamientos o problemas similares con grandes pérdidas económicas y sociales.
- 6.4 Hasta el presente no se cuenta con ningún reglamento que haya entrado a regular el uso de la tierra, en cuanto a tipo de obras, urbanizaciones, etc. en gran parte de la zona y mucho menos en cuanto a zonaciones de riesgo.
- 6.5 Geo-estructuralmente planteamos la posibilidad de una falla tectónica que viene con dirección 10° E, que corta el Barrio Enciso y penetra a la zona en estudio para cruzarse a media ladera y prolongarse por encima de el Poblado y hasta Envigado.
- 6.6 En cuanto a las propiedades geo-mecánicas, las dioritas presentan un comportamiento friccionante, controlado en gran parte por la minerología del suelo y además por efectos de preconsolidación que le dan mediana a alta resistencia al corte. Sin embargo, las estructuras geológicas controlan su comportamiento en taludes artificiales y pueden conducirlos al colapso, especialmente con factores de seguridad bajos.
- 6.7 Por el contrario, los suelos de gabros son más franco arcillosos y su comportamiento puede

# ANEXOS



# ANEXOS



---

adecuarse más fácilmente a los cálculos tradicionales de la mecánica de suelos, ya que presentan una alta meteorización.

6.8 Los suelos gravitacionales pueden considerarse en términos generales, inestables y de difícil manejo, dada su gran heterogeneidad.

## 7. RECOMENDACIONES

7.1 Las entidades del gobierno deben exigir para todos los proyectos, ya sea de casas, edificios, vías o similares, un estudio geotécnico.

7.2 Para todo proyecto en la zona y con especial énfasis en las de alto riesgo, de acuerdo con las zonaciones, se debe adelantar un estudio geotécnico, no sólo desde el punto de vista de cimentaciones sino también, en cuanto a la estabilidad general del proyecto.

7.3 Debe adelantarse un estudio completo de drenajes, torrentes y cuencas en toda la zona, ya que este es uno de los factores más desestabilizantes. Se debe poner especial énfasis al torrente de la Santa Elena, pues como se explicó, es posible un represamiento a corto o mediano plazo.

7.4 Proponemos que este trabajo sea un punto de partida para una microzonificación del área investigada, atendiendo las recomendaciones a lo largo de este estudio.

7.5 Es evidente que cada una de las unidades investigadas tenga su propia metodología de estudio, tanto en campo como en laboratorio.

7.6 En todos los proyectos de la zona en estudio debe existir una relación interdisciplinaria entre los diferentes profesionales, como son el Ingeniero Geólogo, el Ingeniero Civil, el Arquitecto y el Constructor.

## BIBLIOGRAFIA

Botero A., Gerardo. "Introducción al Conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia". Medellín: U.N., 1963.

Jiménez Salas, J. A. y Dejusto Alpañes, J. L. "Geotécnica y Cimientos". Madrid: Ed. Rueda. 1975

Jumikis, Alfreds. "Soil Mechanics". New York: D. Van Nostrand Company, 1962

Restrepo R., Jorge J. "Unidades Litológicas de los alrededores de Medellín". Primer Congreso de Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá. Medellín: U.N. 1984.

Rico Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilo. "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". México: Ed. Limusa, 1974.

Suárez, Jaime. "Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales". Bucaramanga: U.I.S., 1989.

Terzaghi, Kark y Peck, Ralph. "La Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica". 2da. ed. Barcelona: Ed. Ateneo, 1973.

Turner, Francis y Verhoogen, John. "Petrología Ignea y Metamórfica". 2da. ed. Barcelona: Ed. Omega, 1975.

Grosse, Emile. "El terciario carbonífero de Antioquia". Berlín: Dietrich Reiner, editores. 1926.