

## Inventario de Deslizamientos en la Red Vial Colombiana

El Ministerio de Obras Públicas y Transporte solicitó en 1985 a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, la realización de una investigación piloto sobre los deslizamientos que afectan la red vial nacional, en desarrollo de la cual se efectuó un inventario de los deslizamientos y movimientos de masa más importantes. Con base en los resultados obtenidos se propone la división del territorio nacional en ocho regiones, cada una con características similares desde el punto de vista de la estabilidad de los taludes, y se comentan los resultados y perspectivas de mayor interés.

**JUAN MONTERO O.**

Geólogo, M.Sc., Jefe Sección Geología, Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

**LISANDRO BELTRAN M.**

Ing. Civil, M.Sc., Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

**RICARDO CORTES D.**

Geólogo, Universidad Nacional de Colombia.

### 1. INTRODUCCION

Los deslizamientos y otras formas de movimiento del terreno afectan muchas obras de ingeniería y de desarrollo en general, con un sensible impacto en la economía y en la sociedad. Son particularmente destructores y muchas veces catastróficos en las regiones montañosas de los Andes Tropicales.

En Colombia, cuya red vial básica de carreteras a cargo del Ministerio de Obras Públicas y Transporte supera los 24.000 kilómetros de longitud, 40% de ésta con pavimento, (MOPT 1985), los deslizamientos producen excesivos costos de construcción, incrementos importantes en los costos de mantenimiento y operación, y causan continuas interrupciones en el tránsito, llegando inclusive a la destrucción de tramos viales completos. Estos problemas deben superarse mediante costosas reparaciones o la construcción de variantes.

Además de incrementar enormemente el costo del transporte, la inestabilidad de los taludes causa enormes daños en otros sectores de la producción con varios efectos indirectos, por pérdida de cultivos y propiedades, por impactos ambientales adversos de índole variada, y en ocasiones, por la pérdida de vidas humanas.

Recientemente el Ministerio de Obras Públicas y Transporte encargó al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, una investigación piloto sobre deslizamientos encaminada a efectuar una zonificación de riesgo y a establecer criterios de utilidad práctica en nuestro medio para estudiarlos y controlarlos. Con base en la investigación el Ministerio espera adoptar una política sobre el manejo de este tipo de problemas, que le permita optimizar los criterios de selección de rutas, el diseño de taludes para nuevas excavaciones y la selección de medidas de aplicación sistemática para el control de movimientos, utilizando los limitados recursos disponibles.

El estudio de la Universidad Nacional, que tendrá una duración total inicial de 23 meses, comenzó en Abril de 1986 con un inventario de deslizamientos a lo largo de sectores viales seleccionados con base en criterios geotécnicos y de importancia vial. Este inventario ha permitido definir en principio zonas que de una manera general presentan problemas similares respecto de la inestabilidad real o potencial, con mecanismos de falla parecidos, por lo que se espera que los métodos de análisis y control sean semejantes.

En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio, así como una síntesis sobre lo que constituirá el complemento de la investigación y sus alcances posibles.

## 2. CARACTERISTICAS DE LA INVESTIGACION

Los taludes, tanto naturales como artificiales, constituyen las estructuras más complejas de las carreteras, dados su heterogeneidad, la dificultad de encontrar criterios aplicables universalmente para analizar su comportamiento, y los pocos datos y recursos con que cuentan estos proyectos en países en desarrollo.

El comportamiento de taludes de carreteras construidas en la zona andina del trópico se caracteriza por una serie de circunstancias y factores, relacionados con el ambiente y el nivel de desarrollo, que es necesario conocer antes de iniciar una investigación sobre este tópico:

### 2.1. Características Ambientales.

- Colombia y algunos de sus países vecinos se localizan en el cruce geográfico excepcional del cinturón circumpacífico con la zona ecuatorial, es decir en la región de la tierra afectada simultáneamente con la más fuerte actividad sismotectónica y volcánica, y la mayor severidad climática.
- El 80% del conglomerado social de Colombia, incluidos su capital en el centro geográfico y los otros polos de desarrollo, se asienta en la zona andina o en los valles interandinos, en terrenos de geología joven, con pendientes fuertes, cuyo desarrollo geomorfológico se ve principalmente afectado por procesos de remoción en masa. Por esta razón el 70% de las carreteras están construidas en terrenos montañosos y escarpados, situación que plantea un serio problema por los altos costos de la explanación, los cuales alcanzan en muchos casos el 90% del costo total del proyecto, además de que se presentan grandes dificultades para el manejo de los materiales de desecho ante su mínima utilización y los reducidos espacios para disponerlos.

- La ubicación septentrional de Colombia en la Cordillera Andina, con dos costas y una cordillera en evolución que se extiende en tres ramales en nuestro territorio, determina una geología variada y compleja.

En la parte oriental se encuentra una región sedimentaria del Cretáceo y Terciario, con un alto contenido de lutitas y otras rocas blandas cubiertas por gruesos depósitos aluviales, coluviales y glaciales, con muy poca consolidación e intensa humedad. En el centro y occidente se encuentran rocas cristalinas cubiertas en muchos sitios por depósitos volcánicos de muy variada composición, gruesos perfiles de meteorización que superan en algunos sitios los 40 metros, y depósitos de suelos transportados.

Todas las rocas han sido afectadas por dos y hasta tres episodios tectónicos, por lo que se presentan muchas fajas de intenso fracturamiento a lo largo de los cuales son abundantes los deslizamientos. El hecho de existir tres ramales norte-sur, hace que las vías con dirección este-oeste tengan que atravesarlos, con las dificultades inherentes.

- Un 60% en longitud de las carreteras aún dentro de la zona montañosa están construidas en depósitos inconsolidados, como coluviones, aluviones, conos de deyección, terrazas, depósitos de talud y depósitos glaciales, que rellenan parcialmente los valles.

En la Figura No. 1, Montero (1984), se presenta un balance general para el ciclo geomórfico, de acuerdo con el cual y teniendo en cuenta las características ambientales descritas, la denudación en la zona andina presenta una tasa muy alta, con el máximo aporte debido a los fenómenos de remoción en masa.

### 2.2. Factores Propios del Nivel de Desarrollo

- La rápida expansión de la Red Vial Nacional constituye una necesidad vital para el desarrollo, y debido a los escasos recursos disponibles, en los estudios previos al diseño se dedican pocos esfuerzos y tiempo a la prevención de deslizamientos y análisis de riesgo.
- No se dispone de metodologías adecuadas al medio para este tipo de estudios, además de que los datos básicos como fotografías aéreas, restituciones topográficas, estaciones hidrológicas, geología regional, etc., son incompletos.
- Es frecuente el inadecuado manejo de laderas por deforestación no controlada, mal manejo de las aguas e inapropiada disposición de los escombros de explanaciones.

## BALANCE GEOMORFICO

<b>TECTONISMO</b>	Tranquilidad tectónica prolongada amplia el tiempo disponible para la acción de la meteorización.		Inestabilidad tectónica reciente o actuante reduce el tiempo disponible para la acción de la meteorización.	
<b>TOPOGRAFIA Y MORFOLOGIA</b>	Relieve local suave.	Relieve local fuerte	Relieve local suave.	Relieve local fuerte.
<b>PERFIL DE METEORIZACION</b>	Mayor probabilidad de que en condiciones climáticas y morfológicas favorables se desarrolle un perfil profundo y maduro.	La probabilidad de que se desarrolle un perfil maduro depende de que haya buena cobertura de bosque.	La probabilidad de que se desarrolle un perfil maduro depende de la relativa estabilidad del paisaje.	Mínima probabilidad de que se desarrolle un perfil maduro.
<b>DENUDACION</b>	Tasa baja.	Tasa media.	Tasa alta.	Tasa muy alta.
<b>BALANCE</b>	Erosión normal débil y mínima remoción en masa.	Erosión fuerte. Predomina la erosión normal sobre la remoción en masa.	Probable equilibrio entre la remoción en masa y la erosión normal.	Máximo aporte de la remoción en masa a la denudación.

Figura No. 1 (Montero, 1984)

Como consecuencia, los costos de construcción de las carreteras exceden en muchos casos más del doble del valor inicial previsto, ya que los volúmenes de excavación generalmente se duplican y que la inflación galopante afecta el costo final de las carreteras de manera excepcional.

### 3. ALCANCES DE LA INVESTIGACION

La investigación de deslizamientos pretende desarrollar los siguientes objetivos principales:

- Establecer criterios y procedimientos de zonificación y clasificación de terrenos respecto de su susceptibilidad a movimientos.
- Investigar métodos de exploración y modelos de análisis aplicables en nuestro medio geotécnico, con una utilización más extensiva de los criterios morfológicos y de clasificación de terrenos.
- Fijar criterios para la selección de corredores de ruta y adopción de taludes de corte, y establecer políticas de mantenimiento y normas de construcción que minimicen el riesgo de deslizamientos, en proyectos nuevos.

### 4. METODOLOGIA GENERAL DE LA INVESTIGACION

Considerando la extensión de la red vial nacional, y la gran diversidad de procesos de inestabilidad que se presentan en ella, se adoptó como punto de partida de la investigación la ejecución del inventario de los problemas de mayor trascendencia, que afectan las carreteras con un tráfico promedio diario superior a los trescientos vehículos. Dicho inventario recopiló la máxima información posible sobre los deslizamientos,

incluyendo todas las características y todos los factores que de una u otra forma inciden sobre su desarrollo.

Con los datos obtenidos en el inventario, y basados en la zonificación regional que se presenta posteriormente, se dividió la red vial de montaña en tramos con características similares. Una vez definidos los tramos y zonas viales de características similares, se escogieron cinco para estudiarlos en detalle, estableciendo sus rasgos geológicos y evaluando los deslizamientos que en ellos se encuentran.

Como resultado de este análisis se elaborarán también mapas de riesgo de deslizamientos, que permitan clasificar los terrenos susceptibles de movimientos activos según las diferentes tendencias físico-geológicas.

Entre los deslizamientos encontrados en los tramos escogidos se tomarán los más típicos, uno por cada tramo, para analizarlos cuidadosamente, realizándoles una completa exploración del terreno, que incluya perforaciones, ensayos insitu y levantamientos topográficos, ejecutándoles ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad, y diseñándoles las medidas correctivas que se estimen más adecuadas para estabilizarlos.

Las soluciones propuestas serán construidas por el MOPT, y mediante instrumentación, se observará a corto y mediano plazo su acción en la corrección del problema. La experiencia que se obtenga con el estudio detallado de los deslizamientos escogidos se aplicará a la estabilización de estos problemas en zonas homogéneas de características similares.

Las diferentes zonas homogéneas restantes serán estudiadas en la Etapa II por firmas de consultoría, utilizando la metodología que la Universidad recomiende luego de recopilar sus experiencias.

## 5. RESULTADOS DEL INVENTARIO

### 5.1 Actividades Preliminares

Para desarrollar los dos primeros objetivos de la investigación se realizó un inventario detallado de los fenómenos que afectaban la red vial nacional en septiembre de 1986. Previamente a este inventario se ejecutaron las siguientes actividades preparatorias:

- Se recolectó y evaluó toda la información disponible, entre la que se cuentan, los mapas y estudios geológicos, las planchas cartográficas, las fotos aéreas, los datos meteorológicos, los mapas y estudios agrológicos, los informes presentados por la Sección de Geología del MOPT a los Distritos de Obras Públicas situados en las diferentes regiones, y finalmente, los estudios de diseños realizados por las firmas de consultoría contratadas por el MOPT.
- Se escogieron los tramos de carreteras de interés para efectuar el inventario, teniendo en cuenta su localización en la zona montañosa, un nivel de tráfico superior a los 300 vehículos diarios, y la inminencia de los deslizamientos. Con los criterios anteriores la longitud de las vías por recorrer durante el inventario se redujo a 1524 Km.
- Se elaboró un formato para registrar en el terreno las características más importantes de los deslizamientos. Entre ellas se encuentran, los detalles geométricos y estructurales de la vía afectada, el uso de la tierra, los manejos incorrectos, la descripción geomorfológica de la zona, la descripción geológica, la clasificación y descripción geotécnica, las causas detonantes y contribuyentes, y la historia y consecuencias económicas del movimiento.
- Se elaboró un manual de deslizamientos, (U.N., 1986 a), el cual consideró temas sobre las causas de los deslizamientos, la clasificación de movimientos de falla de taludes, la exploración del terreno, los análisis de estabilidad de taludes, y los métodos para el tratamiento de zonas inestables.
- Se efectuó un seminario de divulgación dirigido a los ingenieros de los Distritos Regionales del MOPT, de una semana y con los propósitos de unificar criterios, de intercambiar opiniones, y de motivar a dichos profesionales sobre la importancia de la investigación y de su participación activa en el inventario, en su permanente actualización y en el tratamiento eficiente de los problemas.

### 5.2 Inventario

Para la ejecución del inventario se conformaron seis grupos de trabajo de la investigación, cada uno integrado por un geólogo y por un ingeniero, uno de los

dos con experiencia geotécnica muy amplia. Estos grupos recorrieron las carreteras y tramos seleccionados entre el 4 de agosto y el 15 de septiembre de 1986, acompañados siempre por los ingenieros de los Distritos que participaron en el seminario. En algunos casos se recorrieron vías que no se habían seleccionado previamente, pero que en esa época presentaban problemas, y en otros, fue imposible recorrer todas las vías seleccionadas por falta de tiempo. En aquellos tramos donde se encontraron problemas con características similares solo se inventarió un movimiento representativo. En total se recolectó información de 227 deslizamientos (U.N., 1986 b).

### 5.3 Zonificación

Con el propósito de lograr un primer ordenamiento de los tipos de movimientos que pueden presentarse en regiones de similares características a lo largo de la red de carreteras, se tomó como punto de partida el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia preparado por INGEOMINAS (1983), el cual considera 25 unidades de terrenos con base en criterios principalmente litológicos, estratigráficos y estructurales, y el Mapa Geomórfico Estructural de los Andes Colombianos del IGAC (1981) que interpreta las grandes provincias morfo-estructurales del país. Una agrupación conveniente de los terrenos, aplicable a los propósitos del presente estudio, condujo en principio a la definición de ocho Regiones Geotécnicas cuya delimitación y composición general se presentan en las figuras 2 y 3.

Se definieron las características generales de las Regiones Geotécnicas teniendo en cuenta además el Mapa de Zonas de Riesgo Sísmico de Colombia (AIS, 1984) que se presenta en la Figura No. 4.

Cada una de las ocho Regiones se describen en la Tabla No. 1, basados en los siguientes parámetros:

#### Composición:

Considera los tipos de rocas y suelos, los grados de consolidación, litificación y meteorización de las rocas y el estado de consolidación de los suelos.

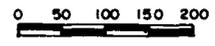
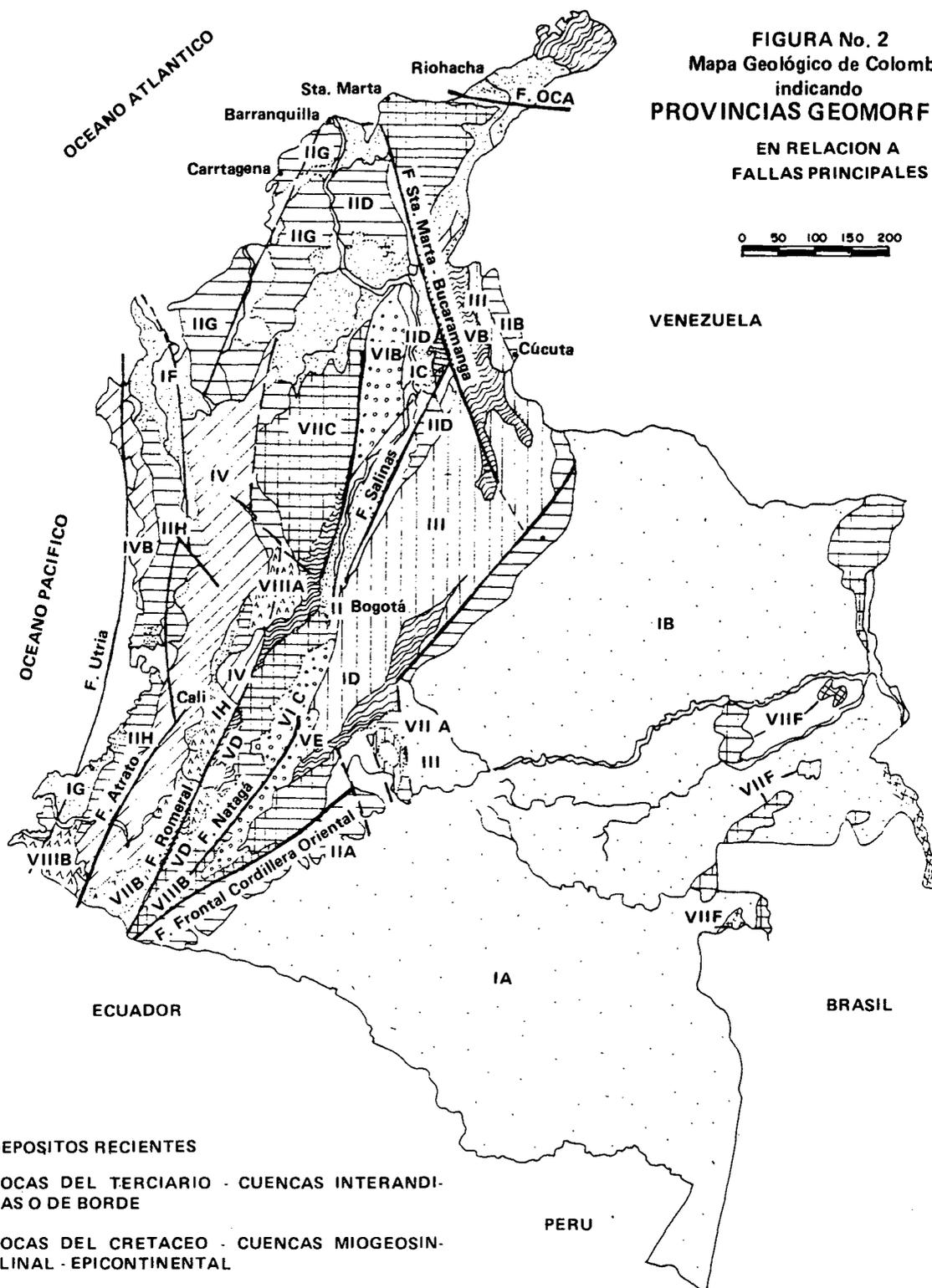
#### Morfoestructura:

Incluye las estructuras geológicas y rasgos del relieve dominantes, así como las altitudes promedias.

#### Riesgo sísmico:

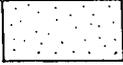
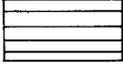
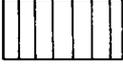
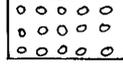
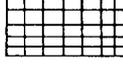
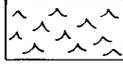
Establece la estrecha relación entre la distribución de los rasgos estructurales dominantes y zonas de falla con la sismicidad. Clasifica el riesgo sísmico de acuerdo con criterios definidos por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 1984), en "bajo", "intermedio" y "alto".

**FIGURA No. 2**  
**Mapa Geológico de Colombia**  
 indicando  
**PROVINCIAS GEOMORFICAS**  
 EN RELACION A  
**FALLAS PRINCIPALES**



- I DEPOSITOS RECIENTES
- II ROCAS DEL TERCIARIO - CUENCAS INTERANDINAS O DE BORDE
- III ROCAS DEL CRETACEO - CUENCAS MIOGEOCLINAL - EPICONTINENTAL
- IV ROCAS DEL CRETACEO - CUENCAS EUGEOCLINAL
- V ROCAS DEL PALEOZOICO - METAMORFISMO REGIONAL DEL BAJO GRADO
- VI ROCAS VOLCANICAS Y DETRITICAS DEL MESOZOICO INFERIOR
- VII ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS PRINCIPALMENTE DEL PRECAMBRICO
- VIII ROCAS VOLCANICAS DEL CENOZOICO

Figura No. 3 PROVINCIAS GEOMORFICAS

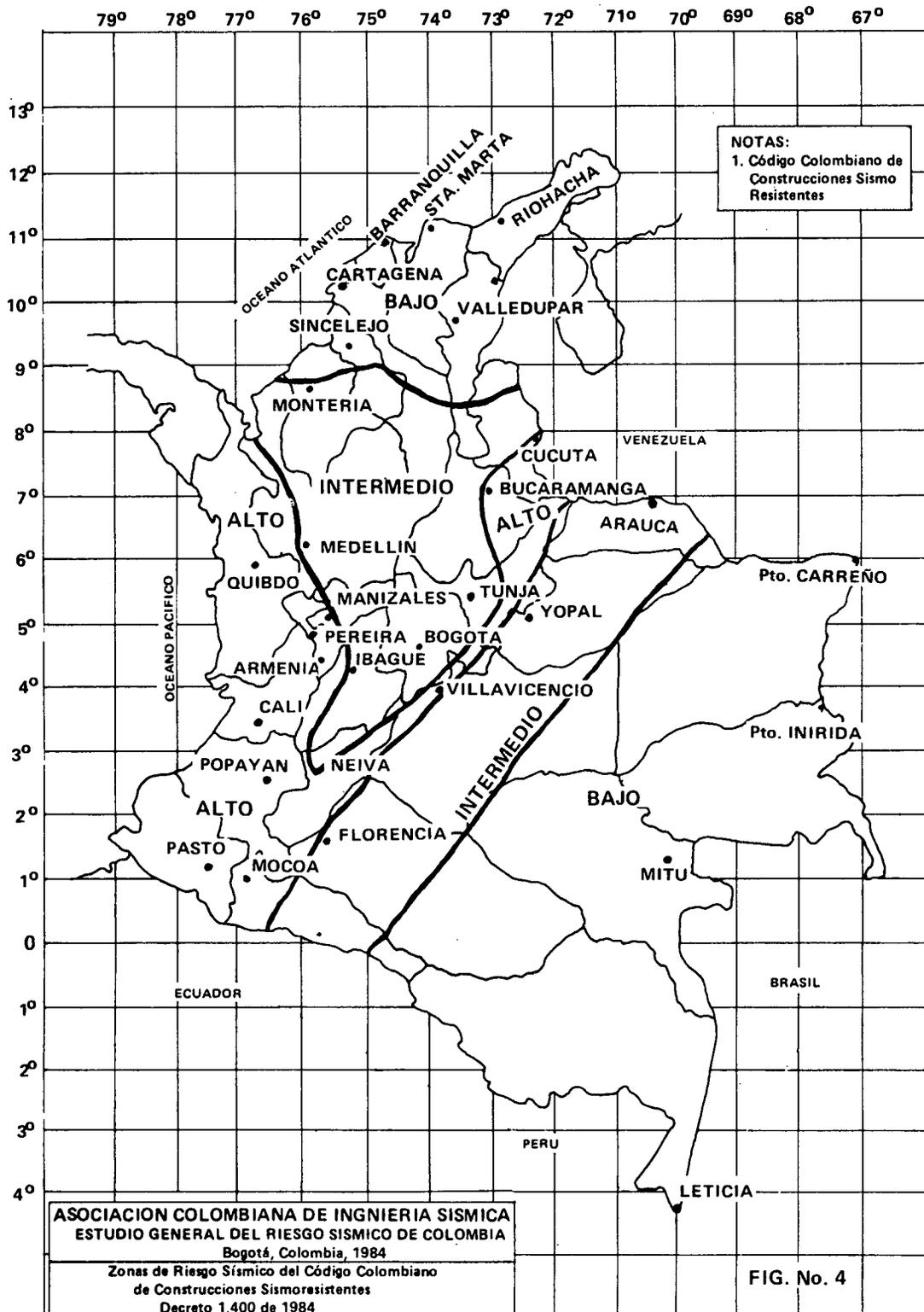
 <p><b>I Depósitos recientes de baja consolidación.</b></p>	<p>I A - Amazonía                      I B - Orinoquía                      I C - Llanuras del Valle medio del Magdalena                      I D - Llanuras del Valle alto del Magdalena                      I E - Llanuras del Valle bajo del Magdalena                      I F - Llanuras del Valle del río Atrato                      I G - Llanuras de la costa del Pacífico                      I H - Llanuras del Valle alto del Cauca</p>
 <p><b>II Rocas detríticas, volcánicas y algunos niveles calcáreos, consolidación y litificación moderada.</b></p>	<p>II A - Borde llanero                      II B - Borde llanero, Cuenca Maracaibo                      II C - Cuenca del Cerrejón - Guajira                      II D - Cuenca del Magdalena Medio y Bajo                      II E - Cuenca del Alto Magdalena                      II F - Cuenca del Cauca Medio                      II G - Cuenca de Urabá - Sinú                      II H - Cuenca Atrato - San Juan                      II I - Cuenca Patía</p>
 <p><b>III Rocas detríticas y pelágicas; consolidación y litificación moderada a alta.</b></p>	<p>III - Cordillera Oriental</p>
 <p><b>IV Intercalaciones de rocas volcánicas básicas (derrames submarinos) con arenisca y chert, también intrusiones ígneas básicas.</b></p>	<p>IV A - Cordillera Occidental                      IV B - Serranía del Baudó</p>
 <p><b>V Rocas metamórficas de origen regional, con algunas intrusiones ácidas a intermedias.</b></p>	<p>V A - Macizo de la Guajira                      V B - Macizo de Santander                      V C - Macizo de Quetame                      V D - Grupo Cajamarca (eje Cordillera Central)</p>
 <p><b>VI Rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos clásticos gruesos o finos; eventualmente algunos horizontes calcáreos.</b></p>	<p>VIA - Sierra de Perijá                      VIB - Serranía de San Lucas                      VIC - Estribación Sur-Oriental de la Cordillera Central.</p>
 <p><b>VII Rocas metamórficas de alto grado con variaciones laterales y/o intrusiones ígneas ácidas principalmente.</b></p>	<p>VII A - Serranía de la Macarena                      VII B - Macizo de Garzón                      VII C - Batolito Antioqueño                      VII D - Batolito de Ibagué                      VII E - Sierra Nevada de Santa Marta                      VII F - Saliente del Vaupés - Puerto Carreño</p>
 <p><b>VIII Rocas volcánicas recientes, con intercalaciones y variaciones laterales con sedimentos detríticos gruesos.</b></p>	<p>VIII A - Parque de los Nevados, Antiguo Caldas                      VIII B - Nudo de los Pastos y Cuenca de Popayán</p>

**Clima:**

Tiene en cuenta la precipitación, la temperatura media anual y la relación de evapotranspiración potencial (ET/P), la cual determina el balance hídrico. De acuerdo con esto y con los criterios de Holdridge (IGAC, 1977) se establecieron 7 zonas climáticas tal como se aprecia en las figuras Nos. 5 y 6. Cuando ET/P es mayor que 1 se pueden encontrar suelos ex-

pansivos, en tanto que valores inferiores a la unidad pueden revelar la presencia de suelos residuales con diferentes grados de madurez.

La precipitación se clasifica así: "muy baja", menos de 400 mm/año; "baja", entre 400 mm/año y 1.200 mm/año; "intermedia", entre 1.200 mm/año y 3.000 mm/año; "alta", entre 3.000 mm/año a 5.000 mm/año, y "muy alta", más de 5.000 mm/año.



**TABLA No. 1**  
**REGIONES GEOTECNICAS DE COMPORTAMIENTO HOMOGENEO**

**REGION I: DEPOSITOS RECIENTES****i) COMPOSICION:**

Gruesos depósitos poco consolidados del Cuaternario reciente, dispuestos en niveles de variado carácter.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Terreno llano con suave ondulación; altitudes hasta de 400 m.s.n.m.

**iii) RIESGO SISMICO:**

En la Amazonía y en la Orinoquía no se han determinado fallas activas; riesgo sísmico bajo. Las llanuras del Valle del Magdalena están influenciadas por las fallas Santa Marta-Bucaramanga, Salinas, Sinú y Nataga, además de la zona de compresión Atlántica; riesgo sísmico intermedio. En las llanuras de los valles de los Ríos Atrato y Cauca y de la Costa del Pacífico, se presentan fallas activas: Utría, Atrato, Cauca y Romeral; riesgo sísmico alto.

**iv) CLIMA:**

Condiciones climáticas variables, favorables al desarrollo de horizontes relativamente maduros en las llanuras del Pacífico, la Amazonía, las llanuras del Valle Medio del Magdalena y el Valle del Atrato. Desarrollo de horizontes poco diferenciados con posibilidad de suelos expansivos en la Orinoquía y los Valles Altos y Bajo del Magdalena, así como en las llanuras del Alto Cauca.

**REGION II: ROCAS DEL TERCIARIO EN CUENCAS INTERANDINAS DE BORDE****i) COMPOSICION:**

Sedimentos recientes de baja o moderada consolidación. En el borde llanero y la cuenca del Cerrejón (Guajira), depósitos continentales con intercalaciones de areniscas, arcillolitas y calizas, y en las cuencas de los ríos Magdalena, Patía, Cauca Medio, San Juan, y en la Cuenca de Urabá-Sinú. Coluviones, terrazas y depósitos aluvio-torrenciales en el borde llanero y extensas terrazas en las cuencas interandinas, constituyen los suelos predominantes.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Relieve ondulado a montañoso suave, formado en rocas duras, filos elongados con pendientes estructurales definidas y escarpes prominentes, y en niveles friables, contornos redondeados y colinas bajas. Altitud hasta 800 m.s.n.m., con promedio de 400 m.s.n.m.

**iii) RIESGO SISMICO:**

El borde llanero está afectado por la falla frontal de la Cordillera Oriental, con actividad relativa; riesgo sísmico alto. La cuenca del Cerrejón está influenciada por la falla Oca inactiva; riesgo sísmico bajo. La cuenca del Magdalena Medio y Bajo, afectadas por las fallas Bucaramanga, Santa Marta y la extensión Norte de Romeral y Cauca, activas, determinan un riesgo sísmico alto. La cuenca de Urabá Sinú tiene influencia de la zona de compresión del Caribe y al extensión Norte de Romeral y Sinú, con relativa actividad; riesgo sísmico intermedio a bajo. En las cuencas de los ríos Atrato, San Juan y Patía, configuran una región activa con frecuentes terremotos; riesgo sísmico alto.

**iv) CLIMA:**

El balance hídrico es favorable en general a la formación de suelos relativamente maduros salvo en la cuenca del Cerrejón, donde se pueden presentar suelos expansivos.

En la cuenca del río Cauca, entre Cali y Santa Fe de Antioquia, la relación ET/P, es mayor a 1.0. La precipitación es baja a intermedia en el borde llanero, la cuenca del Magdalena y la cuenca de Urabá-Sinú; y muy baja en las cuencas del Cerrejón y Cauca Medio.

**REGION III: ROCAS DEL CRETACEO EN CUENCA MIOGEOCLINAL****i) COMPOSICION:**

Gruesas secuencias sedimentarias de consolidación y litificación variable, predominantemente altas; y sedimentos recientes como aluviones, coluviones y depósitos glaciales, rellenando sinclinales y paleo-superficies a valles.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Relieve montañoso con altiplanos y páramos extensos, suavizado por los depósitos cuaternarios. Altitudes hasta 3.500 m.s.n.m. con promedio de 2.500 m.s.n.m.

**iii) RIESGO SISMICO:**

Región marcada por fallas de actividad moderada como Santa Marta-Bucaramanga, Salinas y falla Frontal de la Cordillera Oriental; riesgo sísmico intermedio.

**iv) BALANCE HIDRICO:**

Con un balance hídrico (ET/P) favorable a la formación de suelos expansivos en el altiplano Cundi-Boyacense y la cuenca del Río Chicamocha. En toda la zona, principalmente en las zonas de mayor precipitación, las lutitas presentan gruesas zonas de alteración por procesos cíclicos de humedecimiento-secado. Precipitación intermedia a baja en el flanco oriental y en el centro de la Cordillera Oriental, e intermedia a alta en el flanco Occidental.

**REGION IV: ROCAS DEL CRETACEO EN CUENCA EUGEOSINCLINAL****i) COMPOSICION:**

Rocas de alta consolidación y litificación como shale, arenisca bien cementada y chert, con intercalaciones de flujos volcánicos y eventuales intrusiones básicas. Cuaternario delgado asociado a flujos de lodo y cenizas volcánicas en el occidente de la Cordillera Central.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Relieve montañoso a escarpado con valles profundos y estrechos con marcado control tectónico, que evidencia cierta actividad.

**iii) RIESGO SISMICO:**

Zonas de falla de actividad reciente como Atrato, Cauca y Romeral; riesgo sísmico alto.

**iv) CLIMA:**

Precipitación intermedia a alta en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, y muy alta en el flanco occidental y en la Serranía del Baudó.

**REGION V: ROCAS DEL PALEOZOICO CON METAMORFISMO REGIONAL DE BAJO GRADO****i) COMPOSICION:**

Rocas antiguas con metamorfismo de bajo grado: esquistos, filitas, y cuarcitas predominantes. Algunos stocks graníticos. Gruesos depósitos coluviales, depósitos de glaciación y aluvio-torrenciales expuestos en diversos niveles, cubren las masas de roca en este terreno.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Relieve montañoso a escarpado con laderas muy fuertes y valles angostos. Los depósitos cuaternarios suavizan el relieve en la base de los valles. Altitudes hasta 3000 m.s.n.m. Frecuentemente corresponden a regiones expuestas a una profunda erosión, ya que representan el zócalo de la Cordillera Andina.

**iii) RIESGO SISMICO:**

El macizo de la Guajira con relativa tranquilidad tectónica, riesgo sísmico bajo. El macizo de Santander limitado por la falla Santa Marta-Bucaramanga y sus satélites con relativa actividad; riesgo sísmico alto. El Macizo de Quetame, en el borde de la falla frontal de la cordillera oriental y el Grupo Cajamarca en proximidad de macizos volcánicos de actividad reciente están asociados a zonas activas; riesgo sísmico intermedio.

**iv) CLIMA:**

En este terreno se pueden presentar suelos maduros salvo en los macizos de Guajira y Santander más favorable a la presencia de suelos expansivos. La precipitación es alta en el Macizo de Quetame y el terreno del Grupo Cajamarca y baja en los Macizos de Guajira y Santander.

#### **REGION VI: ROCAS VOLCANICAS Y DETRITICAS DEL MESOZOICO INFERIOR**

**i) COMPOSICION:**

Rocas volcánicas de carácter ácido a intermedio con intercalaciones clásticas de conglomerados, brechas, areniscas, limolitas y calizas.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Relieve montañoso a escarpado con laderas de pendientes constantes. Altitudes hasta 2.500 m.s.n.m. con promedio de 1.500 m.s.n.m.

**iii) RIESGO SISMICO:**

En el terreno de Perijá no hay evidencias de actividad sísmica; riesgo sísmico bajo. La Serranía de San Lucas está afectada por la falla Palestina con actividad local reciente; riesgo sísmico intermedio. La estribación Oriental de la Cordillera Central por su proximidad al Nudo de Los Pastos y la influencia de las fallas activas de Natagá y Romeral, presentan riesgo sísmico intermedio a alto.

**iv) CLIMA:**

Balance hídrico ET/P próximo al equilibrio salvo el Norte y la Serranía de San Lucas, donde es posible que se presenten suelos expansivos. Precipitación intermedia a baja en la Serranía de Perijá e intermedia a alta en la Serranía de San Lucas y parte central de la Cordillera Oriental.

#### **REGION VII: ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS PRINCIPALMENTE DEL PRECAMBRIANO**

**i) COMPOSICION:**

Rocas metamórficas de alto grado; neis, anfíbolita, eclogita, migmatita, esquisto y filita con intrusiones de cuarzodiorita y granito. Es importan-

te el espesor y madurez de los perfiles de meteorización principalmente en el Batolito Antioqueño.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

Terrenos generalmente escarpados con altitudes variables entre 500 m.s.n.m. y 2.600 m.s.n.m.

**iii) RIESGO SISMICO:**

En la Serranía La Macarena, asociada al borde fallado de la Cordillera Oriental; en el Batolito Antioqueño atravesado por los sistemas Romeral, Cauca y Palestina y en el Batolito de Ibagué próximos a zonas de actividad volcánica, hay una actividad sísmica relativamente importante; riesgo sísmico intermedio. En el macizo de Garzón, dispuesto a lo largo de la falla frontal de la Cordillera Oriental, el riesgo sísmico es alto.

**iv) CLIMA:**

Balance hídrico ET/P, próximo del equilibrio, salvo áreas locales del Batolito de Ibagué con tendencia a desarrollar perfiles relativamente maduros y la Sierra Nevada de Santa Marta, donde el clima favorece la formación de suelos expansivos.

#### **REGION VIII: ROCAS VOLCANICAS DEL CENOZOICO**

**i) COMPOSICION:**

Tobas, aglomerados, derrames volcánicos de composición andesítica y basáltica, con intercalaciones vulcano-clásticas.

**ii) MORFOESTRUCTURA:**

El aporte volcánico ha conformado altiplanos y valles amplios, algunos de los cuales rematan en cañones estrechos y profundos.

**iii) RIESGO SISMICO:**

En la zona del Parque de los Nevados y en proximidad a las fallas de Palestina y Romeral, el riesgo sísmico es intermedio a alto, y en el Nudo de Los Pastos y Cuenca de Popayán, por su proximidad a los macizos volcánicos y las fallas activas de Romeral, Cauca y Atrato, el riesgo sísmico es alto.

**iv) CLIMA:**

En el parque de los Nevados y la Antigua Caldas se presentan condiciones favorables a la formación de suelos residuales maduros; precipitación intermedia a alta. En el Nudo de los Pastos, al Sur, las condiciones son semejantes a las antiguas del Caldas, salvo la parte alta del Valle del Patía, con precipitación intermedia a baja, favorable a la formación de suelos expansivos.

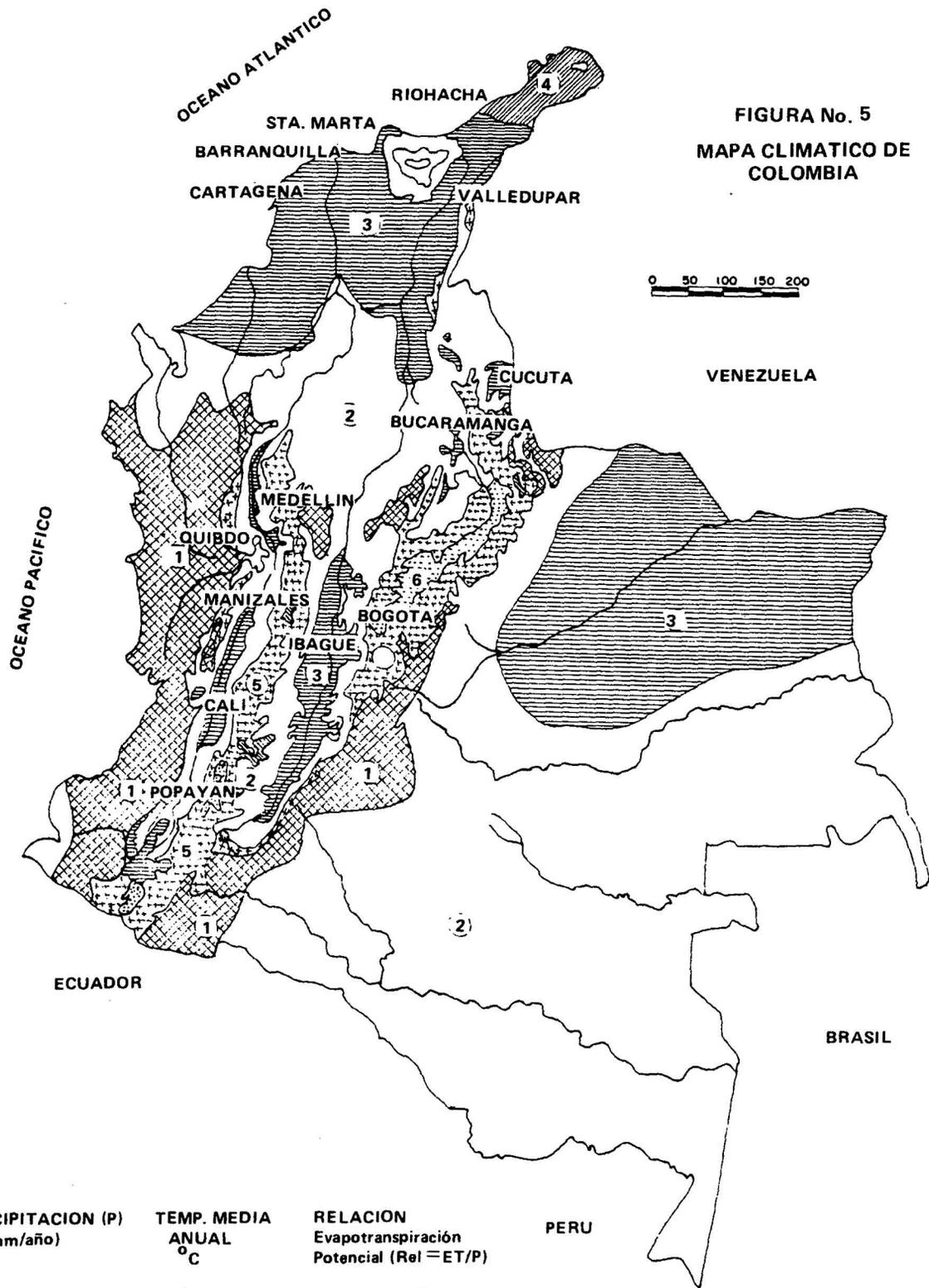


FIGURA No. 5  
MAPA CLIMATICO DE COLOMBIA

	PRECIPITACION (P) (mm/año)	TEMP. MEDIA ANUAL °C	RELACION Evapotranspiración Potencial (Rel = ET/P)
1	Mayor a 400	< 10	Menor a 0.50
2	1000 - 4000	> 17	0.5 a 1.0
3	500 - 2000	> 17	1.0 a 4.0
4	Menor a 500	> 17	2.0 a 10.0
5	500 - 4000	6 - 17	0.12 a 1.00
6	500 - 1000	10 - 17	1.00 a 2.00
7	500 - 2000	< 6	0.12 a 0.50

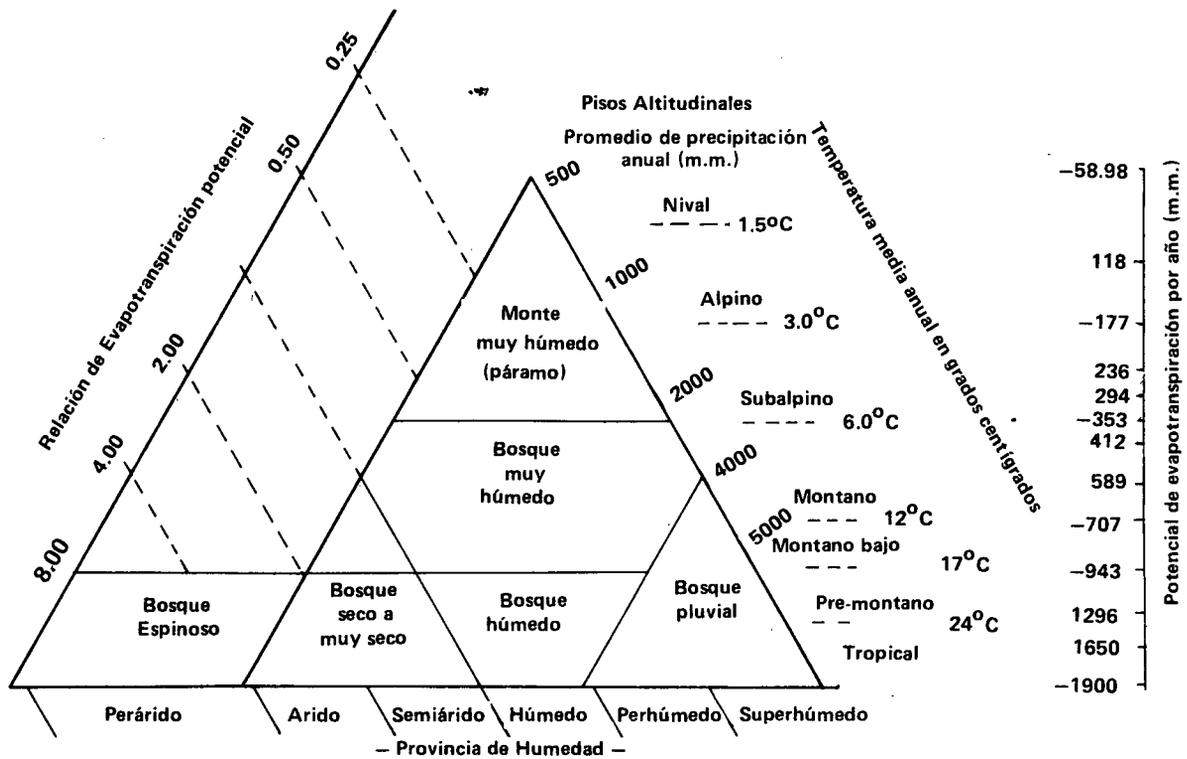


Figura No. 6

6. CONCLUSIONES DEL INVENTARIO

En desarrollo del inventario de deslizamientos con que se dió inicio a la investigación, se hizo un breve reconocimiento y descripción de 227 movimientos. En la Figura No. 7a, se condensa el resultado de este inventario, considerando la proporción de movimien-

tos en suelos transportados, en suelos residuales y en roca, y la contribución de los diferentes terrenos agrupados de manera muy tentativa en cuatro provincias geotécnicas.

En las Figuras Nos. 7b y 7c se grafica para las provincias los diferentes tipos de movimientos, teniendo en cuenta además el tipo de materiales afectados.

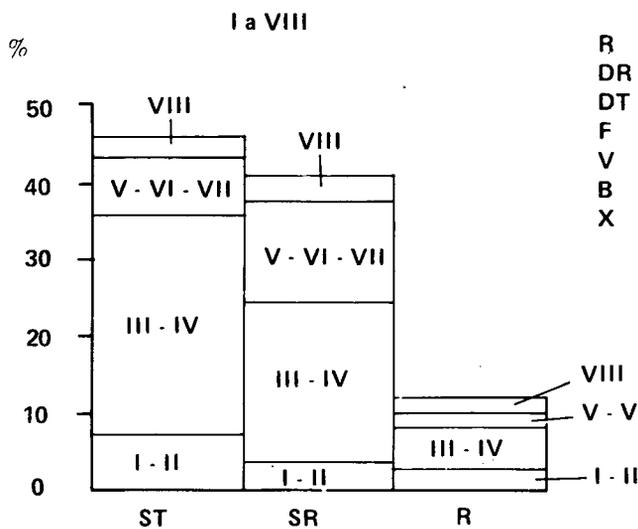


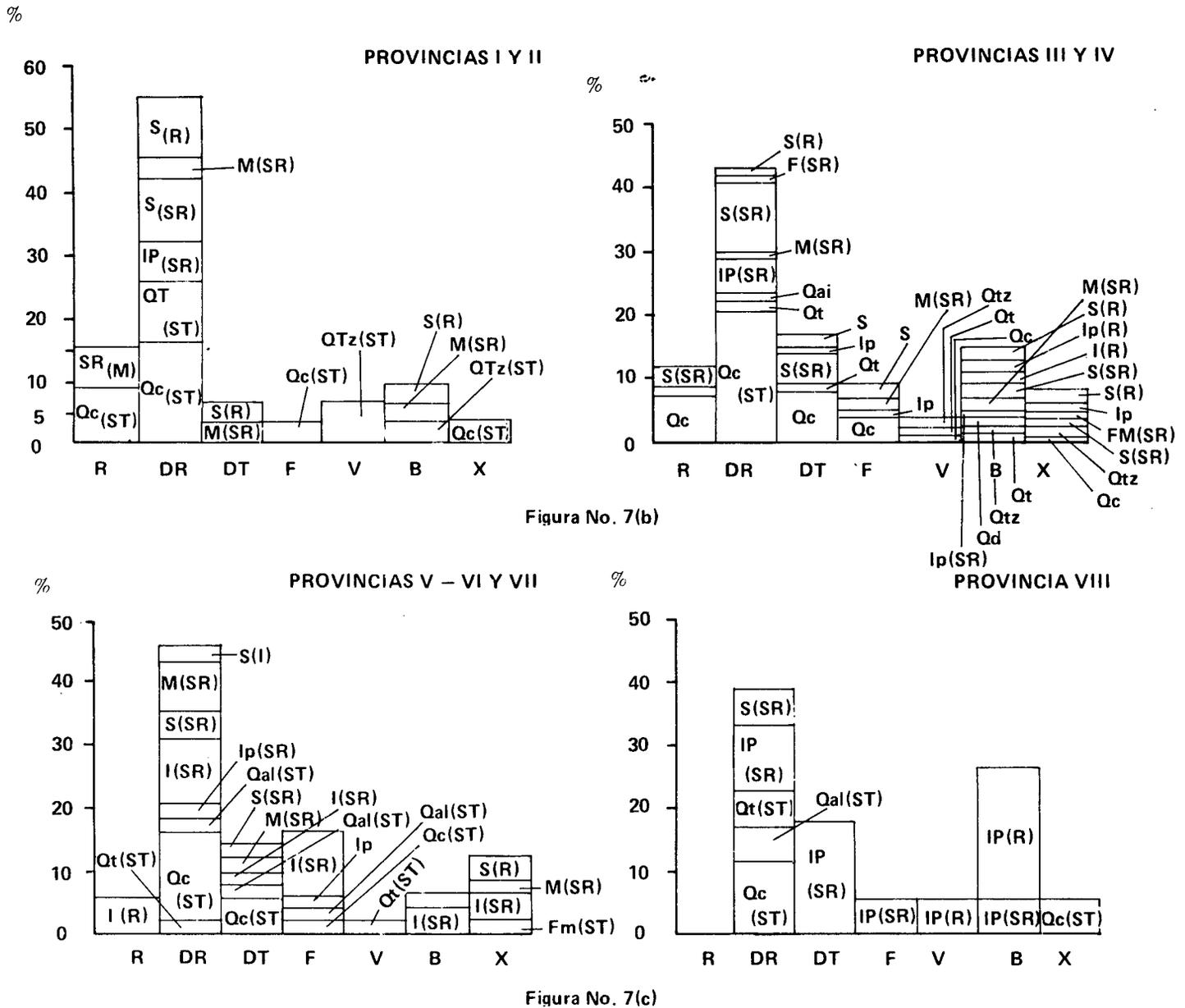
Figura No. 7 (a)

TIPOS DE DESLIZAMIENTOS

- R — reptación
- DR — rotacional
- DT — translacional
- F — flujo
- V — volcamiento
- B — caídos
- X — complejo

SUELOS Y ROCAS

- ST — Suelo transportado
- Qc — coluvión
- Qt — talus
- Qal — aluvial
- QTz — terraza
- Qd — abanico
- Qg — glacial
- SR — Suelo residual
- IP — de roca piroclástica
- M — de roca metamorfica
- S — de roca sedimentaria
- I — de roca ígnea
- FM — de brecha de falla
- R — Roca
- IP — piroclástica
- I — ígnea
- M — metamorfica
- S — sedimentaria
- FM — brecha de falla



De acuerdo con estos resultados y con el conocimiento general que se tiene de las diferentes provincias, se pueden presentar algunas conclusiones, obviamente de tipo muy general, teniendo en cuenta que el estudio se encuentra en una primera etapa.

1. Prácticamente el 90% de los movimientos afectan suelos residuales o transportados, hecho que se explica fácilmente, dado que como se dijo anteriormente, la mayor parte de las carreteras están emplazadas en este tipo de materiales.
2. Los deslizamientos rotacionales constituyen los tipos de movimiento más frecuentes en las carreteras colombianas (entre el 40% y el 60% del total). Afectan preferiblemente los depósitos de coluvión en las provincias sedimentarias del Terciario y Cretáceo, los regolitos de la provincia igneo-volcánica de la Cordillera Central y los coluviones y suelos residuales volcánicos de la provincia cenozoica.

3. Los reptamientos y flujos, a menudo difíciles de diferenciar, afectan por lo general los mismos tipos de materiales de los deslizamientos rotacionales, pero principalmente en zonas de alta concentración de humedad y pendientes topográficas suaves (inferiores a 30%), en la parte baja de los valles. Son más frecuentes en la provincia igneo-volcánica de la Cordillera Central, asociados a la zona superficial de los perfiles de meteorización, es decir el suelo residual y el regolito fino. Son relativamente frecuentes en las provincias sedimentarias donde afectan principalmente los depósitos de coluvión.
4. Los desprendimientos (caídas y volteos o volcamientos) se presentan preferiblemente en taludes y laderas de pendiente fuerte y afectan principalmente las secuencias piroclásticas más consolidadas, las terrazas y los depósitos de talud o talus. Menos frecuentes en macizos cristalinos o volcánicos, débil a moderadamente meteorizados.

Este tipo de movimiento se presenta con mucha frecuencia en la provincia volcánica del Cenozoico, casi la tercera parte, generalmente asociados a las secuencias volcánicas piroclásticas; son relativamente importantes en las provincias sedimentarias donde los taludes tienen fuerte pendiente y se presentan secuencias con alternancias de estratos duros y blandos y en los depósitos de terraza.

5. Los deslizamientos traslacionales ocurren con mayor frecuencia en taludes de pendientes moderadas de rocas cristalinas, sobre las que se han desarrollado saprolitos heterogéneos. Como consecuencia del grado progresivo de la meteorización se presenta una relativa anisotropía en la dirección normal del talud, lo cual permite la separación de masas tabulares que se separan traslacionalmente.

6. Aunque las altas concentraciones de humedad en períodos de lluvias parecen constituir los mecanismos detonantes más frecuentes de los deslizamientos, muchos movimientos se disparan como consecuencia de sismos de diferente intensidad a lo largo de las fallas Romeral, Cauca y Palestina y Frontal de la Cordillera Oriental, además de que a lo largo de esas zonas de convulsión sísmica son más frecuentes los deslizamientos en razón del brechamiento y fracturamiento notable de las rocas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las opiniones y la colaboración prestada durante la elaboración del artículo por el Ing. Alvaro J. González, así como al Ing. Ermín Báez por la preparación de parte del material utilizado.

## BIBLIOGRAFIA

AIIS, (1984), "Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia", Bogotá.

ETAYO S., F., y otros, (1983), "Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia", Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras, INGEOMINAS, Publicación Especial No. 1141, Págs. 1 a 235.

IGAC, (1977), "Atlas de Colombia", Tercera Edición, Bogotá.

MONTERO O., J., (1984), "Algunas Consideraciones Geológicas de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia", Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá.

MOPT, (1985), "Conozcamos el MOPT", Dirección de Relaciones Industriales, Bogotá.

THOURET, J.C., (1981), "Mapa Geomorfoestructural de los Andes Colombianos", Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Bogotá.

U.N., (1986 a), "Manual de Deslizamientos", Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional. Facultad de Ingeniería, IEI, Bogotá.

U.N., (1986 b), "Etapa IA - Inventario de Deslizamientos", Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, Facultad de Ingeniería, IEI, Bogotá.