

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

CVC

CONVENIO CVC-984 INGEOMINAS I-024

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS MINERIA Y

QUIMICA

INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE INGENIERIA GEOAMBIENTAL

VOLUMEN I

ZONIFICACION DE AMENAZAS POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA

EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS BOLO Y FRAILE

VOLUMEN II

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES

DE LA CABECERA MUNICIPAL DE FLORIDA – VALLE DEL CAUCA.

VOLUMEN III

ZONIFICACION DE AMENAZA Y RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES

DE LA CABECERA MUNICIPAL DE PRADERA – VALLE DEL CAUCA

Santa Fe de Bogotá, Mayo de 1998.

CVC

DIRECTOR GENERAL

OSCAR LIBARDO CAMPO VELASCO

SUBDIRECTOR DE GESTION AMBIENTAL

HERNAN RAUL LARA ALVAREZ

INGEOMINAS

DIRECTOR GENERAL

ADOLFO ALARCON GUZMAN

SUBDIRECTOR AREA DE INGENIERIA GEOAMBIENTAL

EDGAR EDUARDO RODRIGUEZ GRANADOS

PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

A raíz de los continuos deslizamientos de tierra ocurridos en las laderas de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca, los registros geológicos e históricos de numerosos y grandes eventos catastróficos producidos por avenidas torrenciales, en conjunto con la intervención antrópica en las cuencas, la CVC y el INGEOMINAS establecieron un convenio técnico científico para identificar y categorizar los fenómenos geológicos amenazantes. La investigación implicó estudiar y establecer el grado de influencia de las variables geoambientales que intervienen en la amenaza, identificar categorizar y cuantificar el peso de los factores detonantes externos de los deslizamientos, zonificar y caracterizar el área en diferentes grados de susceptibilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile y determinar la vulnerabilidad y el riesgo de los cascos urbanos de los municipios de Pradera y Florida, ante la ocurrencia de nuevas avenidas torrenciales.

Para cumplir con estos objetivos el estudio incluyó dos enfoques. Uno regional a escala 1:50.000 que estudia la integralidad de la susceptibilidad y la amenaza en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile y uno local a escala 1:10.000 que evalúa la vulnerabilidad y el riesgo ante avenidas torrenciales en las cabeceras municipales de Pradera y Florida.

Los resultados de estos estudios se muestran en tres volúmenes por separado así:

En el volumen I se presenta la zonificación de amenazas por remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, en el volumen II se presenta la zonificación de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Florida y en el volumen III la zonificación de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Pradera.

PERSONAL PARTICIPANTE

La dirección del proyecto estuvo a cargo del Ingeniero Edgar Rodríguez como subdirector del área de ingeniería Geoambiental, el Dr. Germán Vargas C. Coordinador del programa de “Investigación y Evaluación de Amenazas y Riesgos Geológicos” y del Geólogo Eduardo Castro Marín, como jefe del proyecto.

En la ejecución técnica del proyecto participó un grupo multidisciplinario de profesionales del INGEOMINAS pertenecientes al área de ingeniería Geoambiental de la sede central de Bogotá y las unidades operativas regionales de Cali, Ibagué, Bucaramanga y Medellín. A continuación se relaciona el grupo de trabajo y su tema de participación.

Asesores: Ingeniero Civil Gustavo Silva en hidráulica-hidrometeorología.

Ingeniero Civil Edgar E. Rodríguez en Sismicidad

Geología e Ingeniería Geológica: Geólogos Eduardo Castro Marín ¹ y Manuel Moreno¹
Adriana Agudelo³

Geomorfología: Geólogos Eduardo Castro Marín ¹, Eduardo Parra ².

Torrencialidad: Geólogo Eduardo Parra ¹.

Aspectos Agroecológicos: Agrólogo Ernesto García ¹.

Hidrometeorología: Ingenieras Civiles Liliana Chaparro¹ y Yesica Andrade¹.

Sismicidad: Ingeniero civil Carlos Alvarado ¹

Sistemas de Información Geográfica: Ingeniera de Sistemas Sonia Fonseca ¹.

Cartografía Digital: Ingeniera Sonia Fonseca ¹ e Ingeniero de minas Cesar Cuellar ¹

Modelamientos de Variables: Geólogos Eduardo Castro Marín ¹ y Germán Vargas C.¹

Auxiliares de Geología: Cristina Castellanos³ y Rafael García³.

Evaluación de vulnerabilidad y riesgo: Ingeniero Civil Amilcar Valencia¹

Auxiliares de Ingeniería: Gerardo Motta³, Fabian Murillo³, Harold Hernández³

Aspectos socioeconómicos: Ingeniera Geógrafa María Fernanda Quintero¹.

Como interventor por parte de la CVC participó el Ingeniero Civil Omar Chaves.

¹ Responsable de la ejecución del tema, ² Participante, ³ Colaborador

AGRADECIMIENTOS

El INGEOMINAS y el personal que participó en este estudio agradecen la colaboración prestada por las autoridades y entes municipales de Pradera y Florida, entidades del orden departamental y nacional y a los habitantes de la región.

El jefe del proyecto agradece a todo el grupo de profesionales del INGEOMINAS que con su ardua labor y comprensión, hicieron posible la culminación de este proyecto. Especial mención de agradecimiento se reserva para el ingeniero Civil Omar Chaves, interventor del estudio, por su permanente colaboración y valiosos aportes, así como para la CVC y su sede en Florida, quienes estuvieron atentos a prestar su colaboración durante el desarrollo del proyecto; a la Geóloga Marta Edith Velázquez directora (E) de la Unidad operativa del INGEOMINAS en Cali, por su constante apoyo y amistad incondicional; al ingeniero Nelson Patiño, jefe operativo por su gestión en las actividades administrativas y logísticas del proyecto y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron al feliz término de este.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 1 |
| 1.1.1 GENERALES: | 1 |
| 1.1.2 ESPECÍFICOS: | 1 |
| 1.2 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO | 2 |
| 1.3 ANTECEDENTES. | 4 |
| 1.4 MARCO JURIDICO. | 4 |
| 1.5 ACTIVIDADES DE TRABAJO: | 5 |
| 1.5.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN. | 5 |
| 1.5.2 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES GEOAMBIENTALES | 5 |
| 1.5.2.1 Implementación del S.I.G. | 9 |
| 1.5.2.2 Zonificación de la susceptibilidad. | 9 |
| 1.5.2.3 Factores detonantes y Zonificación de amenazas: | 9 |
| 1.6 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS BOLO Y FRAILE | 9 |
| 1.6.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN | 9 |
| 1.6.1.1 Comunidades indígenas. | 11 |
| 1.6.1.2 Comunidades Negras. | 13 |
| 1.6.1.3 Comunidades Mestizas. | 13 |
| 1.6.2 ASPECTOS ECONÓMICOS. | 13 |
| 1.6.2.1 Sector Agropecuario. | 13 |
| 1.6.2.1.1 Producción pecuaria | 14 |
| 1.6.2.2 Actividad minera. | 15 |
| 2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES GEOAMBIENTALES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA. | 16 |
| 2.1 GEOLOGIA. | 16 |
| 2.1.1 ESTRATIGRAFÍA. | 16 |
| 2.1.1.1.1 Complejo Arquía | 17 |
| 2.1.1.1.2 Complejo Cajamarca (Pzc). | 20 |
| 2.1.1.2 Rocas Mesozoicas. | 22 |
| 2.1.1.2.1 Batolito de Santa Bárbara (PTrcd) | 22 |
| 2.1.1.2.2 Formación Amaime (Jka). | 23 |
| 2.1.1.3 Rocas Terciarias. | 24 |
| 2.1.1.3.1 Formación Vilela (Tcv). | 24 |
| 2.1.1.4 Depósitos inconsolidados del Cuaternario. | 24 |
| 2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. | 25 |
| 2.1.2.1 Fallamiento. | 25 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.1.2.1.1 | Fallas de dirección NNE-SSW. | 25 |
| 2.1.2.1.2 | Lineamientos de dirección ENE-WSW. | 27 |
| 2.1.2.1.3 | Fallas y alineamientos con orientación NW-SE. | 28 |
| 2.1.2.2 | Plegamientos | 28 |
| 2.1.3 | EVOLUCIÓN GEOLÓGICA. | 28 |
| 2.2 | INGENIERIA GEOLOGICA. | 29 |
| 2.2.1 | PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS MATERIALES ROCOSOS. | 30 |
| 2.2.1.1 | Grado de meteorización. | 30 |
| 2.2.1.2 | Discontinuidades. | 30 |
| 2.2.1.3 | Convenciones litológicas. | 32 |
| 2.2.1.4 | Unidad Rac5 (2,3 y 4) | 35 |
| 2.2.1.5 | Unidad Rmd 2,3 (2,3 y 4). | 38 |
| 2.2.1.6 | Unidad Rmd5 (3). | 40 |
| 2.2.1.7 | Unidad Rac2 (6). | 41 |
| 2.2.1.8 | Unidad Rac2 (6). | 43 |
| 2.2.1.9 | Unidad Rmm5 (5). | 43 |
| 2.2.1.10 | Unidad Rac5 (5) | 44 |
| 2.2.1.11 | Unidad Rbm (1). | 45 |
| 2.2.2 | PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS UNIDADES DE SUELO. | 45 |
| 2.2.2.1 | Sedimentos de Cauce mayor de ríos y Quebradas (Al). | 46 |
| 2.2.2.2 | Depósitos Fluviotorrenciales y Conos de Deyección (Qca1, Qca2, Qca3 y Qca4) | 47 |
| 2.2.2.2.1 | Depósitos Qca1. | 47 |
| 2.2.2.2.2 | Depósitos Qca2. | 48 |
| 2.2.2.2.3 | Depósitos Qca3. | 49 |
| 2.2.2.2.4 | Depósitos Qca4. | 50 |
| 2.2.2.3 | Depósitos Coluviales (Sco1, Sco2, Sco3). | 51 |
| 2.2.2.3.1 | Coluviones derivados de esquistos y basaltos (Sco1). | 51 |
| 2.2.2.3.2 | Coluviones derivados de rocas ígneas intrusivas (Sco2). | 52 |
| 2.2.2.3.3 | Coluviones derivados de neises, metagabros y anfibolitas (Sco3). | 52 |
| 2.2.2.4 | Suelos de lavado de laderas (Sla) | 53 |
| 2.2.2.5 | Morrenas (Smo) | 53 |
| 2.2.2.6 | Talus glaciar y depósitos fluvioglaciares (Sta) | 54 |
| 2.2.2.7 | Suelos Residuales (Sr). | 54 |
| 2.3 | GEOMORFOLOGIA | 55 |
| 2.3.1 | MORFOMETRÍA | 55 |
| 2.3.2 | MORFOLOGÍA. | 56 |
| 2.3.2.1 | Unidades Geomorfológicas de Paisaje. | 57 |
| 2.3.2.1.1 | Formas Glaciares Heredadas. | 57 |
| 2.3.2.1.2 | Vertientes Montañosas Altas. | 59 |
| 2.3.2.1.3 | Depresión Tectónica Intermedia. | 60 |
| 2.3.2.1.4 | Colinas de Piedemonte. | 60 |
| 2.3.2.1.5 | Abanicos de Piedemonte y Valle aluvial. | 62 |
| 2.3.2.2 | Unidades Geomorfológicas de Terreno | 63 |
| 2.3.2.2.1 | Formas de Origen Denudacional (D). | 63 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.3.2.2.2 | Formas de Origen Denudacional - Estructural (S). | 66 |
| 2.3.2.2.3 | Formas de Origen Fluvial (F). | 68 |
| 2.3.2.2.4 | Formas de Origen Glaciar y Periglaciar (G). | 70 |
| 2.3.3 | MORFODINÁMICA. | 72 |
| 2.3.3.1 | Tipos de movimientos en masa. | 74 |
| 2.3.3.1.1 | Flujos de suelo. | 74 |
| 2.3.3.1.2 | Deslizamientos Traslacionales de roca. | 74 |
| 2.3.3.1.3 | Deslizamientos Rotacionales de Suelo. | 77 |
| 2.3.3.1.4 | Flujos de Detritos. | 78 |
| 2.3.3.1.5 | Movimientos Lentos. | 79 |
| 2.3.3.2 | Distribución de los Procesos morfodinámicos | 81 |
| 2.3.3.2.1 | Procesos en las formas glaciales heredadas. | 82 |
| 2.3.3.2.2 | Procesos en las vertientes montañosas altas. | 82 |
| 2.3.3.2.3 | Procesos en la depresión intermedia. | 82 |
| 2.3.3.2.4 | Procesos en las colinas de piedemonte. | 83 |
| 2.3.3.2.5 | Procesos en la Unidad de abanicos de Piedemonte. | 84 |
| 2.3.3.3 | Torrencialidad | 85 |
| 2.3.3.3.1 | Evaluación de la Torrencialidad de los ríos Bolo y Fraile. | 85 |
| 2.3.3.3.2 | Estimación Caudales pico y recurrencia. | 94 |
| 2.3.3.3.3 | Indicadores e Instrumentación. | 95 |
| 2.3.3.3.4 | Plan de emergencias por avenidas torrenciales. | 96 |
| 2.3.3.4 | Erosión. | 97 |
| 2.3.3.4.1 | Tipos de Erosión. | 97 |
| 2.3.3.4.2 | Intensidad de Erosión. | 98 |
| 2.3.3.4.3 | Erosión en Zonas Fluviales. | 99 |
| 2.4 | ASPECTOS AGROECOLÓGICOS | 99 |
| 2.4.1 | ESTUDIOS ANTERIORES | 100 |
| 2.4.2 | FORMACIONES VEGETALES O ZONAS DE VIDA NATURAL | 102 |
| 2.4.2.1 | Definición | 102 |
| 2.4.2.2 | Determinación climática | 102 |
| 2.4.2.3 | Metodología de actualización | 103 |
| 2.4.2.3.1 | Ajustes altitudinales parciales | 103 |
| 2.4.2.3.2 | Modificaciones climáticas localizadas | 103 |
| 2.4.2.4 | Descripción de las formaciones vegetales. | 105 |
| 2.4.2.4.1 | Bosque seco tropical (bs-T). | 105 |
| 2.4.2.4.2 | Bosque húmedo premontano (bh-PM). | 105 |
| 2.4.2.4.3 | Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM). | 106 |
| 2.4.2.4.4 | Bosque húmedo montano bajo (bh-MB). | 107 |
| 2.4.2.4.5 | Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). | 107 |
| 2.4.2.4.6 | Bosque muy húmedo montano (bmh-M). | 107 |
| 2.4.2.4.7 | Bosque húmedo montano (bh-M). | 107 |
| 2.4.3 | SUELOS. | 108 |
| 2.4.3.1 | Ambientes y propiedades de los suelos. | 108 |
| 2.4.3.2 | Códigos, rangos y denominaciones de propiedades de los suelos. | 110 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.4.3.2.1 | Asociación La Diana (D). | 110 |
| 2.4.3.2.2 | Asociación San Cayetano (C). | 111 |
| 2.4.3.2.3 | Asociación Pedregal (P). | 111 |
| 2.4.3.2.4 | Asociación Palmera (L). | 112 |
| 2.4.3.2.5 | Asociación Mirador (M). | 112 |
| 2.4.3.2.6 | Asociación Silvania (S). | 112 |
| 2.4.3.2.7 | Asociación Retiro (R). | 113 |
| 2.4.3.2.8 | Asociación Los Abanicos (A). | 113 |
| 2.4.3.2.9 | Asociación El Aluvial (Q). | 113 |
| 2.4.4 | UNIDADES DE USO ACTUAL Y COBERTURA VEGETAL. | 114 |
| 2.4.4.1 | Bosques y áreas de manejo especial. | 114 |
| 2.4.4.1.1 | Bosque natural subpáramo a páramo alto (BP). | 114 |
| 2.4.4.1.2 | Praderas naturales de páramo (PP). | 115 |
| 2.4.4.1.3 | Bosque natural tropical a andino (BA). | 115 |
| 2.4.4.1.4 | Praderas tropicales a andinas (PA). | 115 |
| 2.4.4.1.5 | Rastrojos y matorrales (RA). | 117 |
| 2.4.4.1.6 | Bosque plantado (BL). | 117 |
| 2.4.4.2 | Tierras en Cultivos. | 118 |
| 2.4.4.2.1 | Cultivos permanentes y semipermanentes (CP). | 118 |
| 2.4.4.2.2 | Cultivos temporales y limpios (CT). | 119 |
| 2.4.4.3 | Otros Usos o Coberturas | 119 |
| 2.4.4.3.1 | Cuerpos naturales de agua (AN). | 119 |
| 2.4.4.3.2 | Áreas erosionadas (AD). | 120 |
| 2.4.4.3.3 | Misceláneo rocoso (MR). | 121 |
| 2.4.4.3.4 | Zonas Urbanas e Infraestructura (UI) | 122 |
| 2.4.5 | UNIDADES DE USO POTENCIAL | 123 |
| 2.4.5.1 | Zonas de reserva natural de páramo (RN). | 123 |
| 2.4.5.2 | Bosque protector (B3). | 124 |
| 2.4.5.3 | Bosque protector-productor (B2) | 125 |
| 2.4.5.4 | Bosque productor (B1). | 125 |
| 2.4.5.5 | Praderas tropicales a andinas (PA). | 125 |
| 2.4.5.6 | Rastrojos y matorrales (RA). | 126 |
| 2.4.5.7 | Cultivos permanentes, semipermanentes y frutales (CP). | 126 |
| 2.4.5.8 | Cultivos temporales y limpios (CT). | 126 |
| 2.4.5.9 | Áreas para tratamiento (AT) | 127 |
| 2.4.5.10 | Zonas urbanas e infraestructura (UI). | 127 |
| 2.4.6 | CONFLICTO DE USO | 127 |
| 2.4.6.1 | Conflicto de uso de grado Alto | 128 |
| 2.4.6.1.1 | Situación ambiental de la reserva natural de páramo | 130 |
| 2.4.6.1.2 | Situación ambiental del bosque protector | 130 |
| 2.4.6.1.3 | Situación ambiental de las áreas aptas para bosque protector - productor | 131 |
| 2.4.6.1.4 | Situación ambiental de las áreas aptas para bosque productor | 132 |
| 2.4.6.1.5 | Situación ambiental de las praderas tropicales a andinas. | 132 |
| 2.4.6.1.6 | Situación ambiental de las áreas a proteger con cobertura de rastrojos | 133 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.4.6.1.7 | Situación ambiental de las áreas aptas para cultivos permanentes | 133 |
| 2.4.6.1.8 | Situación ambiental de las áreas delimitadas para tratamiento | 134 |
| 2.4.6.2 | Conflicto de uso de grado medio. | 134 |
| 2.4.6.2.1 | Situación ambiental de las áreas en conflicto medio | 135 |
| 2.4.6.3 | Conflicto de uso de grado bajo. | 135 |
| 2.4.6.3.1 | Situación ambiental de las áreas en conflicto bajo | 135 |
| 2.4.6.4 | Areas sin conflicto de uso . | 136 |

3 ZONIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR REMOCION EN MASA **137**

| | | |
|------------|--|------------|
| 3.1 | METODOLOGIA | 138 |
| 3.1.1 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO. | 138 |
| 3.2 | ANALISIS DE LOS PARAMETROS DEL TERRENO. | 151 |
| 3.2.1 | PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA. | 151 |
| 3.2.2 | MORFOMETRÍA. | 152 |
| 3.2.3 | INGENIERÍA GEOLÓGICA. | 152 |
| 3.2.4 | GEOMORFOLOGÍA. | 152 |
| 3.2.5 | CONFLICTOS. | 152 |
| 3.3 | GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD | 153 |
| 3.3.1 | MUY BAJA A NULA. | 153 |
| 3.3.2 | BAJA. | 153 |
| 3.3.3 | MODERADA. | 153 |
| 3.3.4 | ALTA. | 154 |
| 3.3.5 | MUY ALTA. | 154 |

4 ANALISIS DE LOS FACTORES DETONANTES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA **155**

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.1 | HIDROMETEOROLOGÍA | 155 |
| 4.1.1 | HIDROLOGIA DE LOS RIOS BOLO Y FRAILE. | 155 |
| 4.1.2 | INFORMACION ANALIZADA. | 155 |
| 4.1.2.1 | Cartografía. | 155 |
| 4.1.2.2 | Clima y Pluviometría. | 158 |
| 4.1.3 | HIDROMETRÍA. | 159 |
| 4.1.3.1 | Río Bolo. | 159 |
| 4.1.3.1.1 | Morfometría. | 159 |
| 4.1.3.1.2 | Lluvia media anual. | 163 |
| 4.1.3.1.3 | Clima. | 163 |
| 4.1.3.1.4 | Lluvias de corta duración. Análisis de Intensidad-duración-frecuencia. | 165 |
| 4.1.3.1.5 | Lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días. | 169 |
| 4.1.3.1.6 | Caudal medio anual. | 170 |
| 4.1.3.1.7 | Crecientes. | 172 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.1.3.2 | Rio Fraile. | 176 |
| 4.1.3.2.1 | Morfometría. | 176 |
| 4.1.3.3 | Lluvia media anual. | 176 |
| 4.1.3.3.1 | Clima. | 176 |
| 4.1.3.3.2 | Lluvias de corta duración. Análisis de Intensidad-duración-frecuencia. | 178 |
| 4.1.3.3.3 | Lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días. | 179 |
| 4.1.3.3.4 | Crecientes. | 179 |
| 4.1.4 | RELACION LLUVIA DESLIZAMIENTOS. | 180 |
| 4.1.4.1 | Alcance | 181 |
| 4.1.4.2 | Metodología | 181 |
| 4.1.4.2.1 | Recopilación de Información | 181 |
| 4.1.4.2.2 | Procesamiento de la Información | 183 |
| 4.1.4.2.3 | Resultados | 183 |
| 4.1.4.3 | Relacion lluvia-deslizamiento | 183 |
| 4.1.4.3.1 | Categorías de precipitación crítica. | 187 |
| 4.2 | SISMICIDAD REGIONAL Y LOCAL | 195 |
| 4.2.1 | INFORMACION EXISTENTE | 195 |
| 4.2.2 | IINVENTARIO DE EVENTOS SISMICOS | 195 |
| 4.2.2.1 | Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), del INGEOMINAS. | 195 |
| 4.2.2.2 | Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO), Universidad del Valle. | 196 |
| 4.2.2.3 | National Earthquake Information Center (NEIC). | 196 |
| 4.2.3 | FUENTES SISMOGENICAS | 201 |
| 4.2.3.1 | Fuentes sismogenicas a nivel regional | 201 |
| 4.2.3.1.1 | Zona de Subducción de la Placa de Nazca y de Benioff | 201 |
| 4.2.3.1.2 | Falla Bahía Solano | 204 |
| 4.2.3.1.3 | Falla Cauca | 204 |
| 4.2.3.1.4 | Falla Romeral | 204 |
| 4.2.3.1.5 | Fallas del Magdalena | 205 |
| 4.2.3.1.6 | Falla Frontal de la Cordillera Oriental | 205 |
| 4.2.3.1.7 | Falla Ibagué | 205 |
| 4.2.3.1.8 | Falla Garrapatas | 206 |
| 4.2.3.2 | Fuentes sismogenicas a nivel local | 206 |
| 4.2.4 | RECURRENCIA DE MAGNITUDES | 210 |
| 4.2.4.1 | A nivel regional | 210 |
| 4.2.4.2 | A nivel local | 210 |
| 4.2.4.2.1 | Asignación de Eventos a las Fuentes Sismogénicas | 210 |
| 4.2.4.2.2 | Análisis de Completitud | 226 |
| 4.2.4.2.3 | Recurrencia | 226 |
| 4.2.5 | ATENUACION DE ACELERACIONES | 229 |
| 4.2.6 | EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA | 248 |
| 4.2.6.1 | A nivel regional | 248 |
| 4.2.6.2 | A nivel local | 248 |
| 4.2.7 | ZONIFICACION SISMICA | 251 |

5 ZONIFICACION DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA **256**

| | | |
|------------|---------------------------------------|------------|
| 5.1 | METODOLOGIA | 257 |
| 5.2 | CATEGORÍAS DE AMENAZA RELATIVA | 261 |
| 5.2.1 | AMENAZA POR PRECIPITACIÓN (HP). | 261 |
| 5.2.1.1 | Muy baja. | 261 |
| 5.2.1.2 | Baja. | 261 |
| 5.2.1.3 | Moderada. | 261 |
| 5.2.1.4 | Alta. | 263 |
| 5.2.1.5 | Muy Alta | 263 |
| 5.2.2 | AMENAZA POR SISMICIDAD (HS) | 263 |
| 5.2.2.1 | Muy baja a Nula. | 263 |
| 5.2.2.2 | Baja. | 263 |
| 5.2.2.3 | Moderada. | 264 |
| 5.2.2.4 | Alta. | 264 |
| 5.2.2.5 | Muy Alta | 264 |
| 5.2.3 | AMENAZA TOTAL (HT). | 265 |
| 5.2.3.1 | Muy Baja a Nula. | 265 |
| 5.2.3.2 | Baja. | 265 |
| 5.2.3.3 | Moderada. | 265 |
| 5.2.3.4 | Alta. | 265 |
| 5.2.3.5 | Muy Alta | 266 |

6 CONCLUSIONES. **267**

7 RECOMENDACIONES **270**

8 BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1.5.1 Características de las líneas de vuelo que cubren las cuencas de los ríos Bolo y Fraile..... | 6 |
| Tabla 1.6.1 Distribución espacial por corregimiento cuenca del río Fraile..... | 10 |
| Tabla 1.6.2 Distribución espacial por corregimiento cuenca del río Bolo..... | 11 |
| Tabla 1.6.3 Distribución territorial comunidades indígenas Paeces cuenca del Río Fraile.. | 12 |
| Tabla 1.6.4 Asentamientos Indígenas cuenca del río Bolo..... | 12 |
| Tabla 2.2.1 Clasificación de materiales rocosos..... | 31 |
| Tabla 2.2.2 Clasificación de suelos y depósitos..... | 32 |
| Tabla 2.2.3 Perfil de meteorización. Modificado de Dearman (1974)..... | 33 |
| Tabla 2.2.4 Índices de espaciamiento, persistencia y abertura de diaclasas (MATULA, 1981)..... | 34 |
| Tabla 2.2.5. Formaciones de roca con la convención utilizada en el mapa de ingeniería.... | 34 |
| Tabla 2.2.6 Clasificación granulométrica de rocas trituradas. Unidad Rac5 (2, 3 y 4). | 36 |
| Tabla 2.2.7 Rango de dirección de diaclasas de la unidad geotécnica Rm 2,3 (3, 4). | 39 |
| Tabla 2.2.8 Resumen de resultados de los ensayos básicos de clasificación de suelos..... | 42 |
| Tabla 2.3.1 Intervalos de pendientes..... | 56 |
| Tabla 2.3.2 Clasificación de procesos de remoción en masa, Varnes 1958..... | 73 |
| Tabla 2.4.1 Distribución y usos del suelo. (CVC 1977)..... | 100 |
| Tabla 2.4.2 Resumen de propiedades de las asociaciones de suelo..... | 109 |
| Tabla 2.4.3 Códigos, rangos y denominaciones de propiedades de los suelos..... | 110 |
| Tabla 2.4.4 Esquema explicativo del tipo y grado de conflicto de uso del suelo..... | 129 |
| Tabla 3.1 Cálculo estadístico del peso o susceptibilidad de las unidades morfológicas hacia los procesos de remoción en masa..... | 140 |
| Tabla 3.2 Cálculo estadístico de los tipos de pendientes hacia los procesos de remoción en masa..... | 141 |
| Tabla 3.3 Cálculo estadístico del peso de las unidades de ingeniería hacia los procesos de remoción en masa..... | 142 |
| Tabla 3.4 Cálculo estadístico del peso de las unidades de conflicto de uso hacia los procesos de remoción en masa..... | 143 |
| Tabla 3.5 Categorías de Susceptibilidad..... | 151 |
| Tabla 4.1.1 Características morfométricas del Río Bolo..... | 157 |
| Tabla 4.1.2 Características morfométricas del Río Bolo..... | 158 |
| Tabla 4.1.3 Información de estaciones hidrometereológicas..... | 160 |
| Tabla 4.1.4 Información de estaciones hidrometereológicas seleccionadas para el análisis..... | 161 |
| Tabla 4.1.5 Precipitaciones máximas acumuladas de 1 hasta 90 días..... | 167 |
| Tabla 4.1.5 Precipitaciones máximas acumuladas de 1 hasta 90 días. (continuación)..... | 168 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.1.6 Caudales calculados para el sector urbano de Florida y Pradera..... | 174 |
| Tabla 4.1.7 Análisis de crecientes para el sector urbano de Pradera y Florida..... | 175 |
| Tabla 4.1.8 Inventario de deslizamientos ocurridos el 31 de enero de 1994, cuencas de los ríos Santa Barbara y Q. San Antonio y La Cristalina. Fuente CVC..... | 184 |
| Tabla 4.1.8 Inventario de deslizamientos ocurridos el 31 de enero de 1994, cuencas de los ríos Santa Barbara y Q. San Antonio y La Cristalina. Fuente CVC. (Continuación)..... | 185 |
| Tabla 4.1.9 Estaciones pluviométricas..... | 186 |
| Tabla 4.1.10 Distribución espacial de la precipitación crítica..... | 187 |
| Tabla 4.2.1 Inventario de sismos desde 1566 hasta junio de 1995..... | 197 |
| Tabla 4.2.2 Inventario de sismos desde 1566 hasta junio de 1995..... | 198 |
| Tabla 4.2.3 Inventario de sismos desde 1566 hasta junio de 1995..... | 200 |
| Tabla 4.2.4 Parámetros de las regresiones para $M_s \geq 3$ corredor de 60 Km. ventana 1957-1995..... | 211 |
| Tabla 4.2.5 Parámetros de las regresiones para $M_s \geq 3$ corredor de 60 Km. ventana 1957-1995..... | 212 |
| Tabla 4.2.6 Fuentes sísmicas para asignación de eventos..... | 218 |
| Tabla 4.2.7 Eventos sísmicos asociados a las fuentes..... | 219 |
| Tabla 4.2.8 Análisis de completitud (método de step)..... | 228 |
| Tabla 4.2.9 Análisis de completitud frecuencia de magnitudes para $R \leq 100$ | 230 |
| Tabla 4.2.10 Sismos asociados a las falla Calima..... | 232 |
| Tabla 4.2.11 Sismos asociados a las falla Cauca..... | 233 |
| Tabla 4.2.12 Sismos asociados a las falla Romeral..... | 234 |
| Tabla 4.2.13 Sismos asociados a las falla Ibagué..... | 235 |
| Tabla 4.2.14 Sismos asociados a las falla Magdalena..... | 236 |
| Tabla 4.2.15 Sismos asociados a las falla Beniof intermedia..... | 237 |
| Tabla 4.2.16 Sismos asignados más posibles asignados a la falla Calima..... | 238 |
| Tabla 4.2.17 Sismos asignados más posibles asignados a la falla Cauca..... | 239 |
| Tabla 4.2.18 Sismos asignados más posibles asignados a la falla Beniof intermedia..... | 240 |
| Tabla 4.2.19 Resumen análisis de recurrencia a nivel local..... | 241 |
| Tabla 4.2.20 Versión bajo EQRISK..... | 252 |
| Tabla 4.2.21 Versión bajo FRISK..... | 253 |
| Tabla 5.1 Categorías de susceptibilidad..... | 257 |
| Tabla 5.2 Magnitud de los movimientos de remoción en masa..... | 258 |
| Tabla 5.3 Grado de intensidad de erosión..... | 258 |
| Tabla 5.4 Grado de intensidad de la erosión..... | 259 |
| Tabla 5.5 Grado de Amenaza sísmica..... | 259 |
| Tabla 5.6 Categorías de Amenaza..... | 260 |
| Tabla 5.7 Areas y porcentaje de sectores afectados por amenaza por procesos de remoción en masa..... | 262 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1.2.1 Localización del área de estudio | 3 |
| Figura 1.5.1 Ubicación de líneas de vuelo | 7 |
| Figura 1.5.2. Diagrama metodológico de zonificación de amenaza por deslizamiento de la cuenca de los ríos Bolo y Fraile INGEOMINAS-CVC. Modificado de Vargas G. 1994 | 8 |
| Figura 2.3.1 Unidades geomorfológicas de paisaje | 58 |
| Figura 2.4.1 Formaciones vegetales o zonas de vida natural. | 106 |
| Figura 3.1 Mapas de susceptibilidad geomorfológica a procesos de remoción en masa | 144 |
| Figura 3.2 Mapas de susceptibilidad de pendientes a procesos de remoción en masa | 145 |
| Figura 3.3 Mapas de susceptibilidad de ingeniería geológica a procesos de remoción en masa | 146 |
| Figura 3.4 Mapas de susceptibilidad de conflictos de uso a procesos de remoción en masa | 147 |
| Figura 3.5 Mapas de susceptibilidad total del terreno a flujos de detritos | 148 |
| Figura 3.6 Mapas de susceptibilidad total del terreno a flujos de suelo | 149 |
| Figura 3.7 Mapas de susceptibilidad total del terreno a deslizamientos | 150 |
| Figura 4.1.1 Subcuencas hidrográficas de los ríos Bolo y Fraile | 156 |
| Figura 4.1.2 Mapa hidrológico | 162 |
| Figura 4.1.3 Lluvias medias mensuales en la cuenca de los Río Bolo y Fraile. | 163 |
| Figura 4.1.4 Temperatura media mensual y extremas absolutas (°C). Estacion ICA-Palmira. | 164 |
| Figura 4.1.5 Evaporación potencial. Estacion ICA-Palmira. | 165 |
| Figura 4.1.6 Variación mensual de la humedad relativa (%). Estación Palmira. | 166 |
| Figura 4.1.7 Curvas de intensidad duración frecuencia. Cuencas de los Ríos y Bolo y Fraile. | 170 |
| Figura 4.1.8 Caudales medios mensuales, m ³ /s. Río Bolo. | 171 |
| Figura 4.1.9 Temperatura media mensual y extremas absolutas (°C). Estación Cenicaña-Florida | 177 |
| Figura 4.1.10 Diagrama Metodológico para l determinar la relación lluvia-deslizamiento. | 182 |
| Figura 4.1.11 Lluvia total anual (1976-1995). Estación Cajones. | 188 |
| Figura 4.1.12 Lluvias medias mensuales (1973-1995). Estación Cajones. | 189 |
| Figura 4.1.13 Precipitación mensual (1993-1994). Estación Cajones. | 190 |
| Figura 4.1.14 Precipitación total acumulada Estación Cajones. | 191 |
| Figura 4.1.15 Valores extremos de lluvia acumulada. Estación Cajones. | 192 |
| Figura 4.1.16 Curva de precipitación y frecuencia. Estación Cajones. | 193 |
| Figura 4.2.1 Mapa de isosistas. Sismo de Paez | 202 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.2.2 Fuentes sismogénicas a nivel regional | 203 |
| Figura 4.2.3 Fuentes sismogénicas, zona de influencia R=100 y 200 Km. | 207 |
| Figura 4.2.4 Fuentes sismogénicas, zona de influencia local | 208 |
| Figura 4.2.5 Corte W-E Vs. profundidad | 209 |
| Figura 4.2.6 Eventos sísmicos asociados a la zona de subducción | 113 |
| Figura 4.2.7 Eventos sísmicos asociados a la zona de Benioff intermedia | 113 |
| Figura 4.2.8 Eventos sísmicos asociados a la zona de Beniof profunda | 114 |
| Figura 4.2.9 Eventos sísmicos asociados a la falla de Bahía Solano | 114 |
| Figura 4.2.10 Eventos sísmicos asociados a la falla de Cauca | 115 |
| Figura 4.2.11 Eventos sísmicos asociados a la falla de Romeral | 115 |
| Figura 4.2.12 Eventos sísmicos asociados a las falla del Magdalena | 116 |
| Figura 4.2.13 Eventos sísmicos asociados a la zona frontal de la cordillera oriental | 116 |
| Figura 4.2.14 Eventos sísmicos asociados a la falla de Garrapatas | 117 |
| Figura 4.2.15 Eventos sísmicos asociados a la falla de Ibagué | 117 |
| Figura 4.2.16 Análisis de completitud método de step | 227 |
| Figura 4.2.17 Recurrencia de magnitudes basada en completitud | 231 |
| Figura 4.2.18 Recurrencia de magnitudes Falla Calima | 242 |
| Figura 4.2.19 Recurrencia de magnitudes Falla del Cauca | 243 |
| Figura 4.2.20 Recurrencia de magnitudes y sismos asignados al stma. de fallas de Romeral | 244 |
| Figura 4.2.21 Recurrencia de magnitudes y sismos asignados falla Ibagué- Cucuana | 245 |
| Figura 4.2.22 Recurrencia de magnitudes y sismos asignados falla del Magdalena | 246 |
| Figura 4.2.23 Recurrencia de magnitudes fuente Beniof intermedia | 247 |
| Figura 4.2.24 Amenaza sísmica a nivel regional | 249 |
| Figura 4.2.25 Valores de Aa (%g) a nivel regional | 250 |
| Figura 4.2.26 Curvas de isoaceleraciones (%g) a nivel local | 254 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 2.2.1. Unidad Rac5 (2,3,4). Néises anfibólicos del Complejo Bolo Azul, triturados por efecto de la Falla El Retiro, generando Flujos de Detritos. Cuenca del Río Santa Bárbara..... | 37 |
| Fotografía 2.2.2. Néises anfibólicos moderadamente meteorizados, mostrando el patrón típico de diaclasamiento en bloques prismáticos paralelos a la ladera, originando deslizamientos de roca planares..... | 39 |
| Fotografía 2.2.3. Patrón típico de diaclasamiento en bloques prismáticos y cuñas en néises anfibólicos moderadamente meteorizados. El martillo indica una zona de trituramiento dejada por el paso de la Falla de Buenavista. | 40 |
| Fotografía 2.2.4 Contacto intrusivo entre rocas igneas y metamórficas. Las primeras (cuarzodioritas biotíticas moderada a débilmente meteorizadas) forman escarpes dentados y los esquistos desarrollan laderas empinadas cubiertas por delgados depósitos coluviales. | 44 |
| Fotografía 2.2.5. Cantera cerca al sitio La Diana, conformada por lavas basálticas almohadilladas trituradas. Nótese la presencia de desprendimientos de roca. Cuenca del Río Fraile. | 46 |
| Fotografía 2.2.6. Cono aluvial antiguo (Qca1), afectado por intensa erosión difusa y en surcos (tierras malas). Cuenca del río Fraile..... | 48 |
| Fotografía 2.3.1. Remanente de terraza Fluvioglacial en Vertientes montañosas altas, Río Bolo Azul. | 59 |
| Fotografía 2.3.2. Morfología de la depresión tectónica intermedia en la cuenca del río Bolo. Vista de Norte a Sur..... | 61 |
| Fotografía 2.3.3. Morfología de colinas redondeadas en el Piedemonte cordillerano..... | 62 |
| Fotografía 2.3.4. Deslizamiento activo en pendientes denudadas, Quebrada Bolo Azul (Margen derecha) sitio La Esperanza (2800 m.s.n.m.). se observan problemas de reptación y flujos de suelo menores..... | 64 |
| Fotografía 2.3.5. Zona altamente inestable cerca de la confluencia de la Quebrada Mendoza y El Río Bolo Azul. Se aprecian coronas antiguas y recientes de desprendimientos rotacionales con sus respectivas zonas de acumulación. | 65 |
| Fotografía 2.3.6. Zonas escarpadas con Talus glaciares (T) y conos de detritos generados por desprendimientos de rocas (cuarzodioritas) a lo largo de planos de discontinuidades. Se aprecian salientes de roca o Horns (H), misceláneo rocoso y bosques. Páramo de las Hermosas..... | 66 |
| Fotografía 2.3.7. Vereda La Rivera (San Isidro). Se observan pendientes estructurales en rocas de esquistos. | 67 |
| Fotografía 2.3.8. Morrena terminal en la Quebrada Guayabal. | 70 |

| | |
|--|-----|
| Fotografía 2.3.9. Depósito de relleno Lagunar en el nacimiento de la Quebrada Colón. | 71 |
| Fotografía 2.3.10. Flujos de suelo y lodo que afectan zonas de pendientes altas, en la vereda Granates. (Cuenca del río Fraile)..... | 75 |
| Fotografía 2.3.11. Flujos de suelo y lodo en la Quebrada Colón (Río Fraile) por efecto de lluvias concentradas del 20 de enero de 1997. | 75 |
| Fotografía 2.3.12. Flujos de suelo y lodo en la carretera Florida-Granates, margen derecha del río Fraile..... | 76 |
| Fotografía 2.3.13. Cicatriz de flujo de suelo revegetalizado en la margen izquierda de la Quebrada Los Caleños..... | 77 |
| Fotografía 2.3.14. Deslizamiento profundo activo en lavas basálticas en el sitio La cima, Río Bolo (Q. La Maltina) de dimensiones 120x100x10 m= 120.000 m ³ | 78 |
| Fotografía 2.3.15. Flujo de detritos en la vía al oriente de Los Caleños..... | 79 |
| Fotografía 2.3.16. Flujos de detritos y cárcavas en la Quebrada El Pato, afluente del Río Bolo Blanco. | 80 |
| Fotografía 2.3.17. Terracetos y reptación en las vertientes de la Quebrada Bolívar. | 81 |
| Fotografía 2.3.18. Cicatrices de deslizamientos en la unidad de colinas de piedemonte..... | 84 |
| Fotografía 2.3.19. Barra torrencial con bloques cubiertos por líquenes negros, que le dan una tonalidad oscura a las rocas..... | 88 |
| Fotografía 2.3.20. Niveles de terrazas torrenciales en el sitio El Cajón..... | 90 |
| Fotografía 2.3.21. Depósitos torrenciales de El Cajón, destapados por flujo de suelo. | 91 |
| Fotografía 2.3.22. Depósitos torrenciales cubiertos por limos de desborde..... | 91 |
| Fotografía 2.3.23. Depósitos torrenciales de la Quebrada Cristalina y río Bolo Azul..... | 93 |
| Fotografía 2.4.1. Suelos reptantes bajo frutales, Inspección la Diana. | 111 |
| Fotografía 2.4.2. Bosques en cañadas del Río Fraile con deslizamientos en suelos bajo cultivos temporales..... | 116 |
| Fotografía 2.4.3. Pradera natural andina con erosión en pata de vaca, cuenca del río Santa Barbara. | 118 |
| Fotografía 2.4.4. Cultivos en terrazas, confluencia de los ríos Fraile-Santa Barbara..... | 119 |
| Fotografía 2.4.5. Laguna Guayabal, cabecera Quebrada Guayabal, afluente del Río Santa Bárbara..... | 121 |
| Fotografía 2.4.6. Desprendimientos generalizados en suelos bajo cultivos, bosques y praderas , aguas arriba de Granates en la cuenca de río Fraile. | 122 |
| Fotografía 2.4.7. Reserva natural de Páramo en Peñas Blancas, hacia el extremo suroriental del área de estudio, río Fraile..... | 124 |

LISTA DE MAPAS

- Mapa 1** Mapa de ubicación de muestras de roca, suelo y torrencialidad (escala 1:50.000).
- Mapa 2** Mapa Geológico (escala 1:50.000).
- Mapa 3** Mapa de Ingeniería geológica (escala 1:50.000).
- Mapa 4** Mapa de pendientes (escala 1:50.000).
- Mapa 5** Mapa Geomorfológico (escala 1:50.000).
- Mapa 6** Mapa Morfodinámico (escala 1:50.000).
- Mapa 7** Mapa de densidad de procesos morfodinámicos (escala 1:50.000).
- Mapa 8** Mapa de intensidad de erosión (escala 1:50.000).
- Mapa 9** Mapa de suelos (escala 1:50.000).
- Mapa 10** Mapa de uso actual del suelo (escala 1:50.000).
- Mapa 11** Mapa de uso potencial del suelo (escala 1:50.000).
- Mapa 12** Mapa de conflictos de uso del suelo (escala 1:50.000).
- Mapa 13** Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile (escala 1:50.000).
- Mapa 14** Mapa de precipitación crítica (escala 1:50.000).
- Mapa 15** Mapa de Zonificación de Amenaza sísmica local (escala 1:50.000).
- Mapa 16** Mapa de amenazas por procesos de remoción en masa detonados por lluvias (escala 1:50.000).
- Mapa 17** Mapa de amenazas por procesos de remoción en masa detonados por sismicidad (escala 1:50.000).
- Mapa 18** Mapa de amenazas por procesos de remoción en masa detonados por lluvias y sismos (escala 1:50.000).

ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS BOLO Y FRAILE

1 INTRODUCCION

Este documento contiene los resultados del estudio de los aspectos geoambientales actuales, capaces de producir avenidas torrenciales en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile y que han ocasionado pérdidas económicas en las cabeceras municipales de Pradera y Florida, Valle del Cauca. El trabajo se sustenta en el análisis de los factores geológicos, climáticos y de sismicidad, que combinados se plasman en mapas de amenaza por remoción en masa para las cuencas mencionadas.

Las principales conclusiones y recomendaciones para reducir los niveles potenciales de amenaza existentes se presentan al final de este volumen. El informe también va acompañado de fotografías, tablas y esquemas que sustentan el trabajo, así como de mapas a escala 1:50.000, con su respectivo archivo magnético en AUTOCAD y las bases de datos en Sistemas de Información Geográfica ARC-INFO.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Generales:

Zonificar la Amenaza por procesos de remoción en masa en las cuencas de los Ríos Bolo y Fraile a escala regional (1:50.000)

1.1.2 Específicos:

- Evaluar y obtener mapas de las variables geoambientales que intervienen en la generación de procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile: Geología, ingeniería geológica, morfología, morfodinámica (deslizamientos, torrencialidad, erosión), hidrología (lluvias, isoyetas, caudales), aspectos agroecológicos (suelos, uso actual y cobertura vegetal, uso potencial y conflictos de uso). Todos a escala 1:50.000

- Categorizar el área en zonas homogéneas de susceptibilidad por remoción en masa de las cuencas.
- Analizar los factores detonantes que intervienen en la amenaza (precipitación y sismicidad).
- Obtener mapas de amenaza por procesos de remoción en masa de las cuencas.

1.2 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

Las cuencas de los ríos Bolo y Fraile ubicadas en el extremo suroriental del departamento del Valle del Cauca, hacen parte de la vertiente occidental de la Cordillera Central de Colombia, entre las coordenadas geográficas: $76^{\circ} 02'$ - $76^{\circ} 15'$ de longitud oeste y $3^{\circ} 30'$ - $3^{\circ} 13'$ de latitud norte, (**Figura 1.2.1**). Las coordenadas planas con origen en Santafé de Bogotá y con nivel medio del mar en Buenaventura son:

| | |
|--------------|--------------|
| X: 1`090.000 | X: 1`116.500 |
| Y: 849.000 | Y: 877.500 |

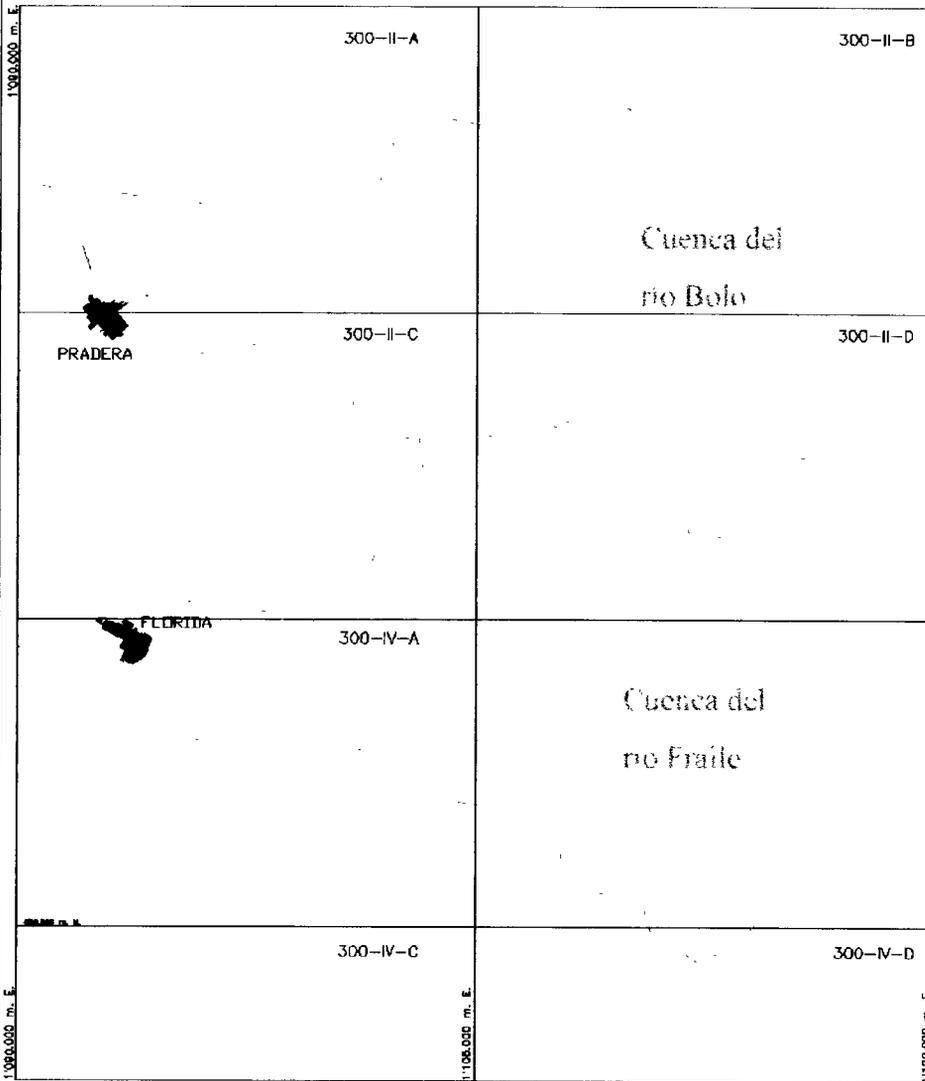
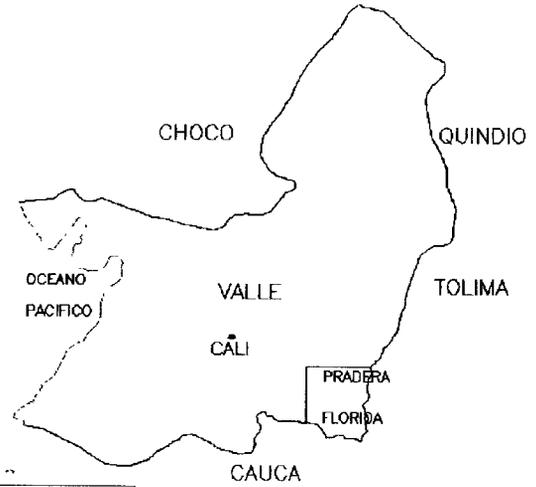
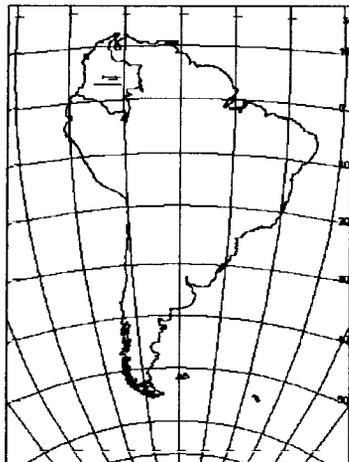
El acceso al área se realiza desde la ciudad de Cali por carretera pavimentada de primer orden hasta la ciudad de Palmira y de allí por carreteable de segundo orden hasta la población de Pradera. Existe otra carretera de segundo orden que pasa cerca de la población de Candelaria y comunica con las poblaciones de Pradera y Florida.

Carreteables de tercer orden sin pavimentar, dentro del área de estudio en regular estado de conservación, comunican con las diferentes veredas.

En el río Fraile una de estas vías llega hasta la parte media de la cuenca pasando por los caseríos La Rivera y Granates. Otra pasa por los caseríos La Diana y los Caleños hasta el sitio Caseplancha en la parte media alta del río Santa Barbara. De este último punto la carretera que llegaba hasta el páramo actualmente está destruida por los deslizamientos ocurridos en los últimos cuatro años.

En el río Bolo dos carreteras parten del caserío Potreritos la primera va hacia la vereda Tamboral sigue hacia el nororiente de las diferentes fincas de esa zona. La segunda llega hasta la escuela Bolo Azul en la cuenca media alta del río Bolo Azul.

Camino de herradura comunican todas las veredas del área de estudio, excepto en la parte media, donde las condiciones topográficas hacen muy difícil el tránsito.



CONVENCIONES

-  Río
-  Límite Zona de Estudio
-  Cabecera Municipal
-  Planos 1:25000 - IGAC

| | | |
|---|--|---|
|  Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca Instituto de Investigaciones en geociencias minera y química | |  |
| Zonificación de Arroyales por procesos de remoción en masa en los municipios de Pradera, Florida y Fijón, Valle del Cauca | | |
| LOCALIZACION AREA DE ESTUDIO | | |
| INSTITUTO : INSTITUCIÓN : DEPARTAMENTO : | INSTITUTO : INSTITUCIÓN : DEPARTAMENTO : | INSTITUTO : INSTITUCIÓN : DEPARTAMENTO : |
| ESCALA : 1:100,000 FECHA : Febrero 1998 NÚMERO : Apr. | | ESCALA : 1:120,000 FECHA : NÚMERO : |

1.3 ANTECEDENTES.

Las áreas urbanas de Pradera y Florida han venido siendo afectadas desde hace varias décadas por avenidas torrenciales producto de procesos de remoción en masa que se presentan en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile; fenómenos estos, que han dejado pérdidas incalculables en personas y bienes de la comunidad y probablemente causarán daños en el futuro si no se toman las medidas necesarias para reducir los efectos de las mismas. Aunque estos eventos son originados principalmente por factores naturales, algunos procesos de remoción en masa en áreas muy sensibles, han sido ayudados por las condiciones de vida de los habitantes de las cuencas cuyas actividades han llevado al creciente aprovechamiento de los recursos naturales y de deforestación con la consecuente erosión y pérdida de las tierras. Consciente de esta situación en la década de 1970, la CVC, realizó un diagnóstico sobre las condiciones geológicas, potencialidades y restricciones de uso de las tierras.

La necesidad de preservación y la falta de instrumentos técnicos actuales que permitan la adopción de políticas ambientales en la planificación del desarrollo, llevaron a la CVC en cumplimiento de su función pública, a iniciar con el INGEOMINAS, mediante convenio, un estudio de las condiciones ambientales y zonificación de la amenaza y del riesgo potencial, el cual sirva como herramienta a las entidades municipales en la toma de decisiones de planificación

1.4 MARCO JURIDICO.

Eventos geológicos que generaron funestas consecuencias como el terremoto de Tumaco en 1979, el terremoto de Popayán en 1983, la destrucción de Armero en 1985, las inundaciones del Sinú y San Jorge en 1986, las avenidas torrenciales del río Paez, en 1994, y muchos otros hechos de menor magnitud, crearon conciencia en el pueblo colombiano de la necesidad de involucrar en las políticas públicas, el tema de la prevención y mitigación de los desastres como un componente inseparable del desarrollo sostenible.

En este sentido mediante la expedición del decreto 919 del 10. de mayo de 1989, se organizó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, en el cual destacan las funciones de los organismos estatales (artículo 64), privados y comunitarios, frente a la necesidad de orientar y planificar el crecimiento urbano.

Otras disposiciones legales actuales que fundamentan la necesidad de efectuar este tipo de estudios y que obligan a los alcaldes a contar con un inventario de las zonas de riesgo son el Artículo 5° de la ley 02 de 1991 que reforma la ley 9ª de 1989 (Ley de Reforma Urbana) en su artículo 56 inciso primero. De igual manera la ley 388 de 1997 de ordenamiento ambiental territorial fija pautas que permitan delimitar aquellas áreas de manejo especial

con miras a definir la localización de asentamientos humanos, infraestructura y cualquier tipo de actividad productiva.

Siguiendo los lineamientos anteriores, se firmó el convenio interinstitucional No. 984/96 I-024 celebrado entre el INGEOMINAS y la CVC con duración de un año, con el objetivo de elaborar en un SIG los mapas de amenaza de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile. Estos mapas deben ser parte integral en la formulación de los planes de ordenamiento y desarrollo de los territorios involucrados, en los cuales se tomen decisiones de inversión que puedan orientarse a proyectos de mitigación y prevención de eventos de tipo natural, de instrumentación de alerta temprana, de información pública, capacitación acerca de las amenazas para disminuir la vulnerabilidad educativa de la población expuesta, expedición de normas sobre el manejo de los recursos y usos del suelo y su vigilancia para que dicha reglamentación se cumpla.

1.5 ACTIVIDADES DE TRABAJO:

Para lograr los objetivos propuestos se desarrollaron las siguientes actividades de trabajo:

1.5.1 Diagnóstico preliminar y recopilación de información.

Se realizó una primera visita por parte de la coordinación del proyecto, para identificar los problemas de estabilidad más críticos y programar adecuadamente las actividades del proyecto. La CVC suministró abundante información de estudios anteriores de geología, geomorfología, sismicidad, suelos e hidrometeorológica así como la información cartográfica en forma digital y fotografías aéreas a diferentes escalas. La información aerofotográfica se complementó con diferentes líneas de vuelo multitemporales (1960-1986), las cuales fueron analizadas para evaluar la evolución geoambiental de las cuencas (**Tabla 1.5.1** y **Figura 1.5.1**).

1.5.2 Evaluación de las variables geoambientales

Para alcanzar los logros esperados en este estudio, se siguió la metodología de Vargas G., (1994, 1995) en la cual se analizan las características intrínsecas del terreno y los factores que inciden en la generación de los procesos de remoción en masa. El flujograma metodológico se muestra en la **Figura 1.5.2** el cual fue implementado evaluando los siguientes aspectos:

Geología, Ingeniería Geológica y Geomorfología. Se realizó una fotointerpretación y revisión de campo identificando los contactos litológicos y rasgos estructurales, unidades de relieve homogéneo, procesos denudativos y de remoción en masa multitemporales, así como un estudio de los cauces del área para determinar los factores que generan las avenidas torrenciales. Se tomaron muestras de suelo para identificar en el laboratorio sus características geomecánicas y muestras de roca para conocer su composición mineralógica (**Mapa 1**). Algunos de los términos comúnmente utilizados en este tipo de mapas son definidos en un glosario que se presenta al

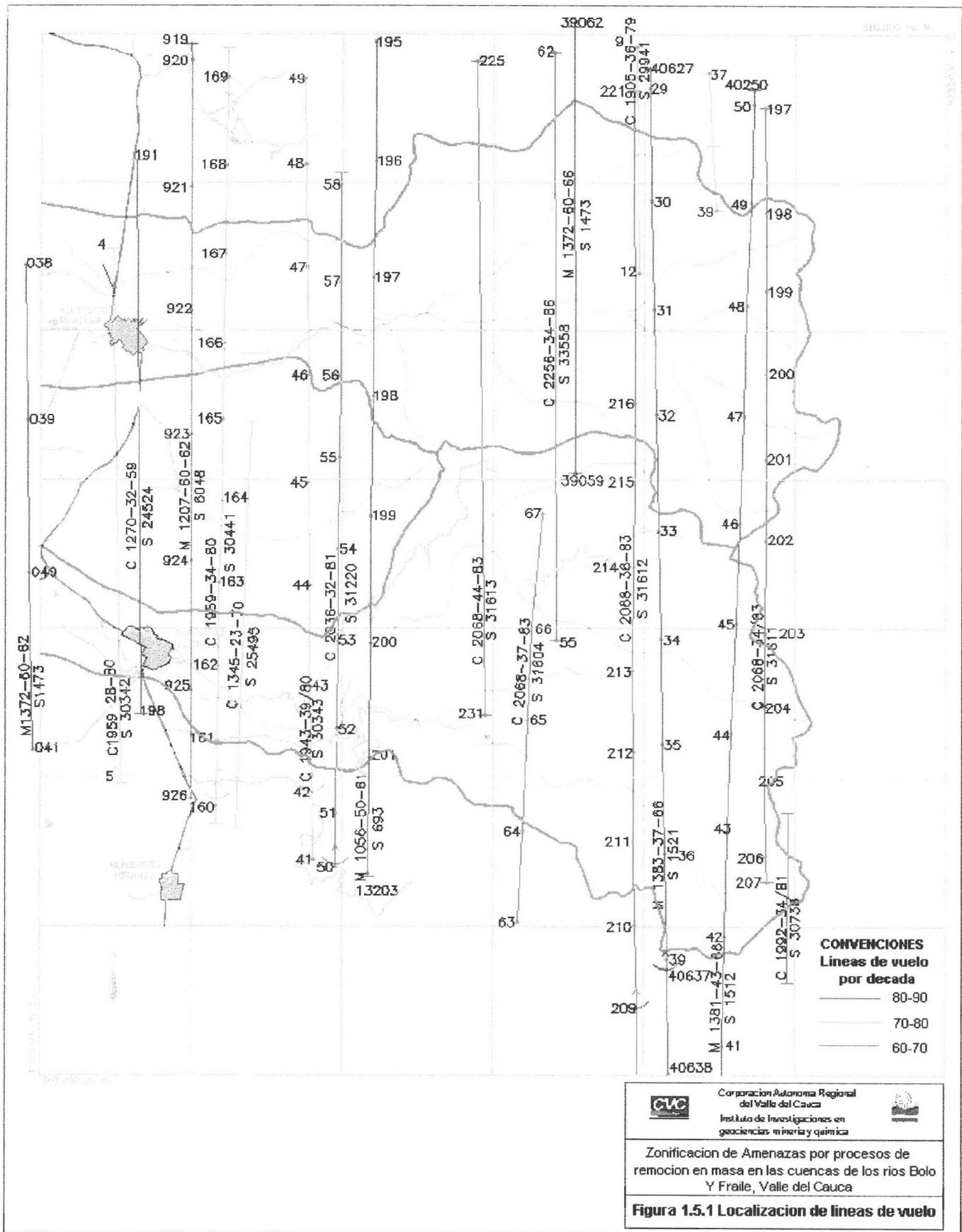
final del trabajo.

| AÑO | VUELO No. | ESCALA | SOBRE IGAG | FOTOS | |
|--------------|--------------|--------|---------------|------------------|------------|
| | | | | No. DE SECUENCIA | CANTIDAD |
| 61 | M-1056 | 50000 | 693 | 13202-13194 | 9 |
| 62 | M-1207 | 60000 | 1048 | 22919-22920 | 2 |
| 62 | M-1207 | 60000 | 1048 | 22921 | 1 |
| 62 | M-1207 | 60000 | 1048 | 22922-22924 | 3 |
| 66 | M-1372 | 60000 | 1473 | 39054-39059 | 6 |
| 66 | M-1381 | 43000 | 1512 | 40241-40250 | 10 |
| 66 | M-1383 | 37000 | 1521 | 40626-40638 | 13 |
| 69 | C-1270 | 32000 | 24524 | 190-199 | 10 |
| 70 | C-1345 | 23000 | 25495 | 1-7 | 7 |
| 79 | C-1905 | 30000 | 29941 | 8-12 | 5 |
| 79 | C-1905 | 31000 | 29943 | 37-39 | 3 |
| 80 | C-1943 | 25000 | 30342 | 4-9 | 6 |
| 80 | C-1943 | 39000 | 30343 | 40-49 | 10 |
| 80 | C-1959 | 34000 | 30441 | 160-168 | 9 |
| 81 | C-1992 | 64000 | 30738 | 25-27 | 3 |
| 81 | C-2036 | 32000 | 31220 | 51-59 | 9 |
| 83 | C-2068 | 37000 | 31604 | 63-65 | 3 |
| 83 | C-2068 | 34000 | 31611 | 197-206 | 10 |
| 83 | C-2068 | 36000 | 31612 | 209-221 | 13 |
| 83 | C-2068 | 44000 | 31613 | 225-231 | 7 |
| 86 | C-2256 | 34000 | 33559 | 55-62 | 8 |
| TOTAL | | | | | 147 |

Tabla 1.5.1 Características de las líneas de vuelo que cubren las cuencas de los ríos Bolo y Fraile.

Hidrometeorología: Se elaboraron mapas de clima y zonas de vida, curvas de intensidad-duración-frecuencia para las lluvias, isoyetas medias mensuales y anuales, identificación de la red hidrográfica y sus cuencas; estimación de caudales por los cauces principales para diferentes períodos de retorno, información útil en el cálculo de las lluvias máximas detonantes de los procesos de remoción en masa y del transito de las crecientes torrenciales a su paso por las zonas urbanas.

Aspectos agroecológicos: Se revisaron mapas de suelos del IGAC y de la CVC y después de realizada una fotointerpretación y complementación mediante trabajos de campo, se elaboraron mapas de usos del suelo y cobertura vegetal, su potencialidad de uso y conflictos.



Sismicidad: Se analizaron las fuentes sismogénicas a nivel regional y local y se les asignaron eventos a partir de registros históricos e instrumentales. Se determinaron mediante programas especializados de computador las aceleraciones máximas en roca en la zona de estudio como factor detonante de inestabilidad.

1.5.2.1 Implementación del S.I.G.

Se conformó el mapa base digital entregado por la CVC, con las diferentes coberturas de curvas de nivel, ríos y quebradas, infraestructura, etc. Se digitalizaron los mapas temáticos para los objetivos de modelación en el SIG, cada uno con topologías de identificación para cada polígono y con sus bases de datos correspondientes. De igual forma se implementó el SIG en ARC-INFO y el modelamiento de variables se hizo de forma vectorial mediante codificación de polígonos.

1.5.2.2 Zonificación de la susceptibilidad.

Se utilizó la metodología propuesta por Vargas G (1994, 1995) consistente en el modelamiento estadístico univariado, en la cual se usa como variable independiente el mapa de densidad de procesos morfodinámicos cruzándolo con los mapas de Ingeniería geológica, morfología, pendientes y conflictos de uso del suelo. El resultado es el mapa con zonas de igual susceptibilidad.

1.5.2.3 Factores detonantes y Zonificación de amenazas:

Al mapa de susceptibilidad, se le integraron los factores detonantes por eventos sísmicos y por precipitación para obtener el mapa de zonificación de amenaza de las cuencas. A partir de este mapa se hacen recomendaciones de uso de acuerdo con la aptitud del suelo frente a la amenaza presente.

1.6 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS BOLO Y FRAILE

1.6.1 Distribución espacial de la población

En la cuenca del río Fraile, la mayor concentración de población rural, se presenta en su parte media y baja, desde los 2400 m.s.n.m., hasta los límites con el casco urbano de Florida; la densidad de población es de aproximadamente 70 hab/km², concentrados principalmente en Loma gorda, Granates, san Isidro, La Diana, Los Caleños, El Líbano, La Rivera, El Madrigal, Las Guacas, Las Colinas, El Salado y El Pedregal entre otras, pertenecientes a los corregimientos de La Diana, La Rivera, San Francisco y Los Alpes (Tabla 1.6.1).

| CORREGIMIENTO | VEREDAS | POBLACION | VIVIEND A | HA/VIVIENDA |
|-----------------------|--------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| LA DIANA | EL PEDREGAL | | | |
| | LA DIANA | 599 | 137 | 4.4 |
| | LOS CALEÑOS | 317 | 54 | 5.8 |
| LA RIVERA | EL SALADO | 280 | 42 | 6.7 |
| | LOMA GORDA | 40 | 8 | 5.0 |
| | LA SIERRA | | | |
| | SAN JUANITO | 240 | 42 | 5.7 |
| | MIRAVALLE | 69 | 17 | 4.9 |
| S.N. FRANCISCO | EL LIBARO | 336 | 71 | 4.7 |
| | LA RIVERA | 462 | 83 | 5.6 |
| | LAS GUACAS | 376 | 73 | 5.2 |
| LOS ALPES | GRANATES | 286 | 49 | 5.8 |

FUENTE: SISBEN / GOBERNACION DEL VALLE / PLANEACION / SISTEMAS

Tabla 1.6.1 Distribución espacial por corregimiento cuenca del río Fraile

La mayor densidad de población se localiza a lo largo de las carreteras que cruzan el área y de los principales ríos.

En la cuenca del río Bolo, la concentración de población rural, sigue las mismas pautas de la cuenca del río Fraile aglutinándose en los corregimientos de La Ruiza, Potrerito, Los Pinos, San Antonio, Carbonera, El Líbano, La Feria, Bolo Azul, Bolo Blanco, Arenillo, El Nogal, El Retiro (Tabla 1.6.2).

| ZONA | CORRE-GIMIENTO | POBLACION | VIVIENDA | HAB/ VIVIENDA |
|----------------|----------------|-----------|----------|------------------|
| ZONA PLANA | LA RUIZA | 51 | 9 | 5.7 |
| | POTRERITO | 45 | 10 | 4.5 |
| | LOS PINOS | 83 | 20 | 4.2 |
| | SAN ANTONIO | 90 | 25 | 3.6 |
| | CARBONERA | 204 | 38 | 5.4 |
| | EL LIBANO | 184 | 41 | 4.5 |
| ZONA MONTAÑOSA | LA FERIA | 251 | 70 | 3.6 |
| | BOLO AZUL | 69 | 15 | 4.6 |
| | BOLO BLANCO | 49 | 9 | 5.4 |
| | ARENILLO | 124 | 24 | 5.2 |
| | EL NOGAL | 51 | 8 | 6.4 |
| | EL RETIRO | 257 | 61 | 4.2 |

FUENTE: SISBEN / GOBERNACION DEL VALLE / PLANEACION / SISTEMAS

Tabla 1.6.2. Distribución espacial por corregimiento cuenca del río Bolo

En las dos cuencas se distinguen tres etnias que conviven social y culturalmente, correspondientes a comunidades negras, mestizos e indígenas.

1.6.1.1 Comunidades indígenas.

Las comunidades indígenas asentadas en la parte media y alta de la cuenca del río Fraile, corresponden a la etnia Paez, distribuida en 7 veredas del municipio de Florida, agrupados en tres resguardos: El Triunfo, Cristal Paez y San Juanito, que a su vez se dividen en cabildos centrales y locales de asentamiento (**Tabla 1.6.3**).

La población indígena Paez de la cuenca del río Bolo, tiene aproximadamente la misma distribución geográfica, pero con densidad de población menor, agrupada en cuatro cabildos distribuidos en los corregimientos de La Fría, Los Pinos, Carbonera y El Nogal (**Tabla 1.6.4**).

Las comunidades indígenas están ligadas en su jurisdicción político-administrativa a factores históricos, socio - culturales, geográficos y económicos, las cuales constituyen una unidad territorial y tradicional en la región.

La caracterización del territorio indígena y su poblamiento está reglamentado por la ley 89 de 1990, ley 21 de 1991 y el convenio 169 de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) sobre pueblos indígenas, “cuyas condiciones sociales, culturales y económicas les

distinguen de otros sectores de la colectividad nacional y que estén regidos total o parcialmente por sus propias costumbres o tradiciones o por una legislación especial. (Convenio 169. artículo 1).

| COMUNIDAD INDÍGENA ETNIA PAEZ | RESGUARDO | VEREDAS | ASENTAMIENTOS INDÍGENAS | | | |
|-------------------------------|--|---|---------------------------------|--|-----------------------------|------------|
| | | | VEREDAS | CABILDOS LOCALES | VEREDAS | |
| MUNICIPIO DE FLORIDA | TRIUNFO CRISTAL PAEZ SAN JUANITO | Los Caleños San Juanito Villapinzón Betania Mateguadua Las Brisas Mirador | CABILDO CENTRAL DE ASENTAMIENTO | La Rivera Granates Altamira Las Guacas La Cumbre Paz de las Cañitas El Salado Párraga | SAN JUAN PAEZ LOMA GORDA | Loma Gorda |

Tabla 1.6.3 Distribución territorial comunidades indígenas Paeces cuenca del Río Fraile

| CORREGIMIENTOS ACUERDO 009/96 | COMUNIDADES INDÍGENAS DE LA ETNIA PAEZ *CABILDO |
|-------------------------------|---|
| La Fría | Kimet wala, La Fría |
| Los Pinos | Los Pinos |
| Carbonera | Carbonera |
| Nogal | El Nogal |

Tabla 1.6.4 Asentamientos Indígenas cuenca del río Bolo.

Las prácticas culturales de la comunidad indígena Paez conserva rituales como la medicina tradicional, la tradición oral y la práctica de la lengua Paez (idioma vivo en algunos pobladores) y música relacionada con festivales y/o acontecimientos comunitarios; rituales religiosos están ligados con la muerte de los niños, la Navidad y semana santa,

El sentido de la libertad y autonomía tiene una importancia como proyección organizativa, la cual ha estado sujeta de cierta manera a las condiciones de vida material que son críticas, debido a la ocupación y asentamiento en áreas del territorio que no permiten una calidad de vida armónica.

1.6.1.2 Comunidades Negras.

En la cuenca del río Fraile, estas comunidades habitan básicamente la zona urbana, en los barrios rivereños de El Limonar, San Jorge, Paez, La Cabaña, Absalon Fajardo, Nuevo Horizonte y La esperanza. La comunidad negra del municipio de Florida tiene un alto sentido de pertenencia debido a la vivencia de sus tradiciones culturales.

En la cuenca del río Bolo estas comunidades habitan en la cabecera urbana de Pradera, y en la parte media de la cuenca de forma dispersa.

El arraigo cultural de estas comunidades se evidencia en el curanderismo, los arrullos y la tradición oral, manteniendo la música, la danza y los rituales religiosos.

Su proceso organizativo se configura mediante agrupaciones y asociaciones comunitarias, en donde se apoyan las prácticas culturales y comunitarias que contribuyen a procesos de socialización.

1.6.1.3 Comunidades Mestizas.

Constituyen la mayor parte de la población urbana de Florida y Pradera y de la cuenca del río Bolo, con baja densidad poblacional en la cuenca del río Fraile. Esta comunidad tiene profunda influencia en las actividades socioeconómicas y culturales de la región constituyendo el motor de desarrollo en todos los campos de actividad.

1.6.2 Aspectos Económicos.

En el área de estudio la principal actividad económica, en el valle del río Cauca, gira en torno a los ingenios azucareros, donde conviven las tres comunidades culturales que interaccionan, se relacionan y conviven, en un proceso activo de mutuo intercambio.

En las cuencas, la actividad económica es principalmente de tipo agropecuario, con presencia de ganadería intensiva, cultivos de minifundios y dispersos, etc.

1.6.2.1 Sector Agropecuario.

La zona plana de los municipios de Pradera y Florida, se caracteriza por el monocultivo de la caña de azúcar, que ocupa un 98% de la zona. El resto, son cultivos transitorios hortalizas, tubérculos y frutales. La actividad de producción de azúcar y panela, desarrollada por ingenios es la principal ocupación agroindustrial en la cual está basada la economía de la zona, siendo a su vez la mayor fuente de empleo con un 37.6 %.

La actividad agropecuaria que se desarrolla en el resto de la cuenca, se caracteriza por la producción en minifundios, principalmente de verduras, hortalizas y tubérculos, que

utilizando técnicas artesanales donde la mano de obra está constituida casi exclusivamente por la familia o vecinos que llegan en algunas ocasiones, a asociarse en trabajo comunitario.

La Presencia de ganadería extensiva, se da principalmente en la cuenca media representando la principal fuente de abastecimiento para las zonas urbanas de carne, leche y sus derivados. Esta actividad no presenta ningún tipo de tecnificación y se lleva a cabo a través de parceleros o mayordomos.

Una descripción detallada del total de áreas dedicadas a las diferentes actividades agropecuarias, se presenta más adelante, en el capítulo de aspectos Agroecológicos.

1.6.2.1.1 Producción pecuaria

La producción pecuaria del municipio de Florida se orienta a la explotación del ganado vacuno, la superficie de pastoreo para ganadería es de 1.415 Has, de las cuales 1.369 (96.7%), están sembradas en Pradera tradicional y las restantes 46 Has (3.3%), tienen alguna actividad cultural de mejoramiento, (pasto predominante: Estrella, Kingrass, Elefante). El ganado bovino explotado en Florida es Cebú, Pardo Suizo, Holsstein y Mestizo (fuente URPA, 1997).

Las explotaciones porcícolas son de tipo tradicional y con una producción total de 429 porcinos de las razas Jersey y York-Shire.

La producción avícola es baja, con un total de 53.262 aves de engorde.

Aunque estas dos últimas actividades (porcícola y avícola) se presentan en algunas localidades, no se han desarrollado plenamente debido a los altos costos de producción. Son actividades productivas que constituyen una fuente adicional de ingresos y en ocasiones un mejoramiento de la dieta alimenticia del grupo familiar. De otra parte existe un continuo desarrollo en la productividad piscícola con la creación de granjas dedicadas a la cría de peces principalmente de variedad tilapia.

La producción pecuaria del municipio de Pradera se orienta principalmente a la explotación de ganado vacuno, para lo cual encontramos un total de superficie de pastoreo para ganadería de 3.071 Has de las cuales 3.000 (97%) están sembrados en Pradera tradicional y los restantes 71 Has (2.3%) tienen alguna actividad de mejoramiento, indicativo porcentual que nos revela el escaso apoyo técnico que recibe el sector ganadero en el municipio. Las variedades de pasto predominante son: Estrella, Kingrass, Imperial y Elefante.

Los tipos de explotación son: Ceba y Doble propósito, siendo este último el que ocupa el mayor porcentaje de explotación.

Aunque las actividades porcícola y avícola, se presentan a nivel local, no se han desarrollado plenamente, podemos observar que estas actividades productivas constituyen una parte importante de los ingresos de algunos de los habitantes del municipio.

Una vez observadas las estadísticas del sector agropecuario de Pradera, podemos ver que como en muchos otros municipios del Valle del Cauca, la producción agrícola y pecuaria fue substituida por monocultivo cañero; debido a que esta actividad es la de mayor provecho para los grandes arrendadores de tierras y que la producción de alimentos no tiene incentivos por parte de los organismos gubernamentales.

En general, podemos observar un fenómeno social muy marcado: la población, finalmente tiene como única posibilidad de empleo el corte y transporte de caña, para lo cual no es necesario una preparación educativa específica, ya que estos reciben un salario por la prestación de sus servicios y se considera mano de obra no calificada, siendo la única posibilidad de ascenso laboral, ocupar un cargo de capataz o jefe de cuadrilla de corteros.

1.6.2.2 Actividad minera.

La actividad minera está representada principalmente por la extracción de arena, grava y gravilla de los depósitos aluviales de los ríos Bolo y Fraile utilizados básicamente para la construcción habitacional. Varias canteras abiertas en rocas volcánicas, son utilizadas para material de relleno en vías y suelos arcillo-limosos, se emplean en la construcción de terraplenes y ocasionalmente en la producción de ladrillo.

Se reporta la presencia de mármoles en las cuencas de los dos ríos, sin que hasta el momento haya sido objeto de explotación alguna. Durante la elaboración de la plancha geológica 300-Cali se reporta al oriente de la población de Pradera una anomalía secundaria de cobre y cinc, relacionada con las rocas metaígneas del Paleozoico (Metagabroides de Bolo Azul). Lo anterior amerita exploración geológico minera que evalúe el posible desarrollo de estos recursos.

2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES GEOAMBIENTALES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA.

2.1 GEOLOGIA.

En los estudios geológicos aplicados a la solución de problemas estabilidad, se debe considerar no sólo la composición de los diferentes materiales litológicos sino otras características de estos, tales como su evolución tectónica, cartografía de materiales no consolidados (suelos) y otros que sirven como base para la aplicación de otras ciencias de la tierra como la geotécnica, etc., para así determinar su comportamiento ante las alteraciones que le impone la geodinámica externa, interna y las que el hombre le induce.

Dentro de los estudios realizados en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile se destaca uno realizado anteriormente por parte de la CVC en 1976 donde se evaluaron en forma general la geología, geomorfología y procesos erosivos existentes. Diferentes conceptos técnicos realizados en sitios puntuales, tratan de las crecientes y avenidas torrenciales de estos dos ríos, en especial en lo referente a sus efectos sobre zonas densamente pobladas y daños en bosques y cultivos. En forma un poco más detallada, la misma CVC da cuenta de las avenidas torrenciales que han afectado las poblaciones de Florida y Pradera con el diseño de obras de protección y recomendaciones sobre el uso del suelo.

Dentro de la parte puramente geológica, se destaca como trabajo básico la cartografía geológica de la plancha 300 a escala 1:100.000 realizada por INGEOMINAS (1985), donde se definen por primera vez las diferentes unidades litológicas de la región. El presente trabajo retoma gran parte de los resultados de este estudio pero hace extensiva la cartografía a las unidades de suelos propiamente dichos, entre ellos los depósitos glaciares y fluvio-glaciares, coluvios y suelos residuales, etc., zonas de debilidad por tectonismo y enfoca el trabajo hacia la relación existente entre las anteriores condiciones de tipo intrínseco y los problemas de inestabilidad.

2.1.1 Estratigrafía.

Las unidades litoestratigráficas aflorantes en el área de estudio, comprenden rocas con Edades desde el Paleozoico hasta depósitos Cuaternarios y Recientes. Dentro de las rocas Paleozoicas se distinguen los Complejos Arquía y Cajamarca; del Paleozoico Superior al Triásico, el Batolito de Santa Bárbara y rocas del Cretácico Jurásico están representadas por la Formación Amaime. Materiales con comportamiento de suelos están representados por depósitos sedimentarios que involucran la Formación Vilela y depósitos aluviales, de ladera, fluvio-glaciares y residuales (**Mapa 2**).

A continuación se hace una descripción de cada una de estas unidades:

2.1.1.1 Rocas Paleozoicas.

Son rocas metamórficas probablemente de edad Paleozoico Superior que constituyen la mayor parte de la Cordillera Central. En estudios regionales ellas han sido subdivididas en dos grupos principales:

1. El grupo de esquistos del Oeste. Se localizan desde el flanco oeste de la Cordillera hasta el contacto con el grupo de esquistos del este, con predominio de esquistos básicos y rocas meta-ígneas como metagabros, neis hornbléndico y anfibolitas. A este grupo pertenece el Complejo Arquía diferenciado en tres unidades litológicas: Esquistos Básicos de Bugalagrande, Metagabroides de Bolo Azul y las Anfibolitas de Rosario (Nivia A., en imprenta). Las Anfibolitas de Rosario no afloran en el área de estudio, por lo cual no se describen en este informe.
2. El grupo de esquistos del Este. Conforman la parte más alta de la cordillera y parte de su flanco occidental. Predominan rocas metasedimentarias cuarzosas y esquistos silíceos ricos en Aluminio, pertenecientes principalmente al Complejo Cajamarca.

2.1.1.1.1 Complejo Arquía

Metagabroides de Bolo Azul (Pzba).

Comprende metagabros, dioritas, pegmatitas hornbléndicas, neises hornbléndicos y anfibolitas que afloran en un estrecho pero bien definido cinturón de 1 a 2 Km de ancho. que se extiende por varios Km en dirección NNE-SSW, limitado por las fallas de El Retiro y Buenavista. La sección tipo de esta unidad aflora al oriente del sitio El Retiro.

Litología y petrografía.

La principal característica de los metagabroides de Bolo Azul es su heterogeneidad, tanto a escala regional como en afloramientos, mostrando una completa variación en tamaño de grano y textura. Las unidades de grano fino se caracterizan por estar más deformadas y con foliación marcada, paralela a la dirección regional de la esquistosidad.

En sección delgada estas rocas se componen principalmente de hornblenda y plagioclasa (albita - oligoclasa); en menor cantidad epidota, clorita, esfena, calcita y cuarzo. La mayoría exhibe una marcada textura ígnea y los metagabros contienen relictos de plagioclasas zonadas.

Origen.

Los Metagabroides de Bolo Azul presentan claramente una composición meta-ígneas, dominada por rocas plutónicas básicas. Su asociación estructural, química y metamórfica, en el campo, soporta una relación cogenética. Así, este modelo propone que estas rocas, representan el nivel profundo de un Plutón (parte del complejo volcánico de Rosario, fuera del área de estudio).

Correlación.

Los Metagabroides de Bolo Azul fueron identificados y definidos durante el transcurso de la cartografía de la Plancha 300-Cali (INGEOMINAS, 1985), y pueden ser correlacionados en parte con el Complejo Río Rosario de Esquivel et al (1981), con metagabros y anfibolitas que forman la base estructural del Grupo Ayurá- Montebello (Botero 1963) y con las anfibolitas neísicas bandeadas “banded gneissose amphibolites” Paleozoicas, descritas por González (1980) en el área de La Ceja – La Unión.

Esquistos Básicos de Bugalagrande (Pzb).

Consiste de una secuencia de rocas metamórficas, que conforman la mayor parte del flanco occidental de la Cordillera Central. En la zona de estudio, se encuentran en contacto fallado con rocas del Jurásico - Cretácico de la formación Amaime, formando una franja alargada en dirección norte sur, que ocupa una depresión tectónica estrecha en la parte media de la cuenca de los ríos Fraile, Santa Bárbara y Bolo Azul.

Comprende esquistos anfibólicos, cloríticos y negros (grafíticos), con esquistos micáceos cuarcitas y samitas en menor proporción.

Lo normal en el área de estudio es encontrar mezclados las diferentes variedades de esquistos; sin embargo, localmente uno de los tipos de esquisto predomina. Se observa gradación desde esquistos anfibólicos- cloríticos a esquistos negros (grafíticos) y de estos a esquistos cuarzo- sericíticos, similares a los del Complejo Cajamarca. En sección delgada estos cambios están marcados por la adición de grafito, cuarzo y sericita a partir de anfíboles, clorita, epidota y albita.

Litología y petrografía.

- ***Esquistos anfibólicos y cloríticos:*** Estas rocas se observan en el campo como típicos esquistos de colores gris-verde o gris-negro, dependiendo de su contenido de anfíboles; frecuentemente masivos en afloramiento; con esquistosidad orientada N 15° E.

En sección delgada, presentan capas alternadas de anfibolita y/o clorita, en cantidad

superior al 40 % de la roca, separadas por albita, epidota/zoicita, y en menor cantidad cuarzo. Los minerales accesorios comunes son el apatito, magnetita, esfena, piritita y escasa biotita. El anfíbol es de la variedad actinolita, sin embargo, en algunas muestras se puede encontrar hornblenda prismática. La clorita cuando es primaria, se encuentra subordinada al anfíbol pero cuando es secundaria está casi exclusivamente en zonas de contacto o de fallamiento; la plagioclasa es principalmente albita no maclada.

- **Esquistos Negros:** En común con sus equivalentes del Complejo Cajamarca, los Esquistos Básicos de Bugalagrande son cuarzo-sericíticos, pero difieren en su riqueza de grafito y piritita. Tienen una bien definida esquistosidad con pliegues menores evidenciados por la presencia de venas de cuarzo.
- **Esquistos Micáceos:** Los esquistos cuarzo-cloríticos-sericíticos se encuentran intercalados con esquistos anfibólico-cloríticos. En afloramiento son muy similares con los esquistos verdes aluminosos del Complejo Cajamarca, pero son distinguidos en sección delgada por su bajo contenido de cuarzo y alto de clorita y sericita. Es posible que los esquistos micáceos sean el resultado de un metamorfismo retrogrado a lo largo de zonas de falla.
- **Cuarcitas:** Son rocas meta-arenáceas comunes en algunas secciones de esta unidad. La cuarcita es laminada de grano fino, color azul-gris o negro, intercalada con esquistos negros.

Origen.

Los Esquistos Básicos de Bugalagrande, al igual que el Complejo Cajamarca, representan una secuencia vulcano-sedimentaria metamorfoseada. La presencia de esquistos ricos en anfíboles y su clara asociación con esquistos piritosos, ricos en grafito y anfíbolitas, sugieren una predominancia de la actividad volcánica sobre la sedimentaria.

La mineralogía, la composición y en general el aspecto de campo de los “esquistos verdes” de esta unidad, soportan la interpretación, de que son lavas volcánicas metamorfozadas, de posible composición basáltica. Sin embargo, es de resaltar que aunque en algunas muestras se encuentran relictos de texturas ígneas, los efectos del metamorfismo y del posterior fallamiento (múltiple) no permiten establecer de forma definitiva el origen para una gran proporción de la unidad.

Los esquistos negros, más probablemente tienen un origen dual: meta-sedimentos, por el metamorfismo de sedimentos argiláceos, similar al Complejo Cajamarca; sin embargo las unidades grafiticas, están íntimamente asociadas con esquistos anfibólicos, los cuales pueden ser total o parcialmente de origen volcánico (tobaceos?), posiblemente asociados con fumarolas.

En general, se interpretan los Esquistos Básicos de Bugalagrande como una secuencia metamorfoseada de origen eugeosinclinal. (McCourt y Aspden 1984).

Correlación.

Los Esquistos Básicos de Bugalagrande, litológicamente pueden ser correlacionados con los esquistos del oeste del Complejo Cajamarca de Nelson (1957) También tiene similitudes con la unidad metasedimentaria Ayurá-Montebello de Botero (1963), el Grupo Valdivia de Hall et al (1972), y los esquistos Paleozoicos descritos por González (1980) del área Sonsón- Salamina de Antioquia y Caldas.

2.1.1.1.2 Complejo Cajamarca (Pzc).

Son rocas metamórficas de bajo grado que afloran exclusivamente en la parte alta del río Bolo Azul por encima de la cota 2000, continuando hacia el flanco Oriental de la Cordillera Central en el Departamento del Tolima. Predominan esquistos aluminicos, cloríticos (verdes) y esquistos negros, intercalados localmente con cuarcitas y mármoles.

Litología y petrografía.

- **Esquistos verdes:** Constituyen el tipo de roca predominante del Complejo Cajamarca y típicamente forman la cresta de la cordillera. Son esquistos aluminosos cuarzosos los cuales forman cimas dentadas. En afloramiento son de color gris- verde con un característico lustre filítico sobre los planos de esquistosidad caracterizados por una composición mineralógica definida por la asociación mineral básica de clorita / actinolita, epidota, albita, sericita y cuarzo, con cantidades variables de zoicita y calcita más circón como accesorio.

En afloramientos donde se puede observar la estratificación original, es paralela a subparalela a la foliación (esquistosidad), cuya tendencia es N 0°-15° E conformando laderas inclinadas hacia el Oriente.

- **Esquistos Negros:** Ocupan el segundo lugar en abundancia dentro del Complejo Cajamarca. Mineralógicamente son esquistos cuarzo-sericíticos, pero el término esquistos negros se refiere a sus características de color de campo debido a la presencia de cantidades variables de grafito. Se presentan en láminas finas de 3 a 5 mm. de espesor, con abundante piritita, cuarzo en venas y en lentes paralelos la esquistosidad. Tienen en común con los esquistos verdes, la dirección de su foliación que es casi N-S buzando hacia el Este, con variaciones de rumbo debido a su frecuentemente replegamiento.

Están compuestos por cuarzo y sericita principalmente (90 al 95 % de la roca); el grafito es el accesorio más común presentándose como un polvo fino distribuido por

toda la roca. Otros minerales accesorios son la clorita, epidota, albita, apatito, circón, rutilo, turmalina y pirita.

- **Cuarcitas:** Son de color gris-verdoso a negro, relativamente masivas, con frecuente presencia de finas láminas de cuarzo paralelas a la esquistosidad.

Mineralógicamente predomina el cuarzo en cristales de tamaño equigranular, con cantidades menores de sericita y clorita, que le imprimen a la roca una fina esquistosidad

- **Mármoles:** Existen reportes de intercalaciones de mármoles en zonas aledañas, pero en el área de estudio no se encontraron afloramientos. Sólo se observan rodados en el cauce de algunos ríos y quebradas.

Origen.

A pesar de que una de las dos variedades de esquistos es la dominante, alcanzando en ocasiones un predominio de más del 80%, siempre se presentan intercalaciones de la otra variedad, sugiriendo claramente un origen a partir de rocas estratificadas del Complejo Cajamarca.

Los esquistos negros fueron probablemente originados por un metamorfismo regional de sedimentos pelíticos o argilaceos como lodolitas y lutitas. Evidencias de su origen sedimentario se observan claramente tanto en afloramientos como en secciones delgadas donde su textura clástica es obvia. La fina laminación observada en los esquistos representa las variaciones sedimentarias originales; los granos detríticos observados en sección delgada tales como circón y turmalina, probablemente reflejan un área fuente continental. Las cuarcitas representan sedimentos meta-arenosos.

Por otra parte los esquistos verdes contienen cantidades apreciables de actinolita la cual representa una composición ultrabásica, relativamente baja en sílice y alta en magnesio y calcio, indicando un origen por metamorfismo de un material volcánico como fue sugerido por Nelson (1957, 1962). La fuente pudo ser de tobas volcánicas. El origen volcano-clástico puede ser explicado fácilmente por las intercalaciones entre los esquistos verdes y los esquistos negros observadas en campo.

La estrecha asociación entre los procesos sedimentarios y volcánicos es común durante la depositación bajo condiciones geosinclinales; la influencia volcánica es soportada por la presencia de grafito y pirita en los esquistos cuarzo-sericíticos, lo que sugiere además una depositación bajo condiciones reductoras.

Correlación.

El Complejo Cajamarca definido para este estudio, es correlacionado directamente con la parte Este del Complejo Cajamarca de Nelson (1957) definido en el área entre Ibagué y Armenia. En detalle este es correlacionado con rocas metamórficas de bajo grado, de las regiones altas de la cordillera entre Ibagué y "La Línea", al este de la falla de San Jerónimo. También en términos de su composición química ha sido correlacionado con las rocas cuarzo-aluminosas descritas por Feininger et al (1972) del área occidental de la falla Otú.

2.1.1.2 Rocas Mesozoicas.

2.1.1.2.1 Batolito de Santa Bárbara (PTrcd)

Son rocas ígneas de composición intermedia, (cuarzo diorita a tonalita) formadas principalmente de cuarzo, plagioclasa y biotita en cantidades variables; en menor cantidad hornblenda y feldespato potásico. La plagioclasa se caracteriza por su patrón de zonación, con un núcleo rico en calcio, localmente reabsorbido formando una textura de parches (Vance 1965). El batolito tiene una textura definida por la biotita con orientación NNW SSE (150°), paralela a su contacto fallado, lo que evidencia su origen tectónico.

En sección delgada las micas están fuertemente orientadas con cristales de cuarzo deformados y elongados, paralelamente a la fábrica de la biotita mostrando, textura en bandas (ribbon).

Este batolito conforma toda la parte media a alta de las cuencas de los ríos Fraile y Santa Bárbara, formando la mayor parte de las vertientes montañosas, hasta llegar a la zona de páramo en la divisoria de aguas. En la cuenca del río Bolo aflora solamente en la microcuenca de la quebrada La Cristalina.

El batolito intruye rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, de los Esquistos Básicos de Bugalagrande y de los Metagabroides s de Bolo Azul, produciendo contactos metamórficos.

En su contacto occidental el batolito intruye rocas de los Esquistos Básicos de Bugalagrande y de los Metagabroides de Bolo Azul, apreciándose en este último abundantes xenolitos metabásicos, algunos de los cuales contienen micropliegues.

Edad.

Un análisis radiométrico Rb-Sr dió una edad de 211 +/- 51 m.a. (Brook 1984, McCourt et al 1984), representativa de la edad de la intrusión. Sin embargo las edades de otros minerales, reportan edades más jóvenes que pueden indicar ligeros cambios por

metamorfismo o tectonismo.

2.1.1.2.2 Formación Amaime (Jka).

Aflora a lo largo del flanco Occidental de la Cordillera Central en un ambiente de vulcanismo básico. Predominan basaltos toleíticos, con extensos horizontes de lavas almohadilladas de color verde a grisáceo oscuro. Se encuentran afectadas visiblemente por venamiento de epidota que a veces constituye hasta el 15% del total de la roca. A la anterior deformación dúctil se superpone un diaclasamiento frágil relativamente apretado, con dirección norte-sur y una densidad superior a seis diaclasas por metro.

Esta Formación se extiende a lo largo del piedemonte occidental de la Cordillera Central, con dirección NE-SW, variando de 5 a 15 Km de ancho, rodeado por fallas regionales de dirección NNE. Su límite oriental corresponde a la traza principal de la falla de Romeral y su límite occidental es el valle del río Cauca.

Petrografía.

Los basaltos varían de color verde oliva a verde oscuro y de hialino a holocristalino. Pequeños fenocristales de clinopiroxeno son comunes en muestras microcristalinas y con la plagioclasa producen una textura subofítica. Los clinopiroxenos, están generalmente frescos con muy poca uralitización, identificados como augita. En contraste la plagioclasa se presenta extensivamente sausriritizada; fresca, es clasificada como labradorita. Los fenocristales son menos del 5 % de la roca; en algunas muestras el olivino está completamente alterado a serpentinita.

Las lavas almohadilladas son generalmente elipsoidales con bordes de enfriamiento de palagonita y diámetros mayores a 20 cm.

Correlación.

Las rocas toleíticas oceánicas de la Formación Amaime son en parte correlacionables con el Miembro volcánico de la Formación Quebradagrande descrita por González (1980) y con la secuencia de rocas ofiolíticas oceánicas de (Coleman 1977) que se presentan a lo largo del flanco occidental de la cordillera Central, asociadas con la falla de Romeral. Un importante ejemplo es el Complejo Ofiolítico del Cauca (Restrepo & Toussaint, 1975), el cual tiene una edad K-Ar de 126 +/-12 Ma.

Al sur, las rocas volcánicas de la Formación Amaime, son correlacionables con las lavas almohadilladas del tope estructural del complejo ofiolítico Los azules (Espinosa, 1980), a pesar de que Souza et al (1984) citan una edad mínima para esta unidad de 99 +/-3 m.a (Albiano), lo cual es debido posiblemente al metamorfismo del fondo oceánico.

Edad.

Los basaltos de la formación Amaime son intruidos por el batolito calco-alcálico de Buga, de Edad Cretácico Inferior 113 \pm 10 m.a.(Toussaint et al 1978). Estudios radiométricos más recientes en el batolito indican una edad de 99 \pm 4 m.a. que reflejan movimientos tectónicos tardíos (Brook, 1984). De otra parte la Formación Amaime es correlacionada con el Miembro Volcánico de La Formación Quebradagrande, definida por González (1980). Fuera del área de estudio, intercalaciones sedimentarias localizadas en el tope de las lavas, contienen fósiles marinos que indican una Edad Cretácico Inferior.

2.1.1.3 Rocas Terciarias.

2.1.1.3.1 Formación Vilela (Tcv).

Nombre propuesto por McCourt y Verdugo (1985), durante la elaboración de la Plancha 300 - Cali, para denominar una secuencia de "conglomerados", constituidos por fragmentos de rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Amaime y tobas arenosas que afloran localmente a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central, al norte de la población de Pradera.

Algunos afloramientos de poca extensión no cartografiados presentes cerca de la bocanoma del acueducto del municipio de Florida, parecen corresponder a la descripción anterior. Al norte de la cabecera municipal Pradera entre las quebradas La Leona y Salsipuedes, se encuentran afloramientos, similares a los descritos por McCourt y Verdugo (1985), compuestos por una brecha sedimentaria (de clastos angulares), cuyos fragmentos son de composición basáltica, clastosoportados, con arena gruesa relleno intersticios e intercalaciones de lentes de arcilla limosa. Es muy probable que esta unidad esté cubierta por los abanicos localizados entre Florida y Pradera

Esta unidad está afectada por movimientos de arrastre a lo largo de la Falla de Florida la cual limita la Formación por su lado oriental. Los conglomerados de la formación Vilela se distinguen de los otros de rocas terciarias de la Cordillera Central porque sus cantos se constituyen exclusivamente de basaltos derivados de la formación Amaime.

Tentativamente, la edad de esta Formación ha sido considerada como perteneciente al Plioceno.

2.1.1.4 Depósitos inconsolidados del Cuaternario.

Comprenden aluviones relacionados con los ríos principales, conos aluviales y depósitos de ladera. En la parte alta de las cuencas se encuentran depósitos fluvio-glaciares de poca

extensión, localizados principalmente por encima de los 3600 m.s.n.m.

Las zonas urbanas de los municipios de Pradera y Florida se hallan geológicamente localizadas sobre abanicos aluviales aterrizados (conos de deyección), los cuales se encuentran ampliamente descritos en los capítulos de geología de las cabeceras municipales mencionadas. Estos depósitos evidencian la torrencialidad de los ríos Bolo y Fraile y por su composición litológica las áreas de aporte.

2.1.2 Geología Estructural.

La dirección regional de las principales fallas geológicas, en el área de estudio, es hacia el norte con ligeras variaciones hacia el noreste. Las fallas más destacadas de occidente a oriente son: Falla de Guabas Pradera, Falla de Florida, Falla de Potrerillos, Falla de Romeral, Falla El Retiro, Falla de Buenavista y Falla de Güengué. Estas fallas presentan por lo general movimientos inversos, asociadas con el sistema de fallas Cauca Romeral.

Lineamientos y fallas inferidas con dirección E-W, cortan el sistema principal de fallas N-S, con generación de zonas regionales de cizallamiento. Estructuras como estas han sido reportadas en la memoria de la Plancha 300-Cali, con movimientos horizontales de tipo dextral. Evans y otros (1984) interpretan estos lineamientos como posibles fallas relacionadas con el movimiento principal del sistema de la Falla de Romeral, que tenía una componente de rumbo durante el Terciario Inferior.

2.1.2.1 Fallamiento.

En términos generales se presentan dos direcciones de fallas predominantes: NNE-SSW y NW-SE y un sistema de alineamientos de dirección ENE-WSW. Cada una de ellas, tiene una compleja y múltiple historia de movimientos, pero el elemento dominante es el sistema de interconexión de fallas regionales de alto ángulo con dirección N-S las cuales definen el trazo de la cordillera.

La mayoría de las fallas NNE-SSW, son inversas de alto ángulo, pero el patrón general de fallamiento es distintivo y similar a lo encontrado en otras zonas de colisión (Oeste de los Estados Unidos, Nueva Zelanda y Sumatra) las cuales están caracterizadas por la gran escala de los desplazamientos laterales resultado de movimientos tectónicos de rumbo, debido a la subducción oblicua (Aspden, 1984).

2.1.2.1.1 Fallas de dirección NNE-SSW.

Es el sistema más importante, directamente relacionado con el levantamiento de la Cordillera Central y que define los principales límites de la mayor parte de las unidades litológicas del área de estudio. Ellas son de oeste a este las siguientes:

Falla de Guabas-Pradera.

En el área de estudio esta falla fue determinada por estudios geofísicos en la Plancha 300-Cali, pasando por la población de Pradera. Está definida como una falla inversa de alto ángulo, cubierta por sedimentos de abanicos aluviales afectando, en profundidad, sedimentos del Terciario Superior. Su trazo se hace evidente en la esquina norte del área de estudio cerca de Pradera, donde afecta sedimentos de la Formación Vilela y un cono de deyección antiguo. Los rasgos geomorfológicos más sobresalientes de esta falla son alineamientos y desplazamiento de corrientes como el del río Bolo, frente al sector urbano de Pradera (Mapa 2).

Falla de Florida.

Su trazo se encuentra cruzando la población de Florida de la cual deriva su nombre. Fue reportada en la Plancha geológica 300-Cali. Los rasgos geomorfológicos más sobresalientes lo constituyen el fuerte alineamiento de corrientes como el de la quebrada La Leona, los ríos Bolo y Fraile, escalonamiento en abanicos aluviales, obturación de corrientes con la formación de un valle encajonado donde se localizan las haciendas San Cayetano y La Ruiza.

Se reporta como una falla inversa de alto ángulo con componente de desplazamiento horizontal de tipo dextral, que afecta rocas del Terciario (Formación Vilela) y en profundidad sirve de límite a rocas del Terciario con rocas ígneas volcánicas aflorantes al este de la falla.

Falla de Potrerillos.

Deriva su nombre de la vereda Potrerillos localizada al oriente de la población de Pradera, cerca de la quebrada Salsipuedes. Geomorfológicamente su rasgo más sobresaliente es la alineación de corrientes siendo los más notorios en un afluente de la quebrada Salsipuedes y el río Fraile, así como escalonamientos sobre depósitos de conos de deyección entre los ríos Bolo y Fraile. Texturalmente, se presentan planos de fricción, estrias y trituramiento de lavas basálticas y remanentes de conos de deyección antiguos.

Se reporta como una falla inversa de alto ángulo; sin embargo en el campo y por observaciones geomorfológicas evidenciadas por el desvío de corrientes, esta falla tiene componente horizontal con movimiento dextral.

Sistema de fallas de Romeral.

Define el límite Occidental del cinturón de esquistos paleozoicos y es interpretado como una sutura del Cretácico Inferior (McCourt et al 1984). Esta sutura separa en el área de estudio rocas continentales de rocas oceánicas.

Se involucra dentro de este sistema, la Falla El Retiro que es un ramal del trazo de la Falla principal. La falla de Romeral sirve de límite occidental a una zona deprimida de 2 a 3 km. de ancho, cuyo límite oriental es la falla de Bellavista, dentro del cual se encuentran las rocas más antiguas del área.

Dentro de su expresión geomorfológica más sobresaliente se destaca el alineamiento de corrientes, ganchos, sillas y silletas de falla, quiebres de pendientes, facetas triangulares, etc.

McCourt et al (1984) postuló un movimiento dextral en el Terciario Inferior para el Sistema de Fallas de Romeral. Es probable que los movimientos de los Sistemas de Fallas de Romeral y Palestina (al Norte, fuera del área de estudio) reflejen el mismo evento, ocasionado por la acreción de un bloque alóctono de la Cordillera Occidental, contra estas fallas, durante el Terciario inferior. Duque-Caro (1978) postuló un desplazamiento de rumbo con movimiento dextral en la falla de San Jorge en el Terciario Tardío. Esto se debe a que la falla de San Jorge es parte del Sistema de fallas de Romeral y porque la separación de la sierra de Santa Marta de la Cordillera Central pudo tener lugar en el Terciario Tardío, reflejando el mismo episodio de acreción.

Falla de Bellavista- Güengué.

Sirve de límite entre el Batolito de Santa Bárbara y rocas metamórficas de Bolo Azul y Bugalagrande, localizados al oeste de la falla y entre estas últimas y el Complejo Cajamarca ubicado al este de la falla.

Geomorfológicamente se distingue por el alineamiento de corrientes, ganchos, sillas y silletas de falla, quiebres de pendientes, facetas triangulares, etc. Por la expresión de su trazo en el campo e inclinación de planos de fricción, se considera como una falla inversa de alto ángulo.

2.1.2.1.2 Lineamientos de dirección ENE-WSW.

Son relativamente comunes en los cinturones de esquistos y en las rocas del Batolito de Santa Bárbara, pero son difíciles de identificar en las rocas volcánicas de la Formación Amaime. En detalle, representan zonas de fracturamiento regional, que pueden deberse a fallas locales.

Se caracterizan por no presentar, aparentemente, desplazamientos en los sistemas de fallas mayores de dirección N-S. En términos regionales los alineamientos sobre las rocas metamórficas presentan mayor control y es posible que sean estructuras antiguas dentro del cinturón paleozoico o del basamento precámbrico infrayacente. En las rocas ígneas del Batolito de Santa Bárbara, estos alineamientos son de tipo local, lo que explica en parte que

son posteriores a los anteriores y de origen diferente, posiblemente debidos a diaclasas de contracción por enfriamiento.

2.1.2.1.3 Fallas y alineamientos con orientación NW-SE.

Son más comunes en la parte oriental del área de estudio como claros lineamientos fotogeológicos, pero difícilmente identificables en el campo. La única falla con esta orientación es la Falla Bolo Azul cuyo trazo es paralelo al río del mismo nombre. Son interpretados como fracturas debidas a tensión, lo que refleja la orientación actual de la zona de Benioff, que de acuerdo con Pennington (1981) buza de 30 °-35° en dirección N120° E.

La Falla Bolo Azul, inicialmente de dirección NW-SE, cambia al llegar a la zona de páramo en la laguna La Cristalina, a dirección N-S, típica del sistema de fallas principales, alineando gran cantidad de lagunas y con la presencia de sillars, silletas. A ella se asocian gran cantidad de depósitos de ladera y talus, debido al fracturamiento de la roca.

2.1.2.2 Plegamientos

La foliación en los esquistos paleozoicos es casi constante en rumbo y buzamiento, a lo largo de toda la cordillera, lo que sugiere una ausencia regional de plegamientos. Pliegues menores locales se reportan, en general, en los esquistos, particularmente en los esquistos negros por ser más dúctiles.

2.1.3 Evolución Geológica.

El grupo de rocas más antiguas del área de estudio, son los metagabros de Bolo Azul, interpretados como remanentes de un arco volcánico, sobre el cual se depositaron a ambos lados, los sedimentos ricos en anfíbol del Bugalagrande, al occidente y los sedimentos ricos en cuarzo del Complejo Cajamarca, al oriente.

En el Paleozoico Superior (?) esta secuencia, fue acrecionada al bloque continental a lo largo de una sutura regional conocida hoy como el Sistema de fallas de Palestina (McCourt y Aspden 1984). El resultado de este periodo de subducción y acreción fue el metamorfismo de las rocas ya descritas.

Un nuevo régimen de subducción fue establecido con la intrusión de pequeños plutones los cuales fueron deformados por tectonismo y el cinturón metamórfico paleozoico fue desplazado sinistralmente y elongado a lo largo de fallas regionales N-S paralelas al margen continental.

Un incremento de las tasas de subducción llevó al establecimiento de rocas plutónicas a lo largo de la antigua Cordillera Central, entre las cuales se encuentra el Batolito de Santa

Bárbara. En el Cretácico temprano un segundo periodo de acreción tuvo lugar y la secuencia del piso oceánico del Mesozoico Inferior (Formación Amaime) fue acrecionada a la Cordillera Central a lo largo de la falla de Romeral (McCourt y Aspden, 1984); por lo tanto la Falla de Romeral es una sutura del Cretácico Inferior.

Asociado a esta acreción, hubo un gran periodo de metamorfismo dinámico a lo largo de la cordillera, pero concentrado a lo largo de la traza de la Falla de Romeral. La reactivación de la subducción en el Terciario Inferior (Paleoceno ?), produjo fallamientos de rumbo a lo largo del Sistema de Romeral.

Con el desarrollo de la cuenca del Graben del Cauca, en el Eoceno Superior (?), se inició un gran ciclo sedimentario, que continuó hasta el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior aproximadamente hace 25 m.a.

Un nuevo levantamiento ocurrió en el Plioceno Inferior (?) y grandes volúmenes de material clástico fueron depositados a lo largo de la costa del Pacífico y localmente en el Graben del Cauca (formación Vilela). Hace aproximadamente 3-4 m.a. ocurrió el principal levantamiento de la Cordillera Central.

El sistema de subducción establecido en el Mioceno inferior muy probablemente continúa hasta el presente, con la zona de Benioff en la parte sur central de Colombia buzando de 30° a 35° en dirección N 120° E debajo del sísmicamente activo margen continental Suramericano (Pennington 1981). Estos reajustes han generado en tiempos recientes procesos erosivos que han modelado el paisaje produciendo remoción en masa y los diferentes conos aluviales del borde occidental de la cordillera en el Graben del Cauca.

2.2 INGENIERIA GEOLOGICA.

La Ingeniería Geológica es una disciplina que usa el conocimiento obtenido de la fotointerpretación geomorfológica, de la observación de las estructuras y rocas en los afloramientos y de los análisis de laboratorio, para caracterizar o conocer el comportamiento y resistencia de los materiales frente a determinados cambios en las condiciones de equilibrio.

Con base en la interpretación e interrelación existente entre las características de tipo geológico (estructuras y litología), rasgos topográficos (morfología, relieve y pendiente natural), drenaje, grado de meteorización, aptitud estructural (dirección e inclinación de discontinuidades, esquistosidad, foliación), etc., se agrupó los diferentes materiales rocosos del área de estudio, en conjuntos de similar comportamiento geomecánico, en especial en lo referente a la resistencia de los materiales, susceptibilidad a procesos erosivos y estabilidad en laderas naturales.

En la clasificación de materiales rocosos para ingeniería, se dió un peso especial al

diaclasamiento, al grado de meteorización de rocas y a la clasificación de suelos, de acuerdo con el sistema U.S.C.S., siendo estos los parámetros que tuvieron mayor peso para diferenciar las unidades geotécnicas de la zona de estudio.

En las **tablas 2.2.1 y 2.2.2** se presentan los parámetros utilizados en la clasificación para ingeniería de rocas y suelos con los resultados de laboratorio.

El resultado gráfico es el mapa de ingeniería geológica donde aparecen las unidades de suelo y de roca, entendiéndose como suelos aquellos materiales que pueden ser excavados en forma manual o mecánica, sin el empleo de explosivos (**Mapa 3**)

2.2.1 Propiedades ingenieriles de los materiales rocosos.

Los criterios utilizados en este capítulo así como las convenciones utilizadas en el mapa con los términos explicativos para las diferentes unidades geológicas según el tipo de roca original presente y su comportamiento geotécnico, se presentan a continuación.

2.2.1.1 Grado de meteorización.

Se entiende por meteorización el proceso de alteración química y desintegración física de materiales rocosos, en o cerca de la superficie de la tierra. El tipo de meteorización resultante está fuertemente influenciado por el clima (lluvia y temperatura), la pendiente topográfica, la litología, el fracturamiento de las rocas, etc. Para describir el grado de meteorización normalmente se utilizan diferentes tipos de escalas descriptivas; Para el caso de este trabajo la que más se adapta es la descrita por Dearman (1974), mostrada en la **Tabla 2.2.3**.

2.2.1.2 Discontinuidades.

Se incluye en esta categoría las diaclasas, fisuras, planos de fricción, esquistosidad, bandeamiento, etc., presentes en los macizos rocosos. Estas discontinuidades han sido descritas teniendo en cuenta principalmente el espaciamiento y continuidad de las principales familias, ya que estas son las mejores indicadores del mecanismo de la falla (inestabilidad) del material rocoso. Se dan también indicaciones de otras características como espaciamiento, persistencia y abertura, **Tabla 2.2.4**.

| UNIDADES DE ROCA | | | | | | | | | |
|--|---|--|---------------------|--------------------------------------|--|--|---|--|---|
| CONVENCIÓN | Principalmente esquistos cuarzosericiticos, cloríticos anfíbolicos, negros, metagabros, neises y anfíbolitas (2), (3) y (4) | | | | Cuarzodioritas biotíticas (6) | | Lavas basálticas y Almohadilladas (5) | | Brecha sedimentaria de Tipo Volcánico (1) |
| | Rac5 (2) | Rac5 (3) | Rmd2,3 (4) | Rmd5 (3) | Rac2 (4) | Rmd2 (6) | Rmm5 (5) | Rac5 (5) | RBm (1) |
| FOLIACIÓN O ESQUISTOSIDAD | Variable N20E/80E, N20-70W/80E | Variable N40W/70W, N5W/80W, N35 a 75W/34 a 70E | Bloques prismáticos | Variable N85W/85W, N20W/35W, N-S/85E | No tiene Bloques romboidales | No tiene Bloques romboidales | No tiene Fragmentos rectangulares e irregulares al azar | No tiene | No tiene |
| DIACLASAMIENTO DE LA | Muy estrechamente espaciadas | Ampliamente espaciadas | | Bloques romboidales | Bloques romboidales | Bloques romboidales | Muy estrechamente espaciadas | Relativamente masiva | Ampliamente espaciadas |
| ROCA | Pocos mm. | Pocos mm. | Pocos mm. | Generalmente cerradas | Menos de 10cm. | 0.6 a 2m. | Pocos mm. | Pocos mm. | Generalmente cerradas |
| GRADO DE | N35-50E/34-55E, N80E/45W, N10E/90W, N60-80W/34-85W | Tres familias | Tres familias | Tres familias | N50-80W/30-60SW, N5-N10E/30-60NW, N60 80E/70-80 SE | | | | De forma irregular e insipiente |
| METEORIZACIÓN | Alta a completamente meteorizada | Moderada a débil | Bloques prismáticos | Moderada a débil | Alta a completamente meteorizada Matriz ML-MS | Moderada a débil | Moderadamente meteorizada. | Alta a completamente meteorizada | Moderadamente meteorizadas |
| PERMEABILIDAD DE CAMPO | Romboidales 1 a 3 m. | Secundaria impermeable a semipermeable | Desconocido | Bloques romboidales | Bloques romboidales | Bloques romboidales | Desconocido | Irregulares | Roca relativamente masiva |
| FACILIDAD DE EXCAVACIÓN | Buena por métodos mecánicos | Principalmente con explosivos | Regular | Regular | Únicamente con explosivos | Únicamente con mecánicos y manuales explosivos | De buena a moderada con métodos mecánicos. | Primaria escasa, secundaria impermeable a semipermeable. | Semipermeable a impermeable |
| ESTABILIDAD DE LADERAS NATURALES | Mala a regular | Regular | Regular | Regular | Regular | Regular | Regular | Regular | Buena a regular. |
| SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA | Alta | Media a alta | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Baja a media |

Tabla 2.2.1 Clasificación de materiales rocosos.

| FACILIDAD DE EXCAVACION | ESTABILIDAD DE LADERAS NATURALES | CLASIFICACION U.S.C.S. | HUMEDAD NATURAL (w%) | LIMITES DE ATTERBERG | | | CONVENCIÓN |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|------------|
| | | | | LL% | LP% | IP% | |
| Buena con métodos mecánicos | Buena | GP | 1 | NL | NP | 0.00 | AI |
| Buena con métodos mecánicos | Buena | GP | 3 | NL | NP | 0.00 | Qca4 |
| Buena con métodos mecánicos | Buena | GM - GP | 3 a 12 | 22.1-49. | 22.1-30.3 | 0 - 19 | Qca3 |
| Buena a regular con métodos mecánicos | Buena | GP parte superior MH parte inferior | 3 - 9 30 - 40 | NL 63.5 | NP 38.5 | 0 - 25 | Qca 2 |
| Buena con métodos mecánicos | Buena | ML-CI | 7.00 | 30.8 | 23.7 | 7.00 | Qca1 |
| Buena | Regular a mala | GM - GP | 5 a 16 | NL 49.1 | NP 35.4 | 0.30 | Sco1 |
| Regular con métodos mecánicos | Regular | ML (la matriz) | 37.0 | NL | NP | 0.00 | |
| Regular con métodos mecánicos | Regular a mala | GP - SP | 1 a 15 | NL | NP | 0.00 | Sco3 |
| Buena a regular con métodos mecánicos | Regular | GP | 10 | NL | NP | 0.00 | Sta |
| Buena | Buena | GM (La matriz) | 21 | NL | NP | 0.00 | smo |
| Regular con métodos mecánicos | Mala | GP | | NL | NP | 0.00 | Sta |
| Regular a Buen | Moderada | SM, S,C, MH, SH, ML | 14 - 36 42 - 52 | NL - 35.8 49.5 - 73.8 | NP - 29.6 39.2 - 43.4 | 0 - 18 26.33 | Sr |

Tabla 2.2.2 Clasificación de suelos y depósitos.

2.2.1.3 Convenciones litológicas.

En la **Tabla 2.2.5** se muestran las convenciones utilizadas en el mapa de ingeniería para identificar la Formación a la cual corresponde cada unidad de ingeniería descrita.

En el mapa de Ingeniería Geológica, la nomenclatura de las diferentes unidades de roca, está determinada por símbolos correspondientes a letras y números, que indican en conjunto los parámetros utilizados en su clasificación (ver **Tablas 2.2.3 a 2.2.5**). Por ejemplo la unidad Rac5(4), significa que es un conjunto de rocas alta a completamente meteorizadas (Rac), con grado de diaclasamiento 5 (diaclasas muy estrechamente espaciadas), el número entre paréntesis indica el tipo de litología, que para el caso, son loss Metagabros de Bolo Azul.

| Término | Descripción | Grado de Meteorización | Símbolo usado en el mapa |
|--------------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| Suelo Residual | Horizonte A | VI | Sr |
| | Horizonte B | | |
| | Horizonte C: Saprolito. Presencia de fragmentos y bloques de roca menor del 10% (textura original no visible) | | |
| Roca completamente meteorizada | Todo el macizo rocoso está completamente meteorizado. Se desmenuza fácilmente con la mano, se observan estructuras de la roca original, presencia de fragmentos de roca entre 10% y 35% | V | c |
| Roca altamente Meteorizada | Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. Presencia de núcleos de roca sin meteorizar entre 35% a 70%. El material aún se deja excavar con el martillo sin dificultad. | IV | a |
| Roca moderadamente meteorizada | Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. La roca se presenta altamente decolorada. Para sacar muestras se necesita martilleo moderado. | III | M |
| Roca ligeramente meteorizada | La ligera decoloración del macizo rocoso es el indicativo de la meteorización, la roca aún es dura y resistente. | II | D |
| Roca inalterada o fresca | Sin signos visibles de meteorización, superficies brillantes en las discontinuidades. | I | i |

Tabla 2.2.3 Perfil de meteorización. Modificado de Dearman (1974)

| Espaciamiento | | Descripción | | Símbolo empleado en el mapa | |
|---------------|--|---|------------------------|-----------------------------|----------------|
| Mayor de 2 m | | Muy ampliamente espaciadas | | 1 | |
| 60 cm a 2 m | | Ampliamente espaciadas | | 2 | |
| 20 cm a 60 cm | | Moderadamente espaciadas | | 3 | |
| 6 cm a 20 cm | | Estrechamente espaciadas | | 4 | |
| Menor de 6 cm | | Muy estrechamente espaciadas (roca triturada) | | 5 | |
| PERSISTENCIA | | | ABERTURA | | |
| Descripción | | Longitud | Descripción | | Abertura |
| Muy baja | | < 1 m | Muy apretadas | | 0.1 mm- 0.5 mm |
| Baja | | 1-3 m | Ligeramente Abiertas | | 0.5 mm- 2.5 mm |
| Media | | 3-10 m | Abiertas | | 2.5mm-1 cm |
| Alta | | 10-20 m | Muy Abierta | | 1cm- 10 cm |
| Muy alta | | > 20 m | Extremadamente abierta | | 10 cm-1m |
| | | | Cavernosas | | > 1m |

Tabla 2.2.4 Indices de espaciamiento, persistencia y abertura de diaclasas (Matula, 1981).

| Unidad | Descripción | Símbolo empleado en el mapa |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| Formación Vilela | Brecha sedimentaria con fragmentos volcánicos | (1) |
| Esquistos Básicos de Bugalagrande | Principalmente esquistos anfibólicos, cloríticos y negros grafitosos | (2) |
| Complejo Cajamarca | Principalmente esquistos cuarzosericíticos, negros y cloríticos | (3) |
| Metagabroides de Bolo Azul | Principalmente metagrabros, neises hombléndicos y anfibolitas | (4) |
| Formación Amaime | Lavas basálticas almohadilladas | (5) |
| Batolito de Santa Bárbara | Cuarzodiorita biotítica | (6) |

Tabla 2.2.5. Formaciones de roca con la convención utilizada en el mapa de ingeniería

Teniendo en cuenta lo anterior, las rocas de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile fueron agrupadas en ocho unidades:

Rac5 (2,3,4). Roca alta a completamente meteorizada, con diaclasas muy estrechamente espaciadas, perteneciente a los Esquistos Básicos de Bugalagrande, Complejo Cajamarca y a los Metagabros de Bolo Azul.

Rac5 (5). Roca alta a completamente meteorizada, con diaclasas muy estrechamente espaciadas, correspondiente a lavas basálticas almohadilladas.

Rmd5 (3). Roca moderada a débilmente meteorizada, con diaclasas muy estrechamente espaciadas, pertenecientes a rocas con metamorfismo regional del Complejo Cajamarca.

Rmd2, 3 (3 y 4). Roca moderada a débilmente meteorizada, con diaclasamiento de ampliamente a medianamente espaciado, proveniente del Complejo Cajamarca y de los Metagabros de Bolo Azul.

Ra2 (6). Roca alta a completamente meteorizada, con diaclasas ampliamente espaciadas, pertenecientes a cuarzodioritas biotíticas (Batolito de Santa Bárbara).

Rmd2 (6). Roca moderada a débilmente meteorizada, con diaclasas ampliamente espaciadas, de cuarzodioritas biotíticas.

Rm5 (5). Roca moderadamente meteorizada, con diaclasas muy estrechamente espaciadas, pertenecientes a lavas basálticas almohadilladas.

Rbm (1). Roca blanda, moderadamente meteorizada, perteneciente a la Formación Vilela.

A continuación se hace la descripción de cada una de las unidades mencionadas.

2.2.1.4 Unidad Rac5 (2,3 y 4)

Involucra rocas con metamorfismo regional, principalmente esquistos cuarzosericíticos, cloríticos, anfibólicos y negros, metagabros, neises y anfibolitas, pertenecientes a los Esquistos de Bugalagrande, Complejo Cajamarca y los Metagabros de Bolo Azul, descritos en el capítulo de geología. En términos generales conforman una unidad homogénea desde el punto de vista de comportamiento geotécnico.

Las dos características sobresalientes de esta unidad geotécnica, son su grado de meteorización variable entre roca alta a completamente meteorizada y el patrón de diaclasamiento tipo bloques romboidales, separadas 0,5 a 6 cm, catalogada de acuerdo con Matula (1981), como roca con diaclasas muy estrechamente espaciadas (roca triturada), condiciones que se relacionan íntimamente con la presencia de actividad tectónica y que

hacen que esta unidad esté en su gran mayoría dispuesta en forma de bandas paralelas a las principales fallas del sector, como las fallas El Retiro y Bellavista (ver **mapa 3**).

Las anteriores características intrínsecas de estas unidades, son las responsables de las geomorformas características, condiciones de estabilidad, permeabilidad, etc., que las distinguen. Desde el punto de vista topográfico, su relieve es de tipo montañoso suave con laderas inclinadas 15° a 40°, que constituye una franja deprimida, localizada en dirección norte sur, paralela a las fallas del Retiro y Bellavista. En el río Bolo, parte de la unidad se asocia a zonas de fracturas y fallas menores, que alinean el río Bolo Azul y la quebrada La Arenosa, cuenca media alta, pero que en general representa zonas de debilidad por tectonismo.

Por otra parte, el grado de fracturamiento tiene profunda influencia en los contrastes de permeabilidad secundaria y en el grado de meteorización, generando materiales rocosos con comportamiento geotécnico de depósitos granulares gruesos (**Fotografía 2.2.1**), tipo mezclas de grava y arena con pocos finos y mezclas de grava, arena y limo, clasificados en el sistema USCS como suelos GP y GM (**Tabla 2.2.6**). Estos materiales son permeables a semipermeables, en contraste con la roca en profundidad, donde las fracturas se encuentran cerradas y la permeabilidad disminuye considerablemente. Las condiciones intrínsecas anteriores, son las responsables de la generación de movimientos en masa tipo flujos de detritos, como los mostrados en las fotos anteriores y de deslizamientos planares y rotacionales, generados en temporada lluviosa.

| Muestra N° | Wn | LL | Lp | Ip | Gravas% | Arena % | Finos % | Clasif. USCS |
|------------|-----|------|------|----|---------|---------|---------|--------------|
| RBs.11,1 | 1,0 | NL | NP | 0 | 85,5 | 11,0 | 3,5 | GP |
| RBs. 30,1 | 6,0 | 32,6 | 26,8 | 6 | 62,0 | 20,5 | 17,5 | GM |

Tabla 2.2.6 Clasificación granulométrica de rocas trituradas. Unidad Rac5 (2,3 y 4)

De otro lado, por efectos de la gravedad y por formación de cuñas hidráulicas, es común la presentación de desprendimientos. Los flujos lentos se presentan comúnmente, en sectores de material con abundante presencia de finos (suelos GM).

La unidad Rac5 (2,3 y 4), ha tenido influencia decisiva en la estabilidad general de la cuenca del río Bolo, constituyéndose en la zona con mayor grado de inestabilidad, reflejada claramente en la composición de los grandes conos de deyección, dejados por las corrientes que drenan el área, en su desembocadura al río Bolo. Ejemplo de ello son los conos de las

quebradas El Nogal, Los Tambos, Agua Fría, El Retiro, río Bolo Blanco, etc. A través de procesos similares se generó la planicie localizada entre las poblaciones de El Retiro y Las Ferias. Origen parecido tiene la planicie donde se localiza la ciudad de Pradera, constituida por conos de deyección coalescentes, compuestos principalmente por fragmentos de neises y esquistos anfibólicos, provenientes de la zona descrita. En conclusión, puede decirse que esta unidad, constituye el área de mayor aporte de material sólido, durante la generación de avenidas torrenciales del río Bolo y por lo tanto es una de las zonas de mayor inestabilidad de cuenca.



Fotografía 2.2.1. Unidad Rac5 (2,3,4). Metagabroides de Bolo Azul, triturados por efecto de la Falla El Retiro, generando Flujos de Detritos. Cuenca del Río Santa Bárbara

En la cuenca del río Fraile, el área descrita sigue siendo igualmente inestable, pero la superficie de exposición es menor, con laderas menos inclinadas, lo que minimiza su contribución en la generación de avenidas torrenciales. Como veremos más adelante, la zona con mayor aporte de sólidos para la generación de este tipo de eventos está constituida por rocas del Batolito de Santa Bárbara.

2.2.1.5 Unidad Rmd 2,3 (2,3 y 4).

Son rocas con metamorfismo regional, principalmente esquistos cuarzosericíticos negros y cloríticos, metagabros, neises hornbléndicos y anfibolitas, pertenecientes al Complejo Cajamarca, Metagabros de Bolo Azul y en menor proporción a los Esquistos Básicos de Bugalagrande. La unidad representa aproximadamente el 40% del total de la cuenca del río Bolo, en su parte media-alta. En el río Fraile la unidad está restringida a pequeñas áreas localizadas dentro de una franja de aproximadamente 2,5 Km de ancho en la parte media baja de la cuenca.

La situación anterior muestra claramente la influencia en los problemas de inestabilidad y generación de crecientes torrenciales de la cuenca del río Bolo, que junto con la unidad descrita en el capítulo anterior, controlan la casi totalidad de la dinámica del río.

La topografía es también diferente en las dos cuencas, siendo para el río Bolo montañosa abrupta, con laderas inclinadas 40° a 80°, mientras que para el río Fraile es montañosa suave con laderas inclinadas aproximadamente 15° a 60°.

Las características más sobresalientes, desde el punto de vista geotécnico, son su grado de meteorización moderado a débil, patrón de diaclasamiento en forma de bloques prismáticos, con separación de diaclasas amplias a medianamente espaciadas (**Fotos 2.2.2 y 2.2.3**), que presentan un claro control estructural, asociándose a las fallas de Bellavista, Romeral y El Retiro. Se distinguen, a groso modo, tres familias de diaclasas mostradas en la **Tabla 2.2.7**, que junto con la esquistosidad generan fragmentos prismáticos y romboidales, favoreciendo los desprendimientos, volteos y ocasionalmente de deslizamientos planares (**Fotos 2.2.2 y 2.2.3**) produciendo depósitos coluviales, con ángulos de reposo de 40° a 45°, con posibilidad de moverse en temporadas invernales contribuyendo a la generación de flujos de escombros.

| RANGO DE DIRECCIÓN | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Familia No. | 10-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-100 | 260-179 | 280-299 | 300-319 | 320-339 | 340-329 | Total |
| I | | 4 | 3 | 3 | | | 1 | 1 | | | 12 |
| II | | | 1 | 1 | | | 3 | 1 | 2 | 2 | 10 |
| III | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 6 |

Tabla 2.2.7. Rango de dirección de diaclasas de la unidad geotécnica Rm2,3(3,4)



Fotografía 2.2.2. Néises anfibólicos moderadamente meteorizados, mostrando el patrón típico de diaclasamiento en bloques prismáticos paralelos a la ladera, originando deslizamientos de roca planares.



Fotografía 2.2.3. Patrón típico de diaclasamiento en bloques prismáticos y cuñas en néises anfibólicos moderadamente meteorizados. El martillo indica una zona de trituramiento dejada por el paso de la Falla de Buenavista.

2.2.1.6 Unidad Rmd5 (3).

Son rocas con metamorfismo regional, principalmente esquistos cuarzosericíticos, cloríticos finamente laminados y ocasionalmente esquistos negros, (Complejo Cajamarca) moderada a débilmente meteorizados, con patrón de diaclasamiento tipo bloques romboidales, con discontinuidades separadas menos de 10 cm, generalmente cerradas o abiertas pocos milímetros.

La unidad se localiza a lo largo del río Bolo Azul, formando una franja de aproximadamente 1,5 Km de ancho, a lado y lado de la Falla Bolo Azul, constituyendo en términos generales una brecha de falla. Su topografía es de zona montañosa, con laderas fuertemente inclinadas 30° a 50°. La unidad se considera moderadamente estable, con la presentación de pequeños desprendimientos, que han generado a través del tiempo depósitos coluviales, que en épocas de invierno pueden desestabilizarse con la generación de flujos lentos y rápidos.

2.2.1.7 Unidad Rac2 (6).

Cuarzodioritas biotíticas alta a completamente meteorizadas con diaclasas ampliamente espaciadas (0,6 a 2,0 m).

La unidad se presenta en la cuenca del río Bolo en forma restringida entre el río Bolo Blanco y la Falla de Bellavista, cubriendo un área de aproximadamente 15,5 Km². Por lo tanto su influencia en la dinámica del río Bolo se considera baja, como lo demuestra la composición litológica de los diferentes conos de deyección y depósitos aluviales presentes en los alrededores de Pradera.

En la cuenca del río Fraile, su superficie de afloramiento es más amplia localizándose en la parte media de la misma, en forma de una franja de aproximadamente 6,5 Km de ancho, que se extiende desde la quebrada Los Caleños y la Gorgonera, al oeste, hasta las quebradas las Brisas y el Encanto, al este, cubriendo una superficie del orden de 81 Km² que contiene microcuencas importantes desde el punto de vista de inestabilidad, como son las quebradas Granates, La Esencial, La Cristalina, San Antonio, Los Chorros etc. (mapa de ingeniería geológica), consideradas como las principales aportantes de materiales sólidos durante la generación de crecientes torrenciales del río Fraile. Los depósitos de cono de deyección, sobre los cuales se asienta la población de Florida, y los sedimentos actuales de tipo fluviotorrencial, incluyendo los dejados durante la creciente del 31 de enero de 1994, indican por su composición litológica de fragmentos de cuarzodioritas biotíticas, que esta es la zona de mayor aporte de material sólido durante las avenidas torrenciales.

La topografía característica de esta unidad es de tipo montañoso, con laderas inclinadas 30° a 40°, con interfluvios en su mayoría redondeados, aunque ocasionalmente en el río Fraile a la altura de la quebrada Granates se presentan interfluvios agudos. Las dos características geotécnicas más importantes de esta unidad son su separación de diaclasas entre 0,6 y 2,0 m y su grado de meteorización alto.

Se realizaron varios análisis granulométricos para la roca completamente meteorizada (**Tabla 2.2.8**), dando como resultado limos de baja plasticidad y mezclas de limos y arenas. Lo anterior, unido al rango de separación de diaclasas, a la pendiente topográfica etc., explican el hecho de que el principal fenómeno de inestabilidad son los flujos de suelo y de escombros de tipo superficial, que al canalizarse por las quebradas y el río, puede generar grandes avenidas torrenciales, con material sólido tamaño limos, arenas y bloques de hasta 6,0 m de diámetro. Otro tipo de inestabilidad menos frecuente son los desprendimientos y la formación de surcos y cárcavas.

| UNIDAD DE SUELOS | Muestra Número | Wn % | LL% | Lp% | Ip% | Gravas % | Arenas % | Finos % | Clasificación U.S.C.S. |
|---|--|------------|------|------|-----|----------|----------|---------|------------------------|
| Sedimentos Activos (A) | Rbs 55-1 | 1,0 | NL | NP | 0 | 70,1 | 15,1 | 14,8 | GP |
| | Qca4 Rbs 53-1 | 3,0 | NL | NP | 0 | 78,8 | 10,9 | 10,3 | GP |
| DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES | Rbs 32-1 | 9,0 | 23,4 | 22,6 | 1 | 53,1 | 25,0 | 21,9 | GM |
| | Rbs 52-1 | 9,0 | NL | NP | 0 | 76,6 | 15,8 | 7,6 | GP |
| | Rbs 77-1 | 3,0 | 22,1 | 22,1 | 0 | 63,9 | 21,1 | 15,0 | GP |
| | Rbs 78,1 | 12 | 49,4 | 30,3 | 19 | 56,3 | 23,7 | 18,1 | GM |
| | Rbs 33-1 | 3,0 | NL | NP | 0 | 62,5 | 27,4 | 10,1 | GP |
| | Rbs 43,1 | 5,0 | NL | NP | 0 | 75,6 | 20,1 | 4,3 | GP |
| | Rbs 43,2 | 8,0 | NL | NP | 0 | 73,8 | 20,0 | 6,1 | GP |
| | Rbs 44,1** | 6,0 | NL | NP | 0 | 78,2 | 12,5 | 9,3 | GP* |
| | Rbs 44,2** | 9,0 | NL | NP | 0 | 74,8 | 23,0 | 22,0 | GP* |
| | Rbs 44,3** | 30 | 63,5 | 38,5 | 25 | 27,2 | 14,1 | 58,7 | MH* |
| | Rbs 44,4** | 40 | NL | NP | 0 | 18,7 | 27,3 | 53,9 | MH* |
| | Qca1 Rbs 65,1 | 7,0 | 30,8 | 23,7 | 7 | 20,1 | 33,4 | 46,5 | CL |
| | MATRIZ DE CUARZO-DIORITA COMPLETAMENTE METEORIZADA | Rbs 10,1** | 15,0 | | | | | | |
| Rbs 10,2** | | 17,0 | 34,6 | 30,7 | 4 | 0 | 49,1 | 50,9 | ML |
| Rfs 4-1 | | 19,0 | 20,3 | 18,3 | 2 | 3,2 | 77,4 | 19,4 | SM |
| COLUMNONES DERIVADOS CUARZODIORITAS Sco2 | Rbs 22-1 | 37 | NL | NP | 0 | 28,8 | 34,4 | 36,8 | ML |
| COLUMNONES DERIVADOS DE ESQUISTOS Y BASALTOS Sco1 | Rbs 13-1 | 16 | NL | NP | 0 | 54,9 | 12,8 | 32,2 | GP |
| | Rbs 16-1 | 7,0 | NL | NP | 0 | 50,1 | 25,0 | 24,9 | GP |
| | Rbs 17-1 | 5,0 | 21,5 | 18,6 | 3 | 67,6 | 19,1 | 13,4 | GM |
| | Rbs 31-1 | 16 | 45,7 | 29,4 | 16 | 57,3 | 15,2 | 27,5 | GM |
| | Rbs 37-1 | 7,0 | 46,7 | 35,4 | 11 | 44,8 | 26,2 | 29,0 | GM |
| | Rbs 41-1 | 9,0 | 21,6 | 20,1 | 2,0 | 51,1 | 27,3 | 21,6 | GM |
| | Rbs 61-1 | 7,0 | NL | NP | 0 | 79 | 15 | 6 | GP |
| | Rbs 76-1 | 16,0 | 49,1 | 19,8 | 30 | 14 | 31,4 | 54,6 | ML |
| COLUMNONES DERIVADOS DE NEISES, METAGABROS Y ANFIBOLITAS Sco3 | Rbs 46-1** | 15 | NL | NP | 0 | 37,2 | 47,4 | 15,4 | SP |
| | Rbs 46-2** | 1,0 | NL | NP | 0 | 97,4 | 2,5 | 0,1 | GP |
| | Rbs 48-1 | 7,0 | NL | NP | 0 | 68,6 | 19,2 | 12,2 | GP |
| | Rfs 7-1 | 23 | NL | NP | 0 | 35,2 | 33,9 | 30,9 | GP |
| | Rfs 18-1 | 14 | NL | NP | 0 | 2,6 | 64,4 | 43,1 | SP |
| | Rfs 21-1 | 8,0 | NL | NP | 0 | 66,2 | 23,6 | 10,2 | GP |
| | Rfs 26-1 | 7,0 | NL | NP | 0 | 64,4 | 17,2 | 18,4 | GP |
| SUELOS DE LAVADO DE LADERAS S1a | Rfs 32-1 | 10 | NL | NP | 0 | 66,2 | 30,1 | 4,1 | GP |
| MORRENAS Smo | Rbs 20-1 | 21 | 1* | 1* | 0 | 38,8 | 26,3 | 34,9 | GM |
| SEDIMENTOS DEL CAUCE MAYOR DE RIOS Y QUEBRADAS (A) | Rbs 55-1 | 1,0 | NL | NP | 0 | | | | |
| | AP-10 (Florida) | 1 | NL | NP | 0 | 20 | 40 | 17 | SM |
| | | 1 | NL | NP | 0 | 60 | 25 | 4 | GM |
| SUELOS RESIDUALES Y MILONITAS COMPLETAMENTE METEORIZADAS Sr | Rbs 45-1 | 17,0 | NL | NP | 0 | 35,4 | 38,2 | 26,4 | SM |
| | Rbs 60-1** | 52,0 | 58,4 | 27,8 | 31 | 0 | 12,7 | 87,3 | CH |
| | Rbs 60-2 | 15,0 | 60,7 | 37,1 | 33 | 37,7 | 42,2 | 20,1 | SC |
| | Rbs 62-1 | 30,0 | 37,6 | 24,8 | 13 | 15,7 | 14,1 | 70,1 | MH |
| | Rbs 63-1 | 36,1 | 73,9 | 43,2 | 31 | 0 | 5,0 | 95,0 | MH |
| | Rfs 6-1 | 25,0 | 20,9 | 18,9 | 2 | 0 | 61,8 | 38,2 | SM |
| | Rfs 6-2 | 20,0 | 49,5 | 41,5 | 8 | 18,3 | 59,6 | 22,1 | SM |
| | Rfs 8-1 | 24,0 | 33,0 | 29,6 | 3 | 7,7 | 30,7 | 61,6 | ML |
| | Rfs 10-1 | 42,0 | 61,3 | 43,4 | 18 | 0 | 41,4 | 58,6 | ML |
| | Rfs 19-1** | 19,0 | NL | NP | 0 | 0 | 52,2 | 47,8 | SP |
| | Rfs 19-2** | 14,0 | 30,5 | 27,7 | 3 | 16,9 | 40,5 | 42,7 | ML |
| | Rfs 23-1 | 41,0 | 35,8 | 23,5 | 12 | 0 | 58,0 | 42,0 | SC |
| | Rfs 24-1 | 35,0 | 55,5 | 39,2 | 16 | 5,4 | 38,9 | 55,7 | MH |
| | Rfs 29-1 | 47,3 | 68,2 | 42,7 | 26 | 0 | 13,2 | 86,8 | MH |
| | Rfs 31-1 | 38,0 | 66,4 | 39,7 | 27 | 0 | 14,8 | 85,2 | MH |

*1: Muestra insuficiente.

** : Corresponde a muestras de un mismo apique tomadas a diferente profundidad. La muestra 1 es la más superficial y la 3 la más profunda.

Tabla 2.2.8 Resumen de resultados de los ensayos básicos de clasificación de suelos.

2.2.1.8 Unidad Rmd2 (6).

Cuarzodioríticas biotíticas, moderada a débilmente meteorizadas, con diaclasas ampliamente espaciadas (0,6 m a 2,0 m).

En la cuenca del río Bolo esta unidad se presenta en la parte alta, a lo largo de una franja de 0,5 a 2,0 km. de ancho, localizada en el costado sur del río Bolo Azul, formando la divisoria de aguas entre éste y el río Santa Bárbara (**Mapa 3**).

En la cuenca del río Fraile, forma también la parte alta de la misma, incluyendo la zona de páramo, con superficie de afloramiento de aproximadamente 105 km². La topografía es montañosa a abrupta con divisorias de aguas dentadas y pendientes entre 30° y 40° (**Fotografía 2.2.4**). El proceso de inestabilidad característico lo constituye la presencia de desprendimientos de rocas de variados tamaños, desde pocos centímetros hasta bloques de 4 y 6 m, que generan depósitos coluviales con escasa matriz, que en principio son estables, pero sin embargo a la orilla de corrientes, por pérdida de soporte lateral, pueden generar flujos de detritos.

2.2.1.9 Unidad Rmm5 (5).

Lavas basálticas almohadilladas, moderadamente meteorizadas, con diaclasas muy estrechamente espaciadas (roca triturada).

Aflora parcialmente en la parte baja de la cuenca del río Bolo, sobre una franja de aproximadamente 5,5 km. de ancho, presentando topografía montañosa suave a moderada, con laderas inclinadas 30° a 60°, interfluvios redondeados, drenaje dendrítico de densidad intermedia y disección moderadamente profunda.

de fallas, de donde deriva su característica de macizo rocoso completamente fracturado, con la diferencia que las fracturas están generalmente cerradas y la roca es más resistente, haciéndose difícil su extracción por métodos mecánicos.

El diaclasamiento presenta múltiples direcciones entre las que se destacan: N 70° E / 90°, N 43° E / 56° W, N 22° E / 48° E, N 27° W / 50° W, N10° W / 70° E, N80° W / 49° E y N 72° W / 87° W. Los procesos morfodinámicos dominantes son la erosión difusa generalizada y la presencia esporádica de pequeños desprendimientos, considerándose en general como una unidad moderadamente estable.



Fotografía 2.2.4 Contacto intrusivo entre rocas ígneas y metamórficas. Las primeras (cuarzodioritas biotíticas moderada a débilmente meteorizadas) forman escarpes dentados y los esquistos desarrollan laderas empinadas cubiertas por delgados depósitos coluviales.

2.2.1.10 Unidad Rac5 (5)

Lavas basálticas almohadilladas alta a completamente meteorizadas, con diaclasas muy estrechamente espaciadas (roca triturada) .

Aflora en la parte baja de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, a lo largo de una franja de aproximadamente 4, 0 a 5,5 km. de ancho, de topografía montañosa suave y colinas bajas, con interfluvios redondeados, drenaje dendrítico moderadamente denso con disección profunda.

Estructuralmente se encuentra cruzada, en forma longitudinal, por varias fallas geológicas,

entre las que sobresalen las fallas de Potrerillos y Florida, que son las responsables del grado de diaclasamiento de la roca, pudiendo considerarse toda la unidad como zona de brecha de falla. El patrón de diaclasamiento es de bloques romboidales, de 1,0 a 10 cm de diámetro (**Fotografía 2.2.5**), a pesar de lo cual es posible distinguir cuatro familias de diaclasas, orientadas: N 60° a 70° W / 45° W, N 20° a 30° W / 90° y N 70° a 80° E / 75° W, generalmente abiertas hasta 3 y 4 mm, limpias o parcialmente rellenas por arena-limo-arcillosa.

Las condiciones de meteorización y diaclasamiento hacen que la roca tenga comportamiento de suelo, dejándose excavar con suma facilidad por el martillo, buldozer y retroexcavadora, razón por la cual se emplea como fuente de materiales pétreos para rellenos.

Los procesos morfodinámicos dominantes sobre esta unidad geotécnica, son principalmente fenómenos de tipo erosivo y de remoción en masa superficial. Sobresale la presencia generalizada de erosión difusa y surcos y cárcavas. Los procesos de remoción en masa incluyen terracetas y flujos superficiales de tierra de poca extensión, con espesores de 0,5 a 2,5 m. En cortes de vías con taludes subverticales de más de 1,0 m de altura se pueden presentar desprendimientos (**Fotografía 2.2.5**).

2.2.1.11 Unidad Rbm (1).

Se presenta exclusivamente en la parte baja de la cuenca del río Bolo, al noreste de la población de Pradera. Su superficie de afloramiento es de aproximadamente 7,0 Km² y su influencia en la dinámica del río Bolo es mínima.

La topografía típica es de colinas bajas redondeadas, con inclinación de laderas entre 15° y 30°, presencia de intensa erosión difusa, surcos y terracetas, que involucran solamente la parte superficial más meteorizada (los primeros 0,5 a 2,0 m de profundidad). El depósito es en general muy compacto, teniendo comportamiento de roca blanda, fallando en algunos casos a través de fisuras o diaclasas incipientes.

2.2.2 Propiedades Ingenieriles de las Unidades de Suelo.

Desde el punto de vista genético, composicional, granulométrico, de procesos erosivos, remoción en masa y comportamiento geotécnico, se pudieron diferenciar seis grupos de suelos (**Tabla 2.2.2**), divididos así: sedimentos del cauce mayor de ríos y quebradas (A1), depósitos fluviotorrenciales y conos de deyección (Qca1, Qca2, Qca3 y Qca4), coluviones (Sco) y depósitos de lavado de laderas (Sla), morrenas (Smo), talus glacial y depósitos fluvioglaciares (Sta) y suelos residuales (Sr).



Fotografía 2.2.5. Cantera cerca al sitio La Diana, conformada por lavas basálticas almohadilladas trituradas. Nótese la presencia de desprendimientos de roca. Cuenca del Río Fraile.

2.2.2.1 Sedimentos de Cauce mayor de ríos y Quebradas (A).

Son los materiales dejados por los ríos y quebradas en las zonas normalmente conocidas como el cauce mayor y de máximas avenidas extraordinarias, localizadas entre 0,5 y 4,5 m respecto al nivel de aguas medias del río Bolo en temporada semiseca (septiembre de 1997) y quebradas de importancia. Para el río Fraile, también entre 0,5 y 2,8 m

Estos materiales son transportados como flujos de escombros y fluviotorrenciales, haciendo parte de lo que puede denominarse área de susceptibilidad alta a intermedia a avenidas torrenciales. Sobre ésta se encuentra localizada la población de Las Ferias, parte del casco urbano de Pradera y otras construcciones habitacionales y de infraestructura vial localizadas en toda la cuenca, adyacente al cauce del río Bolo (Blanco y Azul), y demás corrientes de importancia, como las quebradas Nogales, La Cristalina y El Silencio etc. de éstas, la primera, es la que más problemas ha causado a la vía Pradera - Bolo Azul.

En la cuenca baja del río Fraile, sobre ésta unidad, se localiza parte del casco urbano de Florida, entre ellos los barrios Absalón Fajardo, Nuevo Horizonte, El Prado, La Playita, El Lote Moncaleano etc. En la parte media y alta de las cuencas de los ríos Bolo Azul, Bolo Blanco, Santa Bárbara y Fraile, la unidad se localiza a una altura variable entre 5 y 6 m;

situación que marca la zona de alta susceptibilidad a avenidas torrenciales de los ríos anteriores, para lluvias intensas normales. Para el caso de lluvias combinadas con sismos, la altura de la avenida torrencial producida podría ser mucho mayor; ejemplo de ello lo tenemos en la creciente del río Paez en el año de 1.994, con alturas variables de 15 y 40 m.

Para condiciones de lluvias normales, (5 a 6 m, respecto al nivel de aguas medias), en la cuenca del río Fraile, se encuentra localizada la población del Salado y numerosas construcciones habitacionales dispuestas en forma dispersa a lo largo de los ríos Bolo y Fraile, sitios éstos para los cuales se recomienda realizar un censo de las mismas y diseñar planes de prevención de desastres. Para el caso de la población de El Retiro (microcuenca de la quebrada El Retiro o El Silencio), la amenaza por crecientes torrenciales, para condiciones normales de lluvia, se considera baja.

Desde el punto de vista granulométrico, esta unidad consiste de intercalaciones de estratos de gravas finas, medias y gruesas y bloques de hasta 1,5 m, subredondeadas, mal gradadas, mezcladas con poco o nada de finos, con clasificación general GP (**Tabla 2.2.8**).

Estos niveles presentan permeabilidad muy alta, buena estabilidad cuando los cortes no están sometidos a procesos erosivos por socavación lateral y lavado de finos de sus paredes. Por su granulometría pueden presentar bajos valores de compresibilidad y ser buenos materiales para rellenos y terraplenes, previa evaluación de cada caso en particular.

2.2.2.2 Depósitos Fluviotorrenciales y Conos de Deyección (Qca1, Qca2, Qca3 y Qca4)

2.2.2.2.1 Depósitos Qca1.

Geomorfológicamente constituyen cuerpos con forma de colinas bajas ligeramente aterrazadas o redondeadas, con laderas inclinadas de 5° a 25° y drenaje dendrítico a subparalelo poco denso.

En general para las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, son flujos de escombros antiguos, posiblemente del Neógeno, compuestos por fragmentos subredondeados de 1 a 2 m de diámetro, de composición ígnea intermedia y metamórfica, principalmente anfíbolitas o esquistos anfibólicos que se dejan cortar con la pala por estar completamente meteorizados.

Desde el punto de vista granulométrico, son arenas arcillosas de baja plasticidad ML (**Tabla 2.2.8**), poca resistencia a la erosión por escorrentía superficial de agua, formando surcos y erosión laminar difusa (**Fotografía 2.2.6**). Presenta buena estabilidad en cortes de vías de tipo subvertical hasta de 5 m de altura, estando supeditada al ataque del agua, caso en el cual se pueden inducir desprendimientos y surcos.

En conjunto son materiales semipermeables a impermeables, fácilmente excavables con buldozer. Presenta valores de compresibilidad moderados. Su uso como material para terraplenes o rellenos debe ser estudiado en detalle ya que pueden en estos casos, presentar problemas de tubificación.



Fotografía 2.2.6. Cono aluvial antiguo (Qca1), afectado por intensa erosión difusa y en surcos (tierras malas). Cuenca del río Fraile

2.2.2.2.2 Depósitos Qca2.

Genéticamente son depósitos de origen fluviotorrencial, que se localizan en forma de pequeñas terrazas elevadas aproximadamente 40 m respecto al nivel de aguas medias del río en su cuenca media alta. En el sector de la hacienda San Cayetano, en la quebrada Yeguas y en el casco urbano de Pradera, este cuerpo presenta una topografía plana ligeramente ondulada, inclinada de 2° a 10° hacia el occidente; con disección de corrientes baja a media. En este último sector la altura promedio respecto al nivel de aguas medias del río Bolo, en temporada semiseca (septiembre de 1997), es variable entre 2, 9 y 7,5 m. En la cuenca del río Fraile, la unidad se localiza en la parte baja de la misma y sobre ella se asienta la mayor parte de la población de Florida. Su altura respecto al nivel de aguas medias del río, es variable entre 3,5 y 7,0 m.

Desde el punto de vista sedimentológico, los primeros 2 a 2,5 m son depósitos de flujos de escombros, compuestos por gravas finas a medias (1-10 cm de diámetro), subredondeadas a subangulares, moderada a completamente meteorizadas, matriz soportadas en arena gruesa, que clasifican en el sistema U.S.C.S. como gravas mal gradadas con arena (GP). En la parte inferior de (2,0 a 2.5 m hacia abajo), es de un suelo residual de limos inorgánicos con arena fina micáceo, de alta plasticidad MH (**Tabla 2.2.2**).

La estabilidad de estos materiales es relativamente buena en cortes de corrientes y de vías, con altura variable entre 3 y 5m y taludes subverticales, siempre y cuando no se presenten procesos erosivos tipo socavación lateral o lavado de finos en las caras expuestas de los taludes, estado en el cual se pueden presentar desprendimientos de moderada magnitud.

La permeabilidad observada en el campo de la parte superior del depósito (materiales GP), se puede considerar permeable, en contraste con la parte inferior de suelos residuales (MH), que son semipermeables a impermeables como se observa por la salida de agua en el contacto entre estos dos tipos de depósito.

Desde el punto de vista de utilización para materiales de construcción, el depósito en su parte superior debe analizarse como material para terraplenes y rellenos. Para los limos inorgánicos deben esperarse valores de compresibilidad medios a altos y poca o ninguna utilidad para fines constructivos.

2.2.2.2.3 Depósitos Qca3.

Al igual que los anteriores, son de origen fluviotorrencial. Se localizan en forma de pequeñas terrazas aisladas, ubicadas por tramos a lo largo de los ríos Bolo Blanco, Bolo Azul y Bolo y principales quebradas de la cuenca entre ellas El Retiro, Agua Fría y El Nogal, a una altura promedio de 20 a 25 m respecto al nivel de aguas medias de estas corrientes. En la parte baja de la cuenca, zona plana, cerca a la cabecera municipal de Pradera, materiales de este cuerpo se dispersan formando un típico cono de deyección ubicado entre aproximadamente 10 a 14 m respecto al nivel medio del río.

En la cuenca media y alta del río Fraile, la altura promedio de éste tipo de depósitos es similar a la del río Bolo. Sin embargo, a diferencia de éste último su superficie de afloramiento está bien desarrollada cerca al casco urbano de Florida, caracterizándose por su ligera disección y abundantes depresiones pertenecientes a antiguos cauces. Su altura respecto al nivel de aguas medias del río Fraile, es variable entre 7,0 y 9,0m en la margen derecha y 9,0 a 13,0 en la margen izquierda.

Desde el punto de vista sedimentológico son flujos de escombros de color gris, compuestos por fragmentos de rocas metamórficas, principalmente esquistos anfibólicos, cloríticos y anfibolitas, en tamaños de 2 a 10 cm, ocasionalmente 1,8 m, dispuestos caóticamente, en

algunos casos en matriz arcillo limosa y en otros en matriz de arena gruesa. Las granulometrías realizadas a la matriz del depósito la clasifican como suelos GM (mezcla de grava, arena y limo) y GP (mezcla de grava y arena con pocos finos). Para la cuenca del río Fraile, la granulometría en general se conserva, pero no así su composición litológica, que en éste caso son principalmente, cuarzdioritas biotíticas, moderadamente meteorizadas, con algunos fragmentos de neis anfibólicos y anfibolitas.

Superficialmente se encuentran cubiertos de suelo orgánico de aproximadamente 40 cm de espesor. De acuerdo con lo observado en taludes naturales, estos depósitos presentan variaciones de permeabilidad, desde muy permeables hasta impermeables; son ligeramente compactos y exhiben moderada resistencia a la erosión por agua. Presentan buena estabilidad en cortes subverticales hasta de 8 m de altura, siempre y cuando no sean afectados por procesos erosivos tipo socavación lateral o lavado de finos de sus caras expuestas, caso en el cual se pueden generar desprendimientos de variada magnitud.

2.2.2.2.4 Depósitos Qca4.

De origen fluviotorrencial, localizados en forma de pequeñas terrazas aisladas, ubicadas a lo largo de los ríos Bolo Blanco, Bolo y de algunas quebradas principales como La Nogales y Salsipuedes, aproximadamente a 5 m de altura respecto al nivel de aguas medias de estas corrientes. Al llegar a la zona plana del valle del río Bolo, estos materiales están dispuestos en forma de un cono de deyección, con su ápice ubicado cerca a la planta de tratamiento de basuras, formando una superficie relativamente plana, dispuesta 3 a 4,5 m de altura respecto al nivel de aguas medias del río.

En la cuenca del río Fraile, se presenta igualmente en forma de pequeñas terrazas aisladas ubicadas entre aproximadamente 5 a 10 m de altura respecto del nivel medio del río. A pesar de que la granulometría es similar a los depósitos presentes en la cuenca del río Bolo, su composición litológica cambia, y en éste caso los fragmentos son principalmente cuarzdioritas biotíticas.

Desde el punto de vista sedimentológico, exceptuando los 0,3 m de la parte superior, que son materiales típicos de llanura de inundación, estos son depósitos estratificados, donde se intercalan bancos de cantos rodados, gravas gruesas, medias y finas, (fragmentos subredondeados menores de 25 cm y entre 25 cm y 2 mm), generalmente clastosoportados. Cuando el depósito es de cantos rodados, éstos pueden estar matriz soportados en arena gruesa y grava media a fina. Los fragmentos están ligera a completamente meteorizados. Desde el punto de vista de clasificación en el sistema U.S.C.S., son mezclas de gravas y arenas, con poco contenido de finos (GP) **Tabla 2.2.8.**

De acuerdo con su granulometría, los depósitos GP se pueden considerar permeables a semipermeables, dependiendo del contenido de finos que es variable en los diferentes

estratos que componen el conjunto. En cuanto a su posibles uso como materiales para construcción, se debe analizar mediante ensayos de laboratorio, su utilización para terraplenes y rellenos.

2.2.2.3 Depósitos Coluviales (Sco1, Sco2, Sco3).

Se trata en términos generales de depósitos originados principalmente, a partir de procesos de inestabilidad tipo caídas de roca, desprendimientos, deslizamientos y flujos de detritos, que se presentan en la parte alta de las laderas y cuyos productos se acumulan en la base de las mismas. La composición litológica y sedimentológica de estos depósitos es variable, dependiendo del tipo de material rocoso del que provienen, su grado de meteorización, diaclasamiento etc. Es así como en la cuenca del río Bolo se distinguen 3 tipos de coluvios: Coluvios derivados de esquistos y basaltos (Sco1), coluvios derivados de rocas ígneas (Sco2) y coluvios derivados de neises, metagabros y anfibolitas (Sco3). La morfología en general, es de laderas moderada a fuertemente inclinadas (10° a 40°). A continuación se hace la descripción de cada uno de ellos.

2.2.2.3.1 Coluviones derivados de esquistos y basaltos (Sco1).

Hacen parte de las zonas con topografía montañosa de la parte alta, media y media - baja de la cuenca de los ríos Bolo y Fraile, ubicados en la base de las laderas, con generación de superficies moderadamente inclinadas 25° a 35° y drenaje dendrítico subparalelo, moderadamente denso.

Desde el punto de vista sedimentológico, en la parte alta y media de las cuencas, son depósitos formados principalmente de mezclas de fragmentos de rocas metamórficas de distinto tipo, principalmente esquistos anfibólicos, cloríticos y negros grafitosos, moderadamente meteorizados, angulares, en tamaños variables de 0,5 a 80 cm de diámetro, matriz soportados en arcilla limosa, ocupando entre el 50 y el 80% del depósito. En la parte baja de la cuenca los fragmentos son de basaltos moderadamente meteorizados, en tamaños de 4 a 20 cm de diámetro, angulares en matriz limo arcillosa.

Los ensayos básicos de clasificación de suelos, indican un predominio de mezclas de grava, arena y limo (GM), y en ocasiones, cuando la muestra es tomada hacia la parte superior de algunas laderas, son mezclas de grava y arena, con pocos finos que clasifican como gravas pobremente gradadas (GP). Presentan poco desarrollo de suelo orgánico, que en promedio es de 20 cm. Desde el punto de vista de permeabilidad observada en el campo, la mayoría de estos suelos en especial los GM, son semipermeables a impermeables, con tendencia a la formación de zonas húmedas. Se exceptúan de este comportamiento general, los suelos GP de la parte alta de algunas laderas, donde la permeabilidad es mucho mayor.

En laderas naturales es común la presencia fenómenos de reptación, flujos de suelos, de

escombros, deslizamientos y ocasionalmente surcos y cárcavas. En cortes de carreteras inclinados 40° a 45° y hasta 3 m de altura, es común observar pequeños desprendimientos de bloques, deslizamientos y flujos de suelo. La excavabilidad por métodos mecánicos, se considera buena y se debe valorar su utilización para rellenos

2.2.2.3.2 Coluviones derivados de rocas ígneas intrusivas (Sco2).

Este tipo de depósito se deriva principalmente de cuarzodioritas biotíticas, y al igual que el anterior, hace parte de zonas con topografía montañosa, haciendo parte de la cuenca alta del río Bolo Azul y media alta del río Fraile. Se localizan en la base de las laderas, formando superficies moderadamente inclinadas de 35° a 40° con drenaje dendrítico a subparalelo, moderadamente denso.

La granulometría de los depósitos es de fragmentos angulares a subangulares con tamaños de 4 a 20 cm, en matriz limo arenosa, algo arcillosa, que ocupa aproximadamente el 70 a 80% del depósito. La matriz clasifica en el sistema U.S.C.S. como un limo inorgánico arcilloso de baja plasticidad (ML), **Tabla 2.2.8**.

Las observaciones de campo, indican que estos depósitos se comportan como suelos semipermeables a impermeables, con tendencia a presentar concentraciones de humedad, que generan flujos lentos y rápidos de suelos y ocasionalmente formación de surcos y cárcavas. Su excavabilidad por métodos mecánicos se considera regular, con malas condiciones como material de relleno.

2.2.2.3.3 Coluviones derivados de neises, metagabros y anfibolitas (Sco3).

Comprenden zonas de topografía montañosa, de laderas onduladas, moderadamente inclinadas 10° a 25° , drenaje dendrítico subparalelo poco denso e incisión por corrientes de tipo intermedio.

Sedimentológicamente son depósitos compuestos por fragmentos angulares de neises hornbléndicos, metagabros y anfibolitas, en tamaños de 3 a 50 cm, moderada a completamente meteorizados, que generan materiales tipo arena gruesa con limo.

Los fragmentos están embebidos en matriz de arena limosa que ocupa aproximadamente el 40% del depósito.

Los ensayos básicos de clasificación para suelos del sistema U.S.C.S, indican que son mezclas de grava y arena con pocos finos (GP), y arena con gravas con pocos finos (SP). En general exhiben buena permeabilidad. Desde el punto de vista de estabilidad de laderas, se observa la formación de surcos, cárcavas, reptación y deslizamientos compuestos. La estabilidad en general del sector, está supeditada a condiciones de tipo estructural, debido a que la zona hace parte de un área de trituramiento y cizallamiento, producidas por el paso

de varias fallas geológicas.

2.2.2.4 Suelos de lavado de laderas (Sla).

Son sedimentos depositados en la base de las laderas que miran hacia el valle del río Cauca. Su origen está relacionado con procesos erosivos y en algunos casos con antiguos conos de detritos. Su topografía típica es la de laderas suavemente inclinadas de 5° a 15° hacia el occidente.

La composición sedimentológica en la cuenca del río Bolo es extremadamente variable, desde arcillas muy plásticas de color amarillo ocre, hasta depósitos de gravas finas a medias (0,5 a 10 cm), en matriz de arcilla de color amarillo ocre, que exhiben condiciones de materiales impermeables a semipermeables y de excavabilidad por métodos manuales, buena a regular.

En la cuenca del río Fraile, al este de la población de Florida, son depósitos de gravas gruesas a medias, angulares, dispuestas caóticamente en matriz de arena gruesa y grava fina que hacen de este, un depósito altamente permeable.

En cuanto a su estabilidad, en la cuenca del río Bolo, es común observar en lugares donde hay concentración de humedad, la presencia de procesos de remoción en masa, tipo pequeños flujos de suelo y reptación. Su comportamiento en taludes de corte de vías no es claro, debido a la ausencia de taludes de más de 1,5 m de altura.

En la cuenca del río Fraile, los procesos dominantes son básicamente de tipo erosivo a través de socavación lateral y de fondo y desgaste de caras de taludes expuestas a la lluvia.

2.2.2.5 Morrenas (Smo),

En las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, estos depósitos se localizan sobre valles fluviales, por encima de los 3600 m.s.n.m., formando pequeños montículos transversales a dichos valles (morrenas terminales), o zonas relativamente planas aterrazadas, ubicadas en forma paralela a las corrientes (morrenas laterales). Otros depósitos de poco espesor, se observan rellenando valles, con la generación de morrenas de fondo. La inclinación de las laderas de las morrenas terminales es variable entre 5° y 10° en la parte frontal y 20° a 30° en la parte posterior.

La granulometría, consiste de fragmentos, principalmente de rocas metamórficas de 15 cm a 1 m de diámetro, dispuestos caóticamente en una matriz de fragmentos menores de 4 cm y limo y arena, que ocupa aproximadamente el 80% del depósito. Se tomó muestra de la matriz, clasificando en el sistema U.S.C.S. como suelos GM (mezclas de grava, arena y limo), que exhiben en el campo condiciones de materiales permeables con estabilidad

buena y posible utilización como materiales de relleno.

2.2.2.6 Talus glaciar y depósitos fluvioglaciares (Sta).

Al igual que los depósitos de morrenas, predominan en la zona montañosa por encima de los 3600 m.s.n.m., formando depósitos sobre las laderas y en sus bases, inclinados de 20° a 45°, con poco o ningún desarrollo de drenajes.

Sedimentológicamente están compuestos en su mayor parte, por fragmentos angulares de 1 cm a 2 m de diámetro, principalmente de esquistos cloríticos, cuarzosericíticos y ocasionalmente esquistos negros. El depósito es por lo común suelto, lo que hace que sea sumamente permeable. Esto unido a las fuertes pendientes que soporta, indican condiciones precarias de estabilidad. Sin embargo la ausencia de material fino, que impide su movimiento a grandes distancias y la poca extensión areal de los mismos, hacen que la influencia en la estabilidad de la cuenca sea mínima.

2.2.2.7 Suelos Residuales (Sr).

Se localizan sobre las divisorias de agua de la zona montañosa en la cuenca alta, media y baja del río Bolo, generando superficies de forma alargada, inclinadas de 5° a 20°. Presentan recubrimiento de suelo orgánico con espesor variable entre 20 y 60 cm. El drenaje tiene poco desarrollo y en general son áreas cubiertas por vegetación de rastrojos, árboles o pastos. El espesor de estos materiales, medido hasta la roca completamente meteorizada, es variable entre 2 y 5 m. Los mayores espesores se presentan en la parte media baja de la cuenca y son suelos derivados de lavas basálticas.

Desde el punto de vista granulométrico, y de acuerdo con el sistema de clasificación U.S.C.S., los suelos residuales presentes en la cuenca del río Bolo, se pueden clasificar en tres grupos: arenas limosas y arenas arcillosas (SM y SC), limos inorgánicos de alta plasticidad (MH) y arcillas de alta plasticidad (CH); los dos últimos grupos son característicos de suelos derivados de rocas metamórficas y lavas basálticas, mientras que los suelos arenosos son comunes en materiales derivados de rocas ígneas, cuarzodioritas, dioritas y rocas metamórficas tipo neises anfibólicos.

Desde el punto de vista de estabilidad, son suelos moderadamente estables en cortes artificiales, subverticales de 3 m de altura. Sin embargo, la presencia de arena y limo hacen que estos suelos tengan una alta susceptibilidad a la erosión difusa, surcos y cárcavas, cuando no están protegidos por vegetación.

2.3 GEOMORFOLOGIA

La geomorfología es una disciplina que analiza los paisajes y los factores que los producen y modifican, especialmente para buscar soluciones a problemas generados en zonas donde cambien las condiciones de equilibrio. Ejemplos de ello son la selección de trazos apropiados para carreteras, cortes de taludes, construcción de estructuras y selección de zonas para cultivos, simplemente por el análisis de las geoformas existentes.

En las cuencas bajo estudio el paisaje, es el producto principalmente de la combinación de procesos internos tales como el calentamiento y deformación de las rocas (metamorfismo) y la conjugación de fallas (tectónica), asociados al levantamiento activo de la Cordillera Central, conformando vertientes montañosas empinadas y depresiones tectónicas. De otra parte los factores climáticos, la acción de las aguas superficiales, la abrasión, erosión y acumulación, han debilitado las rocas y modelado paisajes donde son comunes los depósitos inconsolidados y procesos de remoción en masa; en muchos casos acelerados por la presencia del hombre.

En consecuencia, en este estudio geomorfológico, se hace énfasis en tres parámetros fundamentales: la Morfometría, Morfología y Morfodinámica, enfocados a la determinación de los factores que afectan la resistencia de los materiales, la intensidad de los procesos que actúan sobre ellos y los cambios que producen a corto plazo la remoción en masa y las avenidas torrenciales sobre las cuencas.

2.3.1 Morfometría.

La morfometría es la rama de la geomorfología que se ocupa de la descripción cuantitativa de las características del terreno, tales como: longitud, ángulo de inclinación y altura de las laderas, análisis básicos para el estudio de los procesos morfodinámicos, suelos, morfología y estabilidad de los terrenos.

El mapa de pendientes (**Mapa 4**), se elaboró tomando como base los mapas topográficos, a escala 1:25000 del IGAC (años 1984 y 1988), cuya separación de curvas de nivel es cada 50 m. Para ello se utilizó el método de **Intervalos Movibles** (Denness et Grainger, 1976), el cual consiste en calcular la distancia perpendicular a las curvas correspondientes a un intervalo de pendiente, por medio de la siguiente expresión:

$$L = (dx * 100) / \text{Tn O} * E$$

dx = Diferencia entre curvas de nivel = 50 m.

TnO = Tangente o Pendiente en grados

E = Escala del plano = 1:50000

L = Distancia (Medida sobre el plano)

Los rangos de pendiente se tomaron con base en la topografía del lugar (**Tabla 2.3.1**), pretendiendo diferenciar claramente las unidades de paisaje en la zona. Estos rangos de pendiente son (**Tabla 2.3.1**):

| GRADOS | PORCENTAJE |
|---------|------------|
| < 5 | 9 |
| 5 - 15 | 9 - 28 |
| 16 - 30 | 29 - 59 |
| 31 - 45 | 60 - 100 |
| > 45 | > 100 |

Tabla 2.3.1 Intervalos de pendientes

De otra parte se generó un modelo del terreno utilizando el mapa topográfico digital de base, obteniéndose el mapa de pendientes digital con los mismos intervalos de pendiente mencionados.

A partir de estos mapas se observa que las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, tienen una morfometría muy variada que comprende desde pendientes altas (predominantemente en la parte media de la cuenca), hasta pendientes suaves (en la parte baja de la cuenca, en los municipios de Pradera y Florida).

2.3.2 Morfología.

En esta parte del estudio se diferenciaron en general grandes unidades de paisaje a las cuales se encuentran asociados movimientos de remoción en masa típicos.

Estas unidades de paisaje fueron divididas en unidades de terreno, más pequeñas que representan áreas de relieve homogéneo, clasificadas según su origen de acuerdo con los factores intrínsecos que interactúan como la geología, la tectónica, combinación de ambas o factores externos como la acción glacial, fluvial, antrópica, etc.

2.3.2.1 Unidades Geomorfológicas de Paisaje.

En las cuencas de los ríos Bolo, Fraile y Párraga, se pueden reconocer cinco unidades geomorfológicas principales: Formas Glaciales Heredadas, Vertientes Montañosas Altas, Depresión Tectónica Intermedia, Colinas de Piedemonte y Abanicos Aluvio-torrenciales y valles (**Figura 2.3.1**).

2.3.2.1.1 Formas Glaciares Heredadas.

Constituyen todo el sector oriental del área de estudio, desde el eje de la Cordillera en la cota 4000, hasta aproximadamente la cota 2800, incluyendo toda la planicie de páramo y la parte inicial de los cañones de los ríos. Casi toda la zona presenta un basamento rocoso constituido por rocas del Batolito de Santa Bárbara, con excepción de las cabeceras de los ríos Bolo Azul y Bolo Blanco donde afloran esquistos verdes y negros del Complejo Cajamarca.

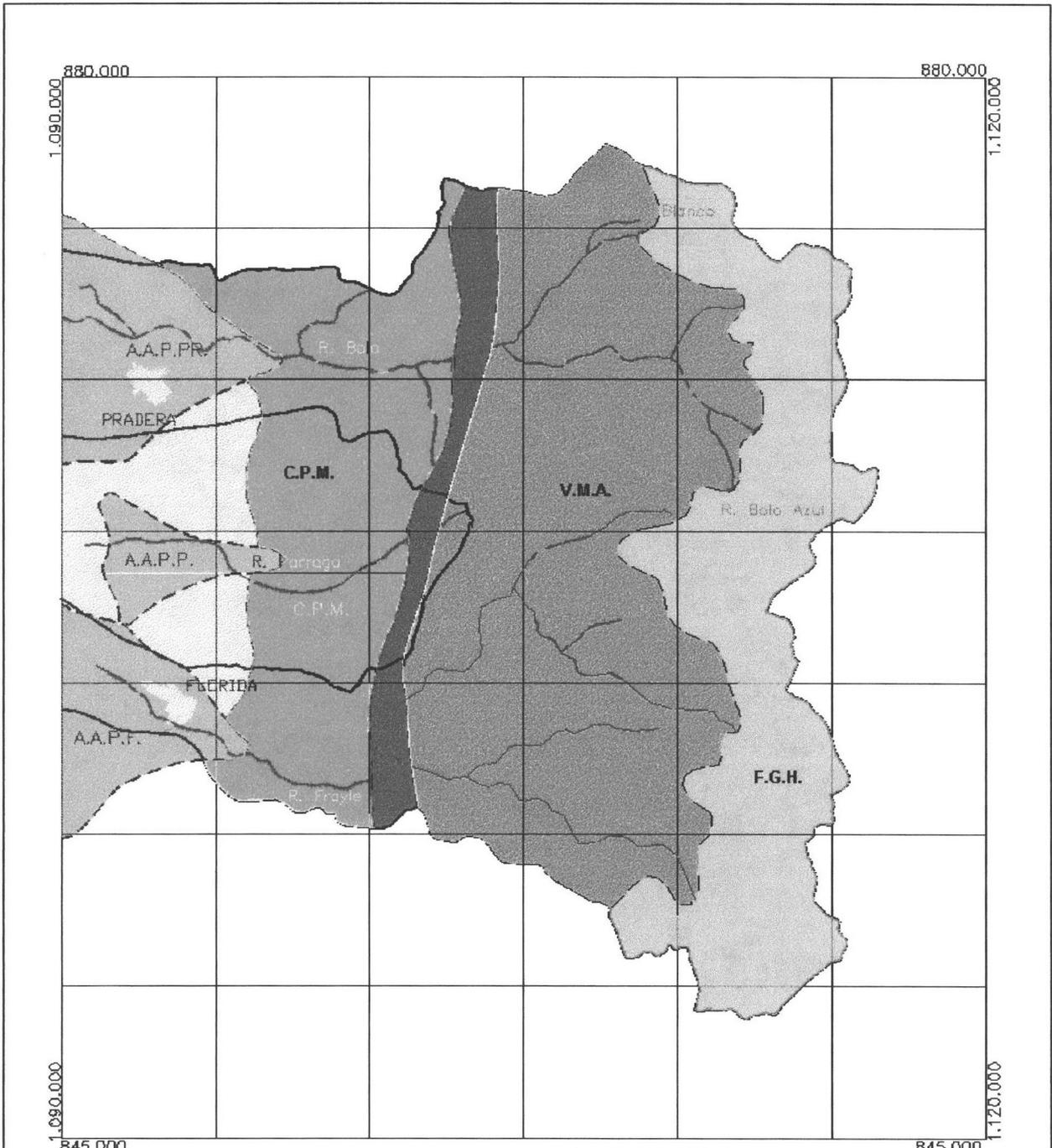
En esta área son evidentes y fácilmente separables, diversas formas de paisajes glaciales tanto estructurales como de erosión (denudativas) y de acumulación (agradacionales):

Las geoformas denudativas constituyen la mayor parte del área que conforma esta unidad y se caracterizan por mostrar extensas superficies de ablación en roca, cubiertas por andosoles (Horizontes A con alto contenido de materia orgánica), con espesores importantes que alcanzan a veces a formar turberas cuando las condiciones de pendiente lo permiten. Otras geoformas típicas las constituyen los llamados circos glaciales y numerosas lagunas que conforman la parte alta de todos los ríos.

Las geoformas de acumulación están constituidas por depósitos de caídas de roca (talus), además de pequeños pero numerosos depósitos de pie de vertiente, en su mayoría coluviones en sentido estricto. Por último existen algunos depósitos caóticos de origen glacial en el fondo de los valles, como en el caso de la quebrada Las Monjas afluente de la margen izquierda del río Fraile.

Dada la excelente conservación de las geoformas glaciales, se puede asumir que los procesos morfodinámicos actuales actúan de manera muy pasiva al menos desde el Holoceno.

Existe la posibilidad de que el paisaje se haya formado en períodos glaciales, talvez pertenecientes al Estadal Murillo temprano (28.000 años), definido por VAN DER HAMMEN (1995), o quizás más antiguos. Remanentes de éstos procesos se extienden aproximadamente hasta la cota 2600, como superficies elevadas más de 25 m por encima de los cauces actuales, tal como se aprecia en la cota 2600 en la margen derecha del río Bolo Azul (**Fotografía 2.3.1**).



- CONVENCIONES**
- F.G.H.** Formas glaciales heredadas
 - V.M.A.** Vertientes montañosas altas
 - D.T.I.** Depresion tectonica intermedia
 - C.P.M.** Colinas de piedemonte
 - A.A.P.** Abanicos aluviales de piedemonte
 - ..F de Florida
 - ..P de Parraga
 - ..PR de Pradera

Corporacion Autonoma Regional del Valle del Cauca
 Instituto de Investigaciones en geociencias mineria y quimica

Zonificacion de amenazas por procesos de remocion en masa en las cuencas de los rios Bolo y Fraile, Valle del Cauca

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS DE PAISAJE

| | | |
|--|---|---|
| AUTOR : INGENIERIA GEOAMBIENTAL INGROMINAS | DIGITALIZO : INGENIERIA GEOAMBIENTAL INGROMINAS | SUPERVISO : SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL C.V.C. |
| ESCALA : Aprox. | FECHA : Febrero 1998 | Figura 2.3.1 |



Fotografía 2.3.1. Remanente de terraza Fluvioglaciario en Vertientes montañosas altas, Río Bolo Azul.

Los procesos morfodinámicos actuales que se pudieron observar dentro de esta unidad son mínimos y se restringen únicamente a las vertientes o laderas, donde se presentan erosión laminar y ocasionales movimientos en masa de carácter superficial (desgarres superficiales o deslizamientos superficiales)

Por las anteriores razones, se puede afirmar que al menos desde el Holoceno, las zonas generadoras de las avenidas torrenciales en las cuencas estudiadas, tributan sus escombros por debajo de la cota 2600.

2.3.2.1.2 Vertientes Montañosas Altas.

Se localizan en la parte intermedia alta de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, limitada al oriente por la Unidad de Formas Glaciales Heredadas, y al occidente por la Depresión Tectónica Intermedia. La característica más importante de esta unidad la constituyen las altas pendientes que hacia la mitad de la vertiente alcanzan el 30 % y en la parte inferior, hasta llegar a los cauces, son casi verticales. En general constituyen cañones en "V" de más de 1000 m de altura entre valle y cima con vertientes largas, rectas y continuas que alcanzan hasta 4 Km. de longitud (**Fotografía 2.3.1**).

La mayoría de éstas vertientes se desarrollan sobre rocas del Batolito de Santa Bárbara y

unas pocas en el río Bolo, sobre esquistos del Complejo Cajamarca.

En el Batolito de Santa Bárbara los saprolitos pueden alcanzar hasta unos 3 m de profundidad, llegando a espesores del orden de 6 m únicamente en los filos mayores. En las vertientes, el Horizonte A alcanza unos 5 cm de espesor, en general es de color oscuro por su alto contenido de materia orgánica y textura limo-arenosa, resultado de la resistencia del cuarzo a la meteorización química.

El Horizonte B alcanza en general de 10 a 15 cm de espesor, con excepción de los filos principales donde puede llegar a alcanzar los 40 cm. El color es invariablemente pardo grisáceo a gris pardusco cuando tiene menor espesor. El Horizonte C de color gris crema a gris pardusco, puede alcanzar hasta 3 m de espesor en las vertientes más maduras.

Las rocas metamórficas forman saprolitos muy delgados con espesores inferiores a 1 m, sobre los cuales descansan Horizontes A y B que rara vez superan los 10 cm de espesor.

2.3.2.1.3 Depresión Tectónica Intermedia.

El sistema de Fallas de Romeral define una franja de dirección norte-sur de aproximadamente 3 Km. de ancho que atraviesa toda la zona de estudio, e incluye las fallas identificadas como Güengue, Bellavista, el Retiro y Romeral. Esta franja forma una depresión que resalta en el paisaje del área no solo por deflectar drenajes sino también por formar una topografía de relieve moderado rodeada por zonas más escarpadas. (**Fotografía 2.3.2**). Las rocas que conforman el basamento de esta depresión pertenecen a los Esquistos Básicos de Bugalagrande y a los Metagabros de Bolo Azul, y se componen respectivamente por esquistos cloríticos y negros y anfibolitas éstas últimas en menor proporción.

La alta meteorización sumada al intenso fracturamiento de la roca, producen saprolitos relativamente profundos, con espesores de 5 a 10 m, de los cuales se derivan suelos cohesivos, limo-arcillosos de color amarillo ocre y relieve local pobremente drenado.

Debido a su posición topográfica como una depresión intramontana, además de los saprolitos existen numerosos depósitos cuaternarios aluviales, aluvio-torrenciales y de vertiente, algunos cartografiables como es el caso del complejo de terrazas del río Santa Bárbara y los depósitos de vertiente de la quebrada La Maltina (El Retiro).

2.3.2.1.4 Colinas de Piedemonte.

Esta unidad se encuentra localizada inmediatamente al occidente de la unidad anterior y constituye el último escalón de la Cordillera para alcanzar el Valle del Río Cauca. Está desarrollada casi exclusivamente sobre saprolitos de rocas basálticas de la Formación Amaime que alcanza espesores del orden de 3 a 5 m, en menor proporción, el sector occidental incluye también sedimentos terciarios y del cuaternario antiguo en avanzado

estado de meteorización.



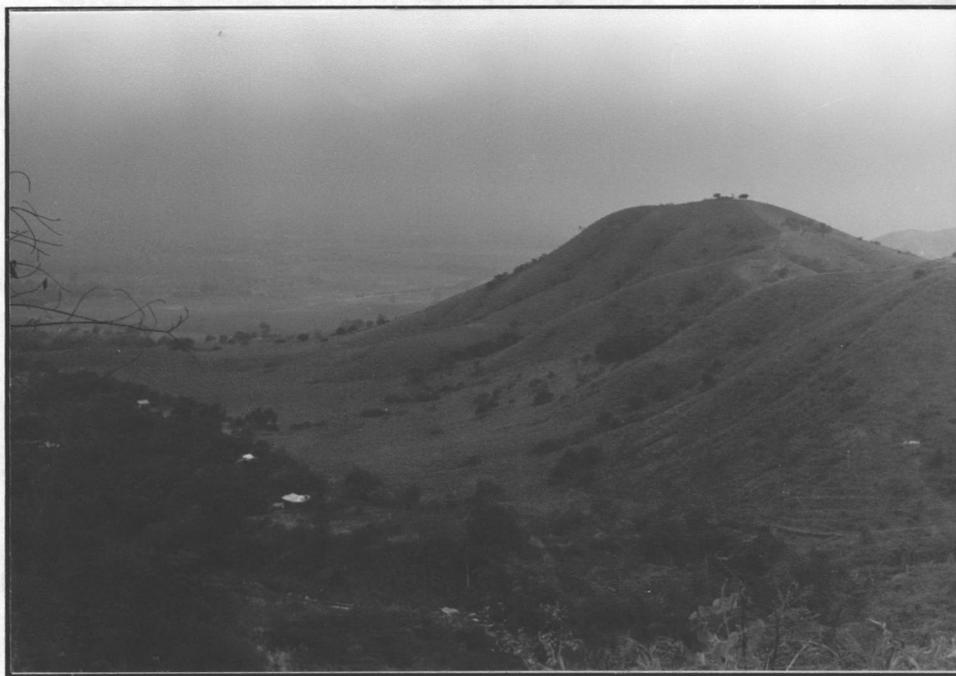
Fotografía 2.3.2. Morfología de la depresión tectónica intermedia en la cuenca del río Bolo. Vista de Norte a Sur

Morfológicamente se distingue por constituir un paisaje de pendientes moderadas con topes muy redondeados, alturas entre cresta y valle inferiores a 200 m y vertientes convexas-cóncavas de disección madura que llegan a valles amplios formados por delgados depósitos de lavado de laderas. (**Fotografía 2.3.3**).

Los suelos de esta unidad tienen color ocre rojizo y en general se encuentran en un alto grado de desarrollo; presentan un Horizonte A con espesores del orden de 30 cm mientras el B puede alcanzar hasta 50 cm. El Horizonte C también de color rojizo a veces con motas violeta, en general muy cohesivo, es casi impermeable y de carácter arcillo-limoso.

Adosados a las colinas de piedemonte, afloran en los cortes de las vías, depósitos torrenciales tan antiguos que los procesos de meteorización han descompuesto los clastos y bloques, hasta el punto de estar casi integrados a la matriz como se puede observar en la carretera a La Diana, hasta un kilómetro arriba del estadero Tayrona. Los clastos originales, compuestos casi exclusivamente de basaltos y rocas metamórficas, atestiguan el drenaje de una cuenca que no cruzaba el Batolito de Santa Bárbara y por lo tanto el paisaje

era diferente al actual, posiblemente de edad Plio-pleistoceno. Como evidencia adicional de lo anterior se puede citar la madurez de los suelos que los cubren y su avanzado estado de disección (redondeamiento de las vertientes).



Fotografía 2.3.3. Morfología de colinas redondeadas en el Piedemonte cordillerano.

2.3.2.1.5 Abanicos de Piedemonte y Valle aluvial.

Los abanicos de Piedemonte son una de las geofomas más características del área, forman extensas superficies de transición entre la zona montañosa cordillerana y la llanura de inundación del río Cauca y sus afluentes. Se forman a partir del punto de quiebre de pendiente y en general ocupan áreas proporcionales a los tamaños de las cuencas actuales, con pendientes que oscilan entre 2 y 7°.

Los abanicos están compuestos por numerosos depósitos superpuestos, tanto aluviales como aluvio-torrenciales que son producto de todos los procesos erosivos ocurridos en las cuencas respectivas durante talvez todo el Cuaternario. Los depósitos se caracterizan por una gradación típica en el tamaño de grano, pasando desde bloques decimétricos a métricos en las áreas cercanas al ápice, hasta sucesiones monótonas de gravas finas, arenas y limos en las zonas más distales. Verticalmente forman una sucesión compleja al alternarse canales activos con zonas de deposición de material fino, correspondientes a ambientes de

menor energía de eventos con edades diferentes.

2.3.2.2 Unidades Geomorfológicas de Terreno .

Para la identificación y clasificación detallada de las unidades de terreno, se utiliza la metodología del sistema ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences - The Netherlands), la cual define categorías de unidades de terreno, de acuerdo con su forma y origen en : *denudacional*, *denudacional-estructural*, *fluvial* y *glaciar-periglaciar*. Las unidades cartografiadas se representan por letras que indican las diferentes unidades con un comportamiento geotécnico específico(**Mapa 5**).

2.3.2.2.1 Formas de Origen Denudacional (D).

Son relieves resultantes de procesos denudacionales o erosionales antiguos y recientes. Dentro de ésta categoría se han diferenciado las siguientes unidades:

Plano Denudacional (Dp).

Se refiere a zonas planas a ligeramente inclinadas y onduladas, en la cima de algunas montañas. Afectadas por erosión laminar concentrada y difusa. Algunas de ellas, se encuentran conformadas por suelos residuales y cubiertas parcialmente por depósitos glaciares y coluviales. Pueden ser catalogadas como zonas moderadamente estables por sus suaves pendientes. Se localiza en el extremo suroriental del área en la zona de páramo cerca al nacimiento de algunas quebradas y lagunas de los alrededores; en la vereda la diana y al norte de Pradera en la vereda El Tablón.

Pendientes Denudadas (Dd).

Son terrenos de pendientes largas moderadamente inclinadas, con drenajes poco profundos. Se encuentran ampliamente distribuidos a través del área y cubiertos por depósitos de ladera poco espesos. Son zonas con predominio de erosión laminar concentrada y ocasionales deslizamientos de suelo producto al parecer, de la actividad antrópica de deforestación. Se clasifican como terrenos inestables cuyo uso debe ser restringido para evitar generación de deslizamientos mayores, (**Fotografía 2.3.4**).

Colinas Denudadas (Dc).

Relieves ondulados afectados por procesos erosivos. Se presentan principalmente donde la composición de las rocas es de lavas basálticas, es decir, en el piedemonte cordillerano. En estos terrenos es posible que se generen deslizamientos profundos debido al espesor de los suelos residuales, variable entre 1 y 7 m.



Fotografía 2.3.4. Deslizamiento activo en pendientes denudadas, Quebrada Bolo Azul (Margen derecha) sitio La Esperanza (2800 m.s.n.m.). se observan problemas de reptación y flujos de suelo menores

Depresión Denudacional (Dn).

Delimitan depresiones topográficas principalmente relacionadas con drenajes en microcuencas disectadas y erosionadas, de pendientes largas, cóncavas y complejas. Los drenajes son profundos como los de la quebrada El Piñal, afluente del río Bolo Azul. Se catalogan como zonas húmedas inestables, susceptibles a deslizamientos de suelo.

Zona Escarpada (Ds).

Son zonas abruptas poco a moderadamente disectadas, de laderas convexas y rectas, con poca vegetación. Se distribuyen ampliamente en el área de estudio, destacándose su presencia cerca al nacimiento y en las vertientes de algunas quebradas como Las Monjas, río Santa Barbara y en la quebrada La Elvira (afluente del río Bolo Azul). Estos son catalogados como sectores altamente inestables debido a las escarpadas pendientes afectadas por diaclasamiento, haciéndolas susceptibles al desprendimiento de bloques.

Depósitos de ladera (DI).

De claro reconocimiento en el campo por cuanto sus pendientes son generalmente más suaves que las geoformas adyacentes. Son formas producto de la erosión, remoción y acumulación de material sobre las laderas. Se incluyen deslizamientos y flujos de detritos antiguos así como depósitos coluviales y masas deslizadas con coronas antiguas y recientes (**Fotografía 2.3.5**). Estos depósitos son en general de poca extensión y poco espesos pero se encuentran ampliamente distribuidos, dando una idea de la inestabilidad en los lugares donde se concentran, especialmente en laderas empinadas. Por ser materiales inconsolidados, estos podrían reactivarse en épocas lluviosas y generar deslizamientos de roca y suelo. Cabe observar que a diferencia del río Fraile, en la cuenca del río Bolo se encuentran los depósitos de vertiente de mayor espesor y extensión de toda el área de estudio como los de la vereda La cumbre, quebradas Salsipuedes y Los Peñones.



Fotografía 2.3.5. Zona altamente inestable cerca de la confluencia de la Quebrada Mendoza y El Río Bolo Azul. Se aprecian coronas antiguas y recientes de desprendimientos rotacionales con sus respectivas zonas de acumulación.

2.3.2.2.2 Formas de Origen Denudacional - Estructural (S).

Comprenden formas del terreno que evidencian procesos denudacionales antiguos, reactivados o actuales, y presentan control estructural por alineamientos, foliación, esquistosidad, fallamientos y otros.

Para su cartografía se han diferenciado, las siguientes unidades:

Escarpes (Se).

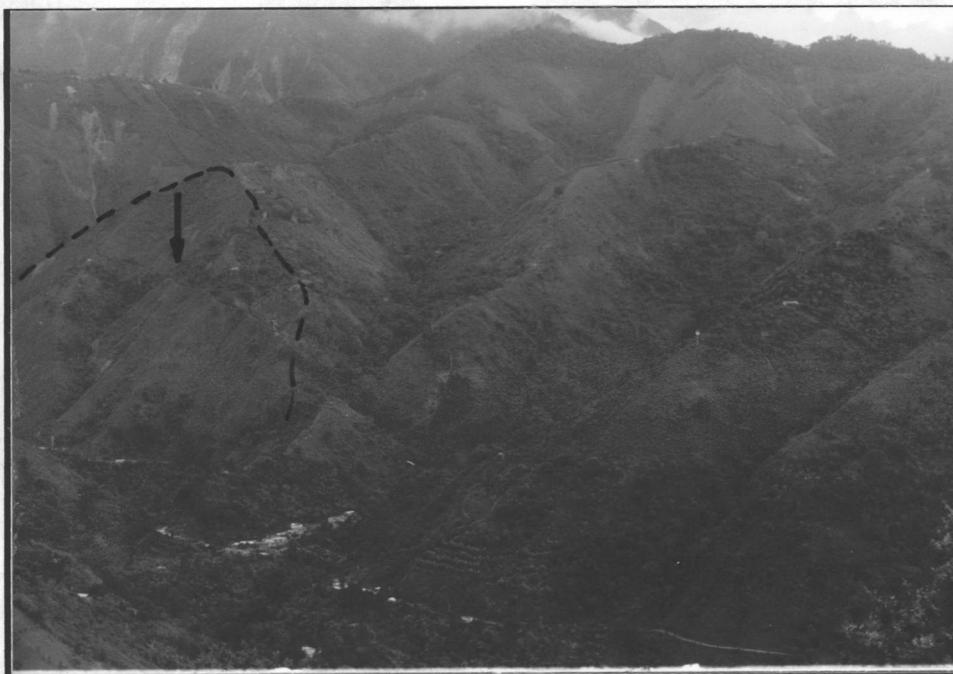
Modelados con pendiente cercanas a la vertical, controlados estructuralmente por diaclasamiento y fallamiento. Se forman por la presencia de rocas duras, ocasionalmente con algunas intercalaciones de rocas foliadas más blandas. A diferencia de las zonas escarpadas (Ds), sus laderas son muy irregulares y con salientes de roca mucho más resistentes, modeladas en parte por acción glaciár, geformas estas, comunes en el eje de la cordillera. En estas zonas, se observan cicatrices de antiguos desprendimientos y pueden ser catalogadas como inestables por su capacidad de generar desprendimientos y volcamientos de roca (**Fotografía 2.3.6**).



Fotografía 2.3.6. Zonas escarpadas con Talus glaciares (T) y conos de detritos generados por desprendimientos de rocas (cuarzodioritas) a lo largo de planos de discontinuidades. Se aprecian salientes de roca o Horns (H), misceláneo rocoso y bosques. Páramo de las Hermosas.

Cuestas o Pendientes Estructurales (Sc).

Son laderas estructurales formadas por capas o planos de discontinuidad (foliación, diaclasamiento, etc.), ubicados en el mismo sentido de la pendiente. Las laderas, rectas y homogéneas, con vegetación natural escasa, son consideradas como altamente inestables debido a que pueden ser afectadas por erosión laminar concentrada, surcos, cárcavas y deslizamientos traslacionales superficiales de roca y suelo. Cuestas típicas se observan en las vertientes del río Bolo Azul y en la carretera a la vereda Granates (**Fotografía 2.3.7**).



Fotografía 2.3.7. Pendientes estructurales en rocas de esquistos. Vereda La Rivera (San Isidro).

Cumbres Montañosas (Sm).

Son zonas montañosas de alta pendiente con cañones profundos en forma de "V" (**Fotografía 2.3.1**). Estas geoformas están controladas estructuralmente por los cuerpos intrusivos, foliación y fallamiento. En esta zona central montañosa, se concentran la mayoría de los procesos morfodinámicos principalmente asociados al Batolito de Santa Barbara.

Filos rocosos: (Sf).

Son formas muy sobresalientes, estrechas y alargadas, en la cima de algunas montañas. Están orientadas por el diaclasamiento y el rumbo de las rocas que las conforman. Se encuentran ampliamente distribuidas en las cuchillas que circundan el limite de las cuencas. En algunos sectores forman salientes muy estrechas a manera de cuernos (Horn), típicas de modelados

Glaciares. Son catalogados como sectores muy inestables por las altas pendientes que conforman sus laderas y por el diaclasamiento que puede originar fácilmente caídas de roca (**Fotografía 2.3.6**).

Depresión Estructural (Sd).

Son microcuencas de forma estrecha y alargada limitadas por filos rocosos. Algunas formas glaciares limitadas por circos glaciares, son muy similares a estas geoformas que se presentan en la quebrada El tesoro afluente del río Santa Barbara y en el extremo nororiental del área en la cuchilla del Serrucho. Son zonas inestables susceptibles de generar caídas de rocas.

Pendientes Irregulares (Si).

Conforman una topografía irregular formada por la alternancia de rocas duras y blandas o afectadas por esquistosidad y fallamientos. Son comunes en la parte alta de las cuencas donde las laderas son muy irregulares de formas cóncavas y convexas, con cicatrices de formas glaciares como circos y depresiones semicirculares en las que se han depositado materiales fluvio-glaciares.

Terrazas de Denudación Estructural (St).

Son áreas de morfología plana a ligeramente inclinada, limitadas por fallas geológicas. Están constituidas por materiales rocosos angulares dentro de una matriz limo-arcillosa acumuladas por la actividad de las fallas. Algunas de estas terrazas están cubiertas por material fluvio-glaciario como es el caso de las ubicadas en las haciendas Córcega y San Julián, por la carretera a la escuela Bolo azul. En la depresión tectónica intermedia también se presentan terrazas de este tipo alineadas con los trazos de las principales fallas.

Conos de detritos (Sco).

Son geoformas de erosión-acumulación desarrolladas donde hay suficiente material que puede ser movilizadopor la acción del agua a través de canales (cárcavas) depositando el material en forma de conos. Estos se forman a lo largo de toda la zona límite entre las colinas de piedemonte y los abanicos fluviales.

2.3.2.2.3 Formas de Origen Fluvial (F).

Son geoformas derivadas de la actividad erosiva y de acumulación de material transportado por los ríos. En general, se identificaron varios niveles de terrazas dejadas por sedimentación de cauces y eventos fluvio - torrenciales antiguos, los cuales son explicados detalladamente en el tema de torrencialidad.

Planicies o llanuras de Inundación (Floodplain) (Fi).

Conforman el dominio del cauce de los ríos, incluyendo las vegas más recientes y barras torrenciales. Se incluyen las llanuras del valle del río Cauca ubicadas en el extremo occidental de la zona de estudio. En estas zonas de valle se presentan inundaciones y avenidas torrenciales dejando grandes bloques en sus márgenes.

Terrazas Bajas (Fb).

Morfología plana a ligeramente inclinada, adyacente a los cursos actuales de los ríos Bolo, Santa Barbara y Fraile, con escarpes naturales de baja altura, localizados en promedio entre 0.0 m y 5.0 m de altura respecto al nivel medio del río.

Terrazas Medias (Fm).

Son niveles planos a ligeramente inclinados, adyacentes a los cursos actuales, con alturas medias respecto al nivel del río de hasta 18.0 m. En la confluencia de la quebrada Los Tambos y el río Bolo Blanco se observan hasta cuatro niveles diferentes de terrazas, al igual que en la quebrada Los Caleños y en la confluencia de los ríos Santa Barbara y Fraile donde estos niveles de terraza exceden los 12 m de altura.

Terrazas Altas (Fa).

Son niveles de Terraza de alturas medias de 18 metros de altura con respecto al cauce del río. Estos niveles han sido sometidos a procesos erosivos en épocas antiguas y actualmente se asemejan a colinas redondeadas como las observadas en la Hacienda La Colina (Cerca de Florida). Delgados niveles de terraza no cartografiables de más de 30 metros de altura se aprecian en el Caserío La Feria y en el sitio San Martín de Porras.

Conos de Deyección (Fc).

Morfología de conos y rellenos de canal unidos por coalescencia lateral. Estos se desarrollan donde hay cambios de pendiente entre la zona cordillerana y la zona plana o de valle. Se destacan los conos del río Bolo, del río Párraga y el del río Fraile los cuales se describen con detalle en los volúmenes II y III de este informe.

Llanura (Fl).

Corresponde a extensas llanuras aluviales del río Cauca desarrolladas al occidente de la zona de estudio donde se ubican las poblaciones Pradera y Florida.

2.3.2.2.4 Formas de Origen Glaciar y Periglaciar (G).

Son geoformas de topografía alpina (alta montaña), producidas por la actividad erosiva, de arrastre y deposición de material, por efecto del hielo glaciar. En la parte alta de la zona de estudio se aprecian rasgos heredados de esta actividad como circos, depresiones (Nichos), marcas o estriaciones de hielo, depósitos de talus, fondos de valles en forma de parábola o de "U" con laderas de pendientes empinadas (valles Glaciares), cuernos (Horns), rocas aborregadas, etc. Algunos depósitos observados corresponden a morrenas laterales frontales y de fondo.

Morrenas (Gm).

Son depósitos con morfología ligeramente inclinada y suavemente ondulada, conformada por bloques superficiales y huellas que marcan el sentido del flujo. Algunos de estos depósitos de fondo rellenan pequeños valles de manera similar a los valles fluviales como los observados en la quebrada Guayabal donde el valle glaciar está relleno por una morrena de fondo y terminal (**Fotografía 2.3.8**). Otros depósitos de este tipo se encuentran ampliamente distribuidos en la mayoría de los fondos de las quebradas del páramo.



Fotografía 2.3.8. Morrena terminal en la Quebrada Guayabal.

Depósitos Fluvio-glaciares (Gd).

Son depósitos de morfología suave a moderadamente inclinados, rectos a ondulados que incluyen pequeñas pero numerosas depresiones de acumulación y sedimentación en las lagunas y sus alrededores, como es el caso de las turberas formadas en la quebradas Mendoza, El Encanto, Guayabal, Las Monjas y Colón (**Fotografía 2.3.9**).



Fotografía 2.3.9. Depósitos de relleno Lagunar en el nacimiento de la Quebrada Colón.

Pendientes con materiales fluvio-glaciares (Gp).

Son depósitos fluvio-glaciares de vertiente, poco espesos, a veces limitados por escarpes. Algunos de estos depósitos son muy delgados, conformados por material fino,

enmascarando las laderas. Se incluyen pequeños depósitos producto de avalancha de rocas sobre algunos cauces y laderas. Ejemplos se observan en las laderas que conforman las quebradas Las Monjas, Guayabal, Betulia y en el nacimiento del río Santa Bárbara, entre otros.

Talus Glaciar (Gt).

Son depósitos de pie de ladera originados por acumulación de detritos que han caído de las paredes de roca por acción de la gravedad o ayudados por los glaciares. Estos adoptan la forma del pie de ladera en que se depositan haciendo difícil distinguirlos de otras formas de acumulación. Pueden tener formas desde planares a lo largo de las laderas hasta de conos entrelazados. La mayoría de estos depósitos han sido erosionados y meteorizados y están cubiertos por vegetación de páramo, indicando que estos procesos son antiguos y no se desarrollan en la actualidad en esta zona. Estos depósitos son comunes en los ríos Fraile y Santa Bárbara y en las quebradas Las Monjas y Guayabal (**Fotografía 2.3.6**).

2.3.3 Morfodinámica.

La morfodinámica se relaciona con los procesos erosivos y de remoción en masa, generados por los cambios ocurridos tanto en el interior (sismicidad) como sobre la superficie de la tierra en donde actúan los factores climáticos, la acción de la gravedad, del hombre, etc.

Para lograr un acercamiento al conocimiento de estos procesos, de sus causas y potencialidad de detonación de otros; se realizó, una localización de los sectores con problemas antiguos y activos de deslizamientos, flujos de suelo y de detritos, reptación y coronas de desprendimiento, caídas de roca, etc. (**Mapa 6**). Posteriormente se agruparon estos rasgos morfodinámicos en áreas según la densidad del proceso dominante, para ser utilizado posteriormente en el modelo de calificación de variables de susceptibilidad (**Mapa 7**).

Todos los procesos de remoción en masa han sido clasificados de acuerdo con sus mecanismos de falla, según la clasificación de Varnes (1958), (**Tabla 2.3.1**). En esta, se categorizan los procesos teniendo en cuenta el tipo de material y tipo de movimiento, en caídas, volcamientos o derrumbes, deslizamientos, propagaciones laterales, flujos y movimientos complejos. Según la forma del plano de ruptura a través del cual se produce el movimiento, los deslizamientos (nombre genérico), también se pueden clasificar como rotacionales, traslacionales y complejos. De igual forma los procesos de remoción en masa se agruparon según el paisaje presente indicando la composición y meteorización de la roca parental. Así por ejemplo: Los desgarres de material que han generado flujos de suelo y lodo se presentan principalmente en vertientes del Batolito de Santa Bárbara, en el contacto suelo - roca dejando cauces bien marcados o surcos en el terreno.

| TIPO DE MOVIMIENTO | | TIPO DE MATERIAL | | | |
|--------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | ESTRATIFICADO | | SUELOS | |
| CAIDAS | | CAIDA DE ROCA | | CAIDAS DE SUELO | |
| DESPLAZAMIENTOS | Pocas unidades | Rotacional | Planar | Planar | Rotacional |
| | Muchas unidades | Hundimiento | Hundimiento de bloques | Deslizamiento de bloques | Hundimiento de bloques |
| | | Deslizamientos de roca | | Deslizamiento de detritos | Deslizamiento por propagación lateral |
| FLUJOS | Seco | INCONSOLIDADO | | | |
| | | Fragmentos de roca | Arena o limo | Mezcla | Principalmente plástico |
| | Flujo de fragmentos de roca | Flujo de Arena | Flujo de Loess | | |
| | Húmedo | | Flujo rápido de tierra o arena | Avalancha de detritos | Flujo lento de tierra |
| | | | Flujo de limo | Flujo de detritos | Flujo de lodo |
| COMPLEJO | | Combinación de materiales o tipo de movimiento | | | |

Tabla 2.3.2 Clasificación de procesos de remoción en masa, Varnes 1958.

Los deslizamientos rotacionales y complejos así como los hundimientos del terreno (slump) y la reptación, se presentan principalmente en las vertientes de la depresión tectónica intermedia y en las colinas de piedemonte, donde las rocas se encuentran altamente meteorizadas.

Teniendo en cuenta aquella clasificación, se reconocieron procesos de remoción en masa ocurridos en los cuatro tipos básicos de material rocoso: el primero en las cuarzodioritas del Batolito de Santa Barbara, en el contacto suelo - roca a manera de flujos de suelo y de lodo dejando cauces bien marcados o surcos en el terreno. Donde los suelos residuales son más espesos, las coronas de desprendimiento se hacen más amplias y los planos de falla tienden a ser rotacionales. El segundo en esquistos cuarzo-sericíticos del Complejo Cajamarca, especialmente al suroriente de la escuela Bolo Azul donde los movimientos activos están presentes en suelos residuales y en depósitos de ladera originando reptación, flujos de suelo y deslizamientos rotacionales. El tercero ocurre en los Metagabros de Bolo Azul con flujos de lodo, flujos de detritos y caídas de roca El cuarto en las lavas basálticas almohadilladas de la Formación Amaime con deslizamientos rotacionales y hundimientos ocurridos principalmente sobre espesos depósitos de ladera. Allí son frecuentes la reptación y terracetas o pisadas de vaca.

A continuación se analizan las relaciones de estos procesos con la litología, pendientes, suelos y su uso, entre otros, como base para establecer el grado de susceptibilidad en las cuencas.

2.3.3.1 Tipos de movimientos en masa.

2.3.3.1.1 Flujos de suelo.

Constituyen la mayoría de los procesos observados en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile. En su gran mayoría son superficiales, de movimiento rápido ayudado por la abundante agua que absorben durante las lluvias, razón por la cual se comportan como fluidos. En la parte superior o corona, se producen superficies de desgarre o pequeños escarpes irregulares o semicirculares que no sobrepasan los 25 m de ancho. En la parte media e inferior los espesores de material desplazado no sobrepasan 1 m y por lo general éste no se acumula y casi todo es arrastrado, depositado en los cauces y lavado por las corrientes; razón por la cual estos flujos son los responsables de generar la gran mayoría de las avenidas torrenciales del área de estudio (Fotos 2.3.10 y 2.3.11). En muchos casos estos flujos dejan un cauce por donde pasa el material desde la parte alta de la ladera, generando cárcavas que pueden ser ampliadas lateralmente por nuevos desprendimientos en épocas de lluvia.

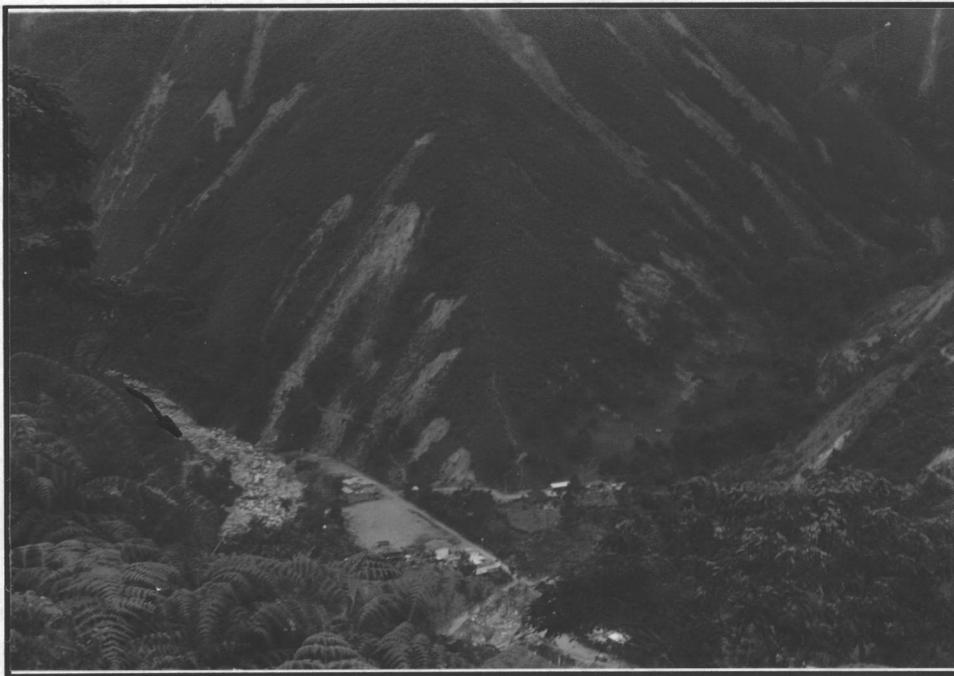
Se componen de suelos arcillo arenosos blandos producto de la meteorización de la roca subyacente así como de material rocoso del contacto suelo - roca y árboles. Entre las causas principales que generan estos movimientos se tiene el cambio en las condiciones de equilibrio de los suelos por el incremento del peso con la humedad y el consecuente aumento de la presión de poros en las épocas lluviosas. La deforestación y cultivos en altas pendientes contribuyen pero no son determinantes ya que se han observado flujos de lodo en zonas boscosas no intervenidas, como los flujos ubicados en zonas de bosque natural, en los alrededores de Los Caleños ahora en proceso de recuperación (Fotos 2.3.12 y 2.3.13).

De lo anterior se deduce que los suelos desarrollados en zonas de alta pendiente, alcanzan ángulos críticos de estabilidad alrededor de los 46° a 56°, según el espesor del suelo y humedad presente. Es de observar que durante las avenidas torrenciales del 31 de enero de 1994 y del 20 de Enero de 1997, la mayoría de los procesos que se generaron en la cuenca de la quebrada Granates y sus alrededores, corresponden a este tipo de deslizamiento.

2.3.3.1.2 Deslizamientos Traslacionales de roca.

Son procesos muy similares a los anteriores con movimientos superficiales de poca magnitud, pero involucran roca y algo de suelo. Se producen en terrenos de cuevas o pendientes estructurales a lo largo de planos definidos de foliación y diaclasamiento. El movimiento se produce a través de planos de debilidad de la roca y abarca los materiales alterados y los suelos. Se observan principalmente en la carretera de Florida a Granates, en cercanías al caserío La Rivera y en la cuenca de la quebrada Colón.

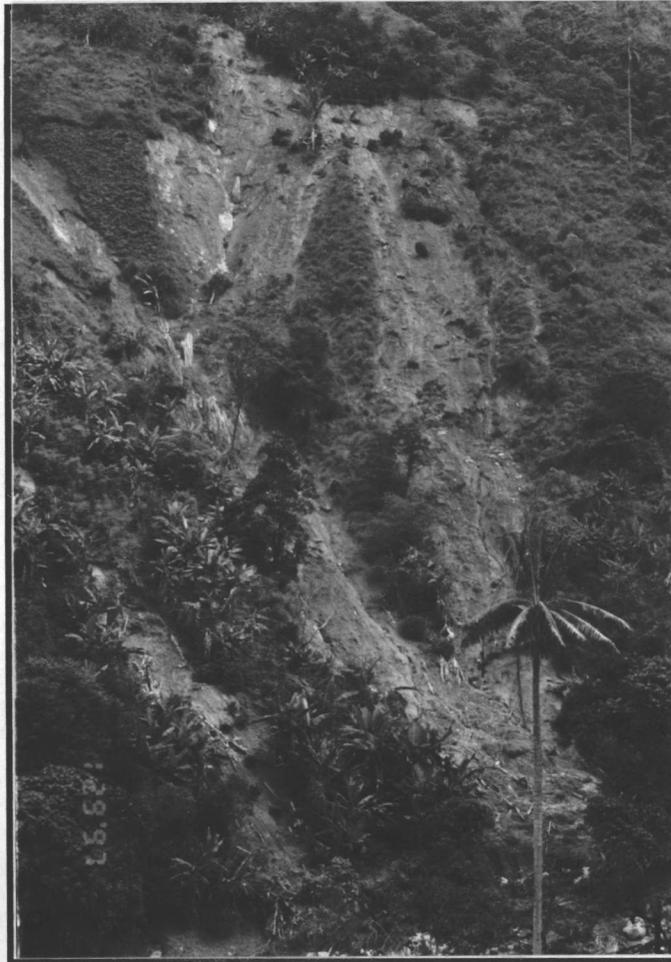
Los sectores donde se presentan son muy inestables y ponen en amenaza las viviendas ubicadas en sus alrededores.



**Fotografía 2.3.10. Flujos de suelo y lodo que afectan zonas de pendientes altas, en la vereda Granates.
(Cuenca del río Fraile)**



**Fotografía 2.3.11. Flujos de suelo y lodo en la Quebrada Colón (Río Fraile) por efecto de lluvias
concentradas del 20 de enero de 1997.**



Fotografía 2.3.12. Flujos de suelo y lodo en la carretera Florida-Granates, margen derecha del río Fraile.



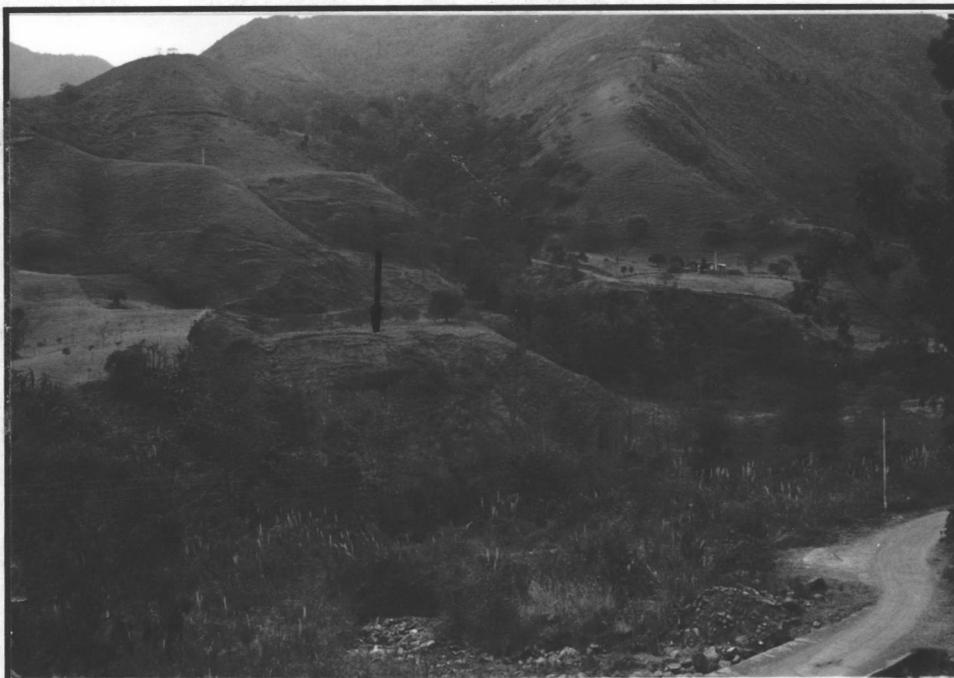
Fotografía 2.3.13. Cicatriz de flujo de suelo revegetalizado en la margen izquierda de la Quebrada Los Caleños.

2.3.3.1.3 Deslizamientos Rotacionales de Suelo.

Se caracterizan por tener una superficie de falla o ruptura circular o semicircular a lo largo de la cual se desliza el material. Estos por lo general se presentan sobre depósitos de ladera y en suelos residuales espesos como los generados por las lavas almohadilladas de la Formación Amaime y el Batolito de Santa Barbara donde algunos suelos pueden tener hasta 5 metros de espesor

En las laderas de la quebrada San Antonio, afluente del río Santa Barbara se presentan deslizamientos activos menores en suelos residuales de cuarzodioritas, cuyos planos de falla tienden a ser curvos, algunos de los cuales alcanzaron a comportarse como flujos de lodo por la gran cantidad de agua que absorben.

En esta categoría se incluyen los Hundimientos del terreno (Slump) donde las superficies de falla tienden a ser verticales generando hundimientos en material poco consolidado. Incluyen áreas más o menos extensas como las de la confluencia de la Quebrada Los Negros y el río Bolo Blanco en el sitio La Cima donde la zona afectada abarca al menos 350 metros de ancho afectando los potreros del sector (**Fotografía 2.3.14**).



Fotografía 2.3.14. Deslizamiento profundo activo en lavas basálticas en el sitio La Cima, Río Bolo (Q. La Maltina) de dimensiones 120x100x10 m= 120.000 m³

2.3.3.1.4 Flujos de Detritos.

Ocurren típicamente en materiales in situ moderadamente meteorizados, muy diaclasados como esquistos y neises anfibólicos. Presentan coronas o zonas de desprendimiento semicirculares a rectas que se generan cuando un bloque de detritos se separa del macizo rocoso a través de diaclasas verticales o en cuña y se desliza sobre otra diaclasa, foliación o una falla preexistente. En tal sentido pueden interpretarse también como deslizamientos de roca.

Estos desprendimientos tienen poca extensión, no más de 50 metros de ancho y ocurren cerca al desvío de la carretera La Diana hacia Los Caleños (**Fotografía 2.3.15**), en la quebrada el Pato (afluente del río Bolo blanco) (**Fotografía 2.3.16**) y en las zonas de páramo donde hay cambios bruscos de pendiente que permiten la acumulación paulatina de detritos desde cantos a grandes bloques generando Conos de Detritos o Talus.

Por aparte se incluyen los flujos o avenidas torrenciales que circulan por los cauces de los

ríos, arrastrando material grueso de los bordes y aquel que le cae producto de movimientos en masa. Evidencias de estos fenómenos torrenciales se tratarán en el tema de torrencialidad.

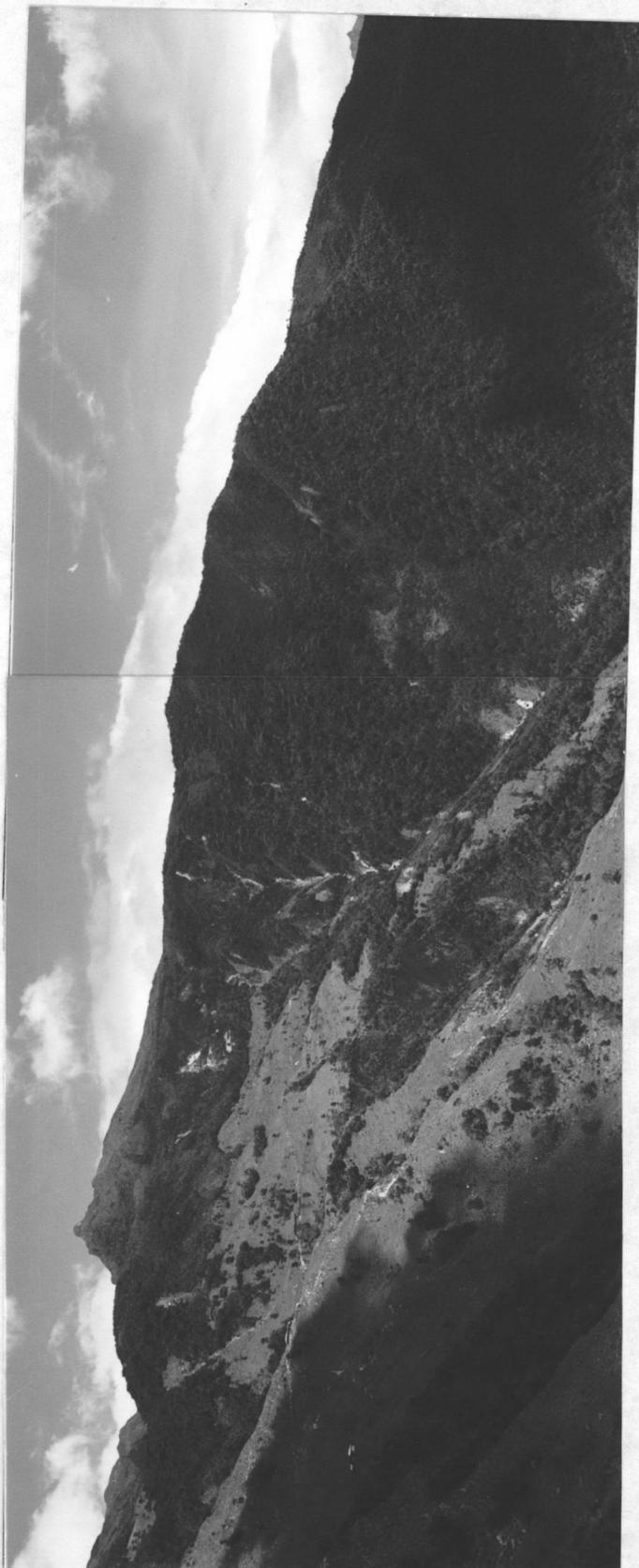


Fotografía 2.3.15. Flujo de detritos en la vía al oriente de Los Caleños.

2.3.3.1.5 Movimientos Lentos.

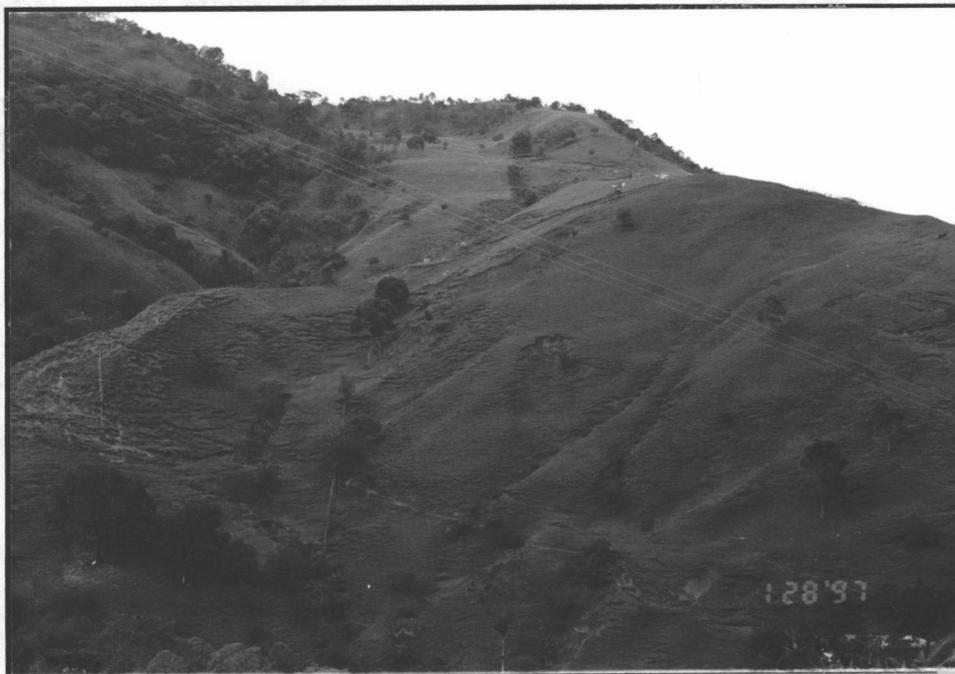
Incluyen desplazamientos diferenciales del suelo, a veces imperceptibles como la reptación, que se manifiesta por arrugas del suelo paralelas entre sí y perpendiculares al sentido de la pendiente, producto de escurrimientos de su parte más superficial. Ocurren en suelos superficiales con pastos y poca cobertura de árboles.

Este proceso superficial está ampliamente distribuido en donde afloran las lavas almohadilladas de la Formación Amaime especialmente entre las quebradas Bolívar y Plan Amarillo por la carretera a Granates (**Fotografía 2.3.17**); en los alrededores de La Diana y al nororiente de Pradera.



Fotografía 2.3.16. Flujos de detritos y cárcavas en la Quebrada El Pato, afluente del río Bolo Blanco.

Otro proceso de inestabilidad superficial inducido, asociado a la reptación lo constituyen las terracetas o pisadas de Vaca que se distinguen por formar una red continua de escalones en zig-zag producidos por el pastoreo de ganado vacuno en laderas moderadamente inclinadas con pendientes mayores de 10 grados. Este fenómeno que degrada eventualmente en reptación y flujos lentos de suelo, se halla ampliamente distribuido en todos los sectores donde existen pastos y ganado, independientemente del tipo de suelo presente.



Fotografía 2.3.17. Terracetas y reptación en las vertientes de la Quebrada Bolívar.

2.3.3.2 Distribución de los Procesos morfodinámicos

Para la evaluación de la dinámica y torrencialidad de una cuenca se hace indispensable la integración de las interpretaciones de los procesos que actúan en las vertientes, con los procesos que se dan a nivel del fondo de un valle, pues son completamente dependientes entre sí. Así por ejemplo, evidencias de procesos erosivos muy fuertes en las vertientes se tienen que manifestar en la dinámica del valle. Por esta razón, se hace necesario analizar el estado actual de las vertientes en todas las cuencas con relación a los procesos morfodinámicos actuantes en el presente y en el pasado reciente, que son los que permiten identificar sus huellas sobre la superficie del terreno.

2.3.3.2.1 Procesos en las formas glaciales heredadas.

Como ya se había planteado al enunciar la unidad de formas glaciales heredadas, los procesos morfodinámicos actuales son mínimos en razón de que las formas glaciales se encuentran casi intactas o inactivas. La erosión laminar y los escasos deslizamientos superficiales encontrados, descartan la producción de cantidades importantes de detritos que alguna vez hubiesen podido alimentar avenidas torrenciales en el fondo de todos los valles de las cuencas de los ríos estudiados para este informe.

2.3.3.2.2 Procesos en las vertientes montañosas altas.

Los procesos más importantes de las cuencas, desde el punto de vista de las avenidas torrenciales, se dan en esta unidad casi inmediatamente al oriente de la unidad de depresión tectónica intermedia en el caso de las cuencas de los ríos Fraile y Santa Bárbara, mientras que en la cuenca del río Bolo, sólo se presentan en el extremo sur central, en las subcuencas de las quebradas Cristalina y Peñones. Estos procesos consisten de deslizamientos pequeños o flujos de suelo y lodo, pero abundantes, con dimensiones hasta de 15 x15 x2 m, dispersos como cicatrices recientes y antiguas a lo largo de toda la extensión ocupada por la cuarzodiorita del Batolito de Santa Bárbara (**Fotografías 2.3.12 y 2.3.13**). No cabe duda de que es en esta unidad y tipo de roca en la cual se produce casi todo el material sólido que alimenta las avenidas torrenciales.

En contraste con lo anterior, en las cuencas de los ríos Bolo Blanco y Bolo Azul, el basamento se compone de rocas metamórficas, donde este tipo de proceso se encuentra casi ausente. En esta litología el proceso morfodinámico dominante es la caída de bloques de roca y flujos de detritos, fenómenos que se presentan de manera casi continua tanto en el invierno como en el verano, propiciado por las altas pendientes, el mínimo espesor de suelo en las vertientes y la deforestación. Los volúmenes aportados a los cauces por las caídas de bloques de rocas son poco significativos en razón de que se presentan dispersos no sólo en el área sino también en el tiempo.

Las mejores evidencias de este proceso en los valles se encuentran como depósitos de pie de vertiente (Flujos de detritos y coluviones), en todo el fondo de la cuenca de la quebrada La Maltina.

En ninguna parte de esta unidad se encontraron cicatrices de deslizamientos profundos que involucraran volúmenes superiores a los 2.000 m³, indicando así la ausencia de procesos diferentes a los ya descritos.

2.3.3.2.3 Procesos en la depresión intermedia.

Debido a las propiedades físicas de los saprolitos y al alto grado de fracturamiento de las rocas subyacentes que se presentan en esta unidad, los suelos derivados forman una

superficie mal drenada, irregular, con procesos de inestabilidad que se manifiestan principalmente por reptación en las vertientes, mientras que en los bordes de los cauces son comunes los movimientos en masa hasta de 30x30x5 m, tal como se puede observar en toda la vertiente comprendida entre el caserío La Diana y el río Santa Bárbara.

En la vía La Feria-El Retiro, se observa sobre la margen derecha de la quebrada La Maltina el deslizamiento activo de mayor tamaño encontrado durante el trabajo de campo, con dimensiones de 120 m x 100 m x 10 m, es decir unos 120000 m³, que presenta en la actualidad un movimiento lento en vista de los rasgos superficiales de deformación y la inclinación de algunos árboles. Estos procesos, involucran no sólo la parte más superficial que contiene el saprolito, sino además volúmenes considerables de roca fracturada (**Fotografía 2.3.15**).

2.3.3.2.4 Procesos en las colinas de piedemonte.

Las condiciones tectónicas expuestas en el capítulo de Geología, producen en los basaltos una alta susceptibilidad a ser afectados por fenómenos de meteorización que producen en ellos saprolitos hasta de 5 m. Estas condiciones facilitan la formación de deslizamientos pequeños del orden de 10 x10 x 5 m (500 m³), tal como se observa en algunas cicatrices en la vertiente occidental del caserío de La Diana, donde pocos de ellos alcanzan más de cinco metros de profundidad, en vista de que en general se forman en la discontinuidad suelo-roca. (**Fotografía 2.3.18**).

El proceso de degradación más importante que ocurre dentro de esta unidad es el de erosión concentrada a lo largo de surcos que alcanzan profundidades hasta de 1 m, originados exclusivamente por sobrepastoreo (**Fotografía 2.3.17**).

Un último proceso observable en las vertientes correspondientes a esta unidad son las cárcavas que se pueden formar a mitad de ladera por concentración de aguas de escorrentía, debido a surcos o caminos de ganado. Las mayores cárcavas tienen dimensiones de más de 10 m de longitud por 5 de ancho e involucran material hasta de 3 m de profundidad (150 m³). Este proceso no es muy común por cuanto se encontraron unas pocas cárcavas activas en toda la extensión de la unidad. Si se tiene en cuenta que la permanencia de éstas en estado de actividad puede alcanzar hasta 5 años, el balance de volumen de detritos resultante es del orden de 10 m³/año/km² o talvez inferior.

Una excepción de lo anterior se puede observar en el sector intermedio del cauce del río Párraga, en el cual se presenta un deslizamiento de roca y suelos que puede alcanzar un volumen del orden de 10.000 m³. Cabe anotar que solamente en la cuenca de este río se encontraron cicatrices antiguas, ya cubiertas por vegetación que alcanzan tamaños similares.

Parece que los factores detonantes de los fenómenos anteriores son períodos invernales prolongados, que incluyen un episodio de lluvia relativamente fuerte, ocurrido cuando la cubierta de suelo está saturada.

En conclusión se puede afirmar que en esta unidad se presentan los deslizamientos con mayores volúmenes, además pueden tener características de movimiento rápido, que por su composición de bloques y matriz arcillosa, ocasionalmente pueden bloquear el cauce por unos pocos minutos.



Fotografía 2.3.18 Cicatrices de deslizamientos en la unidad de colinas de piedemonte.

2.3.3.2.5 Procesos en la Unidad de abanicos de Piedemonte.

Para efectos de procesos erosivos y como unidad contribuyente al aporte de masas de las avenidas torrenciales, los abanicos no tienen ninguna influencia puesto que ellos no presentan procesos erosivos severos, sino de agradación. Para el caso del abanico del río Párraga, sí se podría considerar como un fenómeno importante la socavación lateral del abanico por el cauce actual, pero en este caso, el aporte no es tan significativo como para que ponga en peligro numerosas vidas humanas en la parte baja, dado que en ella no hay asentamientos humanos.

2.3.3.3 Torrencialidad.

La identificación, caracterización y correlación de cada uno de los depósitos permite conocer el comportamiento pasado de los cauces y, en consecuencia, conocer de manera anticipada el posible comportamiento futuro si se tiene en cuenta que los eventos de magnitud menor no dejan un registro perdurable en el tiempo y que aun los eventos mayores pueden ser borrados total o parcialmente por erosión (Parra, E, y Mejía, I., 1996), los estimativos de la evaluación de la torrencialidad se deben considerar como indicativos mínimos de los fenómenos que puedan ocurrir, tanto en recurrencia como en magnitud.

Una avenida torrencial consiste en una creciente de un cauce con volúmenes excepcionales que se produce por causas volcánicas, sísmicas, hidrometeorológicas o gravitacionales. Para el caso específico de los ríos Bolo y Fraile, se consideraron todos los anteriores detonantes con excepción de los volcanes en razón de su ausencia en la parte alta de las cuencas. El análisis de los procesos en las vertientes dió como resultado la eliminación de las posibilidades sísmicas y de bloqueo de cauces por causas gravitacionales, quedando únicamente como fenómeno causante de las avenidas torrenciales, los eventos de lluvias concentradas.

La mayoría de los depósitos no tienen el tamaño suficiente para ser consignados sobre un mapa escala 1:50.000, y por tal razón en el **mapa 1**, aparecen únicamente las localizaciones de las estaciones de campo (ejemplo EP 4060). La descripción de las columnas estratigráficas y perfiles esquemáticos levantados para conocer la torrencialidad, aparecen en el **Anexo 1**.

2.3.3.3.1 Evaluación de la Torrencialidad de los ríos Bolo y Fraile.

El objetivo general de esta parte del estudio, consiste en la evaluación de las causas y relaciones de las crecientes torrenciales de los ríos Bolo, Fraile y Párraga. Como objetivo específico encontrar la cantidad y magnitud de avenidas torrenciales prehistóricas, su origen y su relación en el espacio con los procesos morfodinámicos que se dan en las vertientes.

Metodología. El estudio de lo que se llama aquí TORRENCIALIDAD, incluye varios aspectos intrínsecos de las avenidas torrenciales tales como su génesis, características hidráulicas, transporte de masas y la recurrencia del fenómeno de acuerdo a una escala relativa y aproximada cuando no se dispone de edades precisas de los depósitos.

Esta metodología se ha desarrollado a partir de la observación, análisis e investigación de numerosos fenómenos de este tipo ocurridos en el último decenio en Colombia, con el fin de aplicarlo como herramienta para la prevención de desastres y planificación del desarrollo. Para la elaboración de la presente evaluación de la torrencialidad en las cuencas

de los ríos ya citados se tuvieron en cuenta numerosos conceptos principalmente de Baker (1988) Osterkamp (1992), y otros autores, de donde se tomaron criterios acerca de la geomorfología de inundaciones torrenciales, algunas de las cuales son aplicables al caso de las cuencas en estudio.

Para este tipo de estudio se parte del principio de que cada evento de magnitud importante deja su huella sobre el terreno como un depósito de dimensiones variables que permanece sobre el fondo del valle siempre y cuando las condiciones ambientales y erosivas lo permitan.

En la etapa de recolección de información se hicieron recorridos sobre todas las cuencas, con el fin de diferenciar los procesos que modelan las vertientes. Adicionalmente se hizo un reconocimiento de todos los cauces con el fin de localizar y describir los diferentes depósitos de fondo de valle que reflejaran el comportamiento hidráulico de los ríos.

Torrencialidad del río Fraile.

De las tres cuencas estudiadas, la del río Fraile ha sido históricamente la de mayor torrencialidad con crecientes registradas en las siguientes fechas, en algunas de las cuales se enuncian las áreas de origen:

Abril 15 de 1976, 5. p.m. Quebradas Los Patos y El Salado.

Febrero 2 1993 sector Brisas.

Enero 31 de 1994 Río Santa Bárbara arriba de la quebrada el Diamante.

Octubre 10 de 1995.

Enero 20 de 1997, 3:30 p.m.. Quebrada Granates y Río Fraile.

Río Fraile. Los primeros depósitos torrenciales del río Fraile se pueden apreciar en cercanías de la quebrada San Rafael, en la cota 2.200 (EP 4060). Por encima de esta cota, el cauce no muestra evidencias de torrencialidad por las siguientes razones: El lecho está conformado exclusivamente por bloques sueltos de tamaños métricos provenientes de las paredes de la quebrada, depositados por acción de la gravedad. Las márgenes en roca están cubiertas totalmente de líquenes y musgos maduros, y pobladas por árboles con troncos hasta de un metro de diámetro, además rocas con bordes agudos lo que implica que al menos en este siglo no se han generado eventos torrenciales arriba de este lugar.

La quebrada San Rafael (EP 4061), muestra por lo menos dos eventos torrenciales, solamente el inferior de ellos puede considerarse formado después del Holoceno, (aprox. 12.000 años) dada la mínima meteorización que se aprecia en cantos, bloques y matriz. El

otro depósito presenta una disección y meteorización muy avanzada, lo que puede indicar tal vez una edad pre - Holocénica.

El río Fraile aguas abajo del sitio anterior (EP 4062), en la cota 2.160, muestra un depósito torrencial cubierto por suelo y sobre éstos, se aprecia una barra torrencial de bloques decimétricos a métricos, los cuales indican por su menor altura sobre el cauce y ausencia de meteorización una edad menor que los depósitos de la quebrada San Rafael.

La quebrada Colón, no muestra depósitos torrenciales antiguos. En su confluencia con el río Fraile forma una especie de abanico en el cual se distinguen varios eventos: El de enero de 1997, caracterizado por sus bloques frescos; el de 1994, sobre el cual se está desarrollando una vegetación de rastrojo bajo; y posiblemente el de 1963 que muestra una barra invadida por líquenes negros y algunos pocos blancos (**Fotografía 2.3.19**) Sobre la barra se desarrolla una vegetación de rastrojo alto, con árboles de tallos hasta de 20 cm de diámetro, indicativos de la edad de formación de la barra (HUPP, 1988).

En síntesis, hasta este lugar del río, aparte de estos tres eventos: 1997, 1994 y 1963, con registro histórico y estratigráfico, hay depósitos de otros tres eventos Holocénicos todos superiores en volumen a los anteriores, posiblemente tres o cuatro veces mayores si se tiene en cuenta el espesor de los depósitos que se conservan.

La quebrada Granates, afectada por el evento torrencial de 20 de enero de 1997, unos 100 m aguas arriba de la desembocadura del río Fraile, muestra un depósito, (**Fotografía 2.3.10 y 2.3.11.**) de aproximadamente 12 m de espesor que contiene por lo menos 8 eventos torrenciales. El estrato inferior es el más notable por su coloración gris, producto de la abundancia de matriz arcillosa mezclada con materia orgánica y abundantes pedazos de madera dispersos que se encuentran en estado de transformación a turba. Se puede suponer la edad de este evento basal como simultáneo con la última glaciación, es decir su edad aproximada sería unos 12.000 años, dato que sería posible verificar en el futuro mediante dataciones por C^{14} . Este depósito, al igual que otros tres correlacionables con los de la quebrada Granates, aparecen también en el fondo del valle del río Fraile, tanto aguas arriba de la confluencia con ella, como varios kilómetros abajo, indicando así que no fue un fenómeno exclusivo de esta última.

Desde el punto anterior hasta el río Santa Bárbara, el cauce del río Fraile no muestra nuevos depósitos con características diferentes a las de las anteriores, es decir, se completan 11 eventos torrenciales post holocénicos, adicionales a los tres de este siglo a los cuales se les puede atribuir un registro visible en la actualidad.(1997, 1994,1963).



Fotografía 2.3.19. Barra torrencial con bloques cubiertos por líquenes negros, que le dan una tonalidad oscura a las rocas.

Río Santa Barbara. De la cota 2700 hacia arriba no muestra eventos torrenciales de acuerdo con evidencias similares las descritas en el río Fraile. A partir de esta cota se pueden distinguir todavía sobre el cauce los efectos del evento de 1994 formando barras de bloques decimétricos que cubren un depósito más antiguo de 2 metros de espesor, con líquenes negros y blancos que invaden los bloques desenterrados por erosión. Se puede asumir entonces que el depósito representa posiblemente un evento anterior a este siglo y que se presentó otro adicional al de 1994 que lo erosionó parcialmente, quizás en la primera mitad del siglo.

Aguas abajo en la cota 2600 en el sitio La Playa (E.P - 4069) se aprecian tres depósitos de flujos de escombros, diferentes a los anteriores, en los cuales lo más característico es la mínima meteorización de la matriz, en donde se destaca la incipiente alteración de las biotitas.

En la quebrada El Encanto (EP - 4070), se pueden observar tres eventos de flujos de escombros muy similares al de los del río Santa Barbara, pero en un estado de oxidación más avanzado de la matriz, lo que permite su interpretación como flujos más antiguos.

Aguas abajo de este lugar y hasta la desembocadura de la quebrada los Caleños, el cauce del río transcurre sobre roca y no fue posible encontrar depósitos torrenciales. Unos 200 m antes de su confluencia con la quebrada anterior, el río vuelve a ampliar su cauce (EP - 4072) y se puede apreciar el depósito del evento de 1994, y otro más antiguo, correlacionable con los de la quebrada el Encanto.

Aguas abajo de la quebrada los Caleños (EP - 4074), existe un depósito que muestra tres eventos torrenciales, todos mayores al de 1994, los cuales forman una terraza de más de 7 m de altura sobre el cauce. Aparentemente estos depósitos son ligeramente más antiguos que los de la parte alta (EP 4070), pero serían post Holocénicos en razón al poco desarrollo del Horizonte B que los cubre.

Continuando aguas abajo, en la margen opuesta del caserío San Martín de Porres (El Salado), se encuentra una terraza a más de 40 m de altura sobre el nivel del río que contiene numerosos eventos torrenciales posiblemente más de 10, sin embargo, los suelos que cubren la parte superior del depósito muestran un avanzado desarrollo y por esta razón se consideran de edad pre Holocénica.

En el puente El Salado, por debajo de la rasante de la carretera, sobre la margen izquierda del río Santa Bárbara, se puede distinguir dos niveles torrenciales cada uno de 2 m de espesor, ambos correlacionables con los de la estación EP - 4074.

Continuando aguas abajo, en el sitio El Cajón, es decir, antes de su confluencia con el río Fraile, cota 1450, se aprecian tres niveles de terrazas diferentes que resumen parcialmente el comportamiento torrencial del río Santa Bárbara (EP 4079), (**Fotografía 2.3.20**). La terraza superior, más antigua, ya disectada presenta los bloques casi totalmente meteorizados e integrados a la matriz; el Horizonte A alcanza más de 0.4 m y el B muestra un estado de desarrollo avanzado. La terraza intermedia, de 6 m de espesor, muestra cantos y bloques de cuarzodiorita parcialmente alterados, especialmente los menores a 20 cm de diámetro; los horizontes A y B de estado maduro, presentan espesores de 0.4 m. De acuerdo con lo anterior se les asigna a estas terrazas una edad pre-Holocénica. La terraza inferior muestra tres eventos torrenciales correlacionables con los de la quebrada El Encanto por el estado de meteorización de la matriz. Esta terraza presenta dos barras: La más antigua, depositada posiblemente a principios del siglo, en razón de que los bloques están completamente cubiertos por líquenes de tres generaciones con colores negros, blancos y verdes. La más reciente corresponde al evento de 1994. El conjunto de los depósitos correspondientes a las terrazas superior y media se observan en el escarpe localizado inmediatamente al sur, sobre la margen derecha del río Fraile (**Fotografía 2.3.21**).

En síntesis hasta este punto, el río Santa Barbara, aparte de los eventos históricos, muestra una avenida torrencial al principio del siglo y por lo menos 11 eventos de edad Holocénica,



Fotografía 2.3.21. Depósitos torrenciales de El Cajón, destapados por flujos de suelo.



Fotografía 2.3.22. Depósitos torrenciales cubiertos por limos de desborde.

no correlacionables con los del río Fraile si se asume que fueron producidos por lluvias concentradas.

Considerando que aguas abajo de este punto no se han generado avenidas torrenciales dadas las características superficiales de las vertientes, los eventos combinados de los ríos Santa Barbara y Fraile suman 22 avenidas torrenciales, a las cuales se les puede atribuir edad Holocénica. Adicionalmente hay evidencias de dos eventos no registrados históricamente y ocurridos a principios del siglo. Todos estos eventos formaron depósitos con espesores del orden del orden de 1.5 a 2 m, en comparación con 0.5 m dejados por el evento de 1994. Aguas abajo de la confluencia de los ríos Santa Bárbara y Fraile existen numerosos depósitos, todos correlacionables con los de las partes media y alta, algunos de ellos compuestos por gravas muy finas y arenas que representan depósitos conocidos como “limos de desborde” (Fotografía 2.3.22).



Fotografía 2.3.20. Niveles de terrazas torrenciales en el sitio El Cajón.

Torrencialidad del Río Bolo.

El río Bolo tiene un registro histórico torrencial menos abundante que el del Fraile, aparentemente por la lejanía de infraestructura urbana y habitacional del municipio de Pradera con respecto al río. Las fechas de inundaciones registradas en el municipio de Pradera son:

Enero 31 de 1994,

Noviembre 15 de 1988

Noviembre 11 de 1988,

Enero 13 de 1988,

Mayo 14 de 1967

Febrero 29 de 1940

Aunque estos eventos registran algunos daños, no causaron víctimas en el casco urbano. La mayoría de ellas no son crecientes excepcionales que se puedan considerar como avenidas torrenciales, sino crecientes importantes sin una proporción muy alta de material sólido, es decir se conservan como flujos Newtonianos. (Costa, 1988).

El sitio más alto del río Bolo Blanco en el cual se encuentran evidencias de eventos torrenciales es en la cota 2.600 (EP-4089), con dos depósitos que forman terrazas a 2.5 y 5m sobre el nivel actual del río, ambos con barras, indicando así la ocurrencia al menos de 4 eventos Holocénicos.

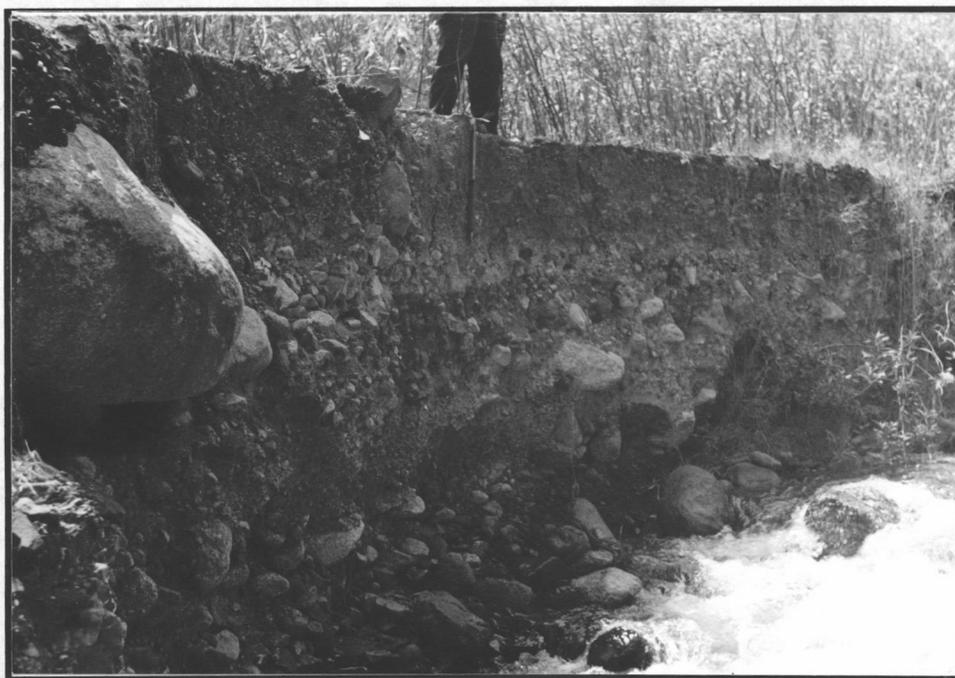
El Bolo Azul no muestra ninguna evidencia de torrencialidad en su parte alta, solamente 1km aguas arriba de su confluencia con la quebrada la Cristalina, se localizaron dos niveles de terraza a 2.5 y 5 m de altura sobre el nivel actual del río. Ambos niveles están formados por un mismo depósito es decir, el más bajo es erosivo y además muestra una barra torrencial. Cabe destacar que sobre éste nivel se encontró un árbol nativo de 53 cm de diámetro y corteza afectada por una avenida torrencial. La interpretación de lo visto en este lugar es de dos eventos torrenciales antiguos (depósito + barra), y un evento reciente que afectó el árbol.

Inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la quebrada la Cristalina con el río Bolo, existe un pequeño valle que tiene 5 niveles de terrazas (EP 4096), los dos superiores se consideraron pre-Holocénicos en razón a la meteorización superficial de los bloques de la barra torrencial.

La terraza más baja contiene 5 niveles cada uno de ellos representativo de una avenida torrencial. El inferior, compuesto en su mayoría por rocas metamórficas contrasta con los cuatro superiores compuestos esencialmente por cuarzodiorita. Lo anterior se interpreta como que el inferior proviene del río Bolo, mientras los cuatro superiores provienen de la quebrada la Cristalina en razón de la composición de cada una de las cuencas (**Fotografía 2.3.23**). Las terrazas 2 y 3 representan cada una un evento torrencial tal como se observó en la estación EP 4099.

En la quebrada la Cristalina y en el sitio descrito anteriormente, se pueden apreciar todavía los efectos de la avenida torrencial de 1994, que alcanzó alturas de hasta 5 m, en algunos sitios.

En el caserío La Feria se aprecian numerosos eventos torrenciales que alcanzan a constituir más de 30 m de altura, pero se consideraron de edad pre-Holocénica en razón de la madurez de los suelos que los cubren (Horizontes A y B con espesores mayores a 30 cm).



Fotografía 2.3.23. Depósitos torrenciales de la Quebrada Cristalina y río Bolo Azul.

Dos eventos adicionales se encontraron en la quebrada La Maltina (EP 4093), cerca al cruce con la carretera a la vereda el Retiro, evidenciados por un depósito torrencial de 1 m

de espesor, cubierto por una barra torrencial. En el mismo lugar existen por lo menos dos terrazas más altas con horizontes de suelos muy desarrollados, razón por la cual no se tuvieron en cuenta para la evaluación de la torrencialidad.

La quebrada Peñones (EP 4103), aparentemente se afecta de manera simultánea con la quebrada la Cristalina, tal y como ocurrió en 1994 y como lo reflejan al menos dos niveles de depósitos altos correlacionables con las terrazas antiguas de la Cristalina.

En síntesis, hasta el caserío Las Ferias se encontraron 15 eventos torrenciales a los cuales se les puede atribuir edad Holocénica, incluyendo el ocurrido a principios de siglo. Esta cifra no incluye los eventos históricos.

Torrencialidad Río Párraga.

El estado de madurez de las vertientes, es decir, la escasez de cicatrices de movimientos de masa en las laderas, coinciden en esta cuenca con el avanzado desarrollo de los suelos que cubren todo el abanico. Los niveles torrenciales que afloran en cercanías del ápice del abanico (EP - 4104), muestran un avanzado estado de meteorización de la matriz, indicando así edades pre - Holocénicas.

Igualmente en algunas pequeñas terrazas torrenciales encontradas un metro por encima del cauce, se pueden encontrar suelos con horizontes B de espesores hasta 30 cm y árboles hasta de 1 metro de diámetro, con cortezas sin cicatriz alguna. Lo anterior indica que el río no ha alcanzado a superar estos niveles en época recientes. Se encuentran solamente vestigios de tres eventos torrenciales relativamente pequeños y recientes producidos por bloqueo del cauce (numeral 2.3.3.2.4).

2.3.3.3.2 Estimación Caudales pico y recurrencia.

En algunas secciones transversales del río donde se observaron de manera bien definida las huellas de algunas de las crecientes anteriores, se procedió a medir el área mojada y solamente en un caso fue posible obtener de manera directa una estimación de la velocidad del fluido como fue en el caso del río Fraile.

Río Fraile.

En la parte alta del río Santa Bárbara (EP - 4066), cota 2570 se pudo medir un área mojada para el evento de 1994, de aproximadamente 6x3 m, siendo necesario anotar que en este punto la creciente apenas estaba empezando a incorporar material sólido, es decir, se trataba de un flujo newtoniano que podía alcanzar una velocidad del orden de 8 a 10 m/seg.

Unos 800 m aguas abajo de la confluencia del río Santa Bárbara con el Fraile, sobre una curva de aproximadamente 90°, se pudo medir para esta misma creciente un área mojada de

75 m². La sobrealtura alcanzada por el flujo en el sitio contra la margen en roca, fue aproximadamente 2.6 m, valor que implica una velocidad aproximada de 7 m³/seg. El caudal máximo obtenido de esta manera es de 525 m³/seg; valor diferente al estimado por el estudio de CVC para esta creciente (CVC 1994c) que establecieron 414 m³/seg. Si se tiene en cuenta que esta creciente es inferior en tamaño a las encontradas en los registros estratigráficos, se podría hablar de caudales pico del orden de los 2000m³/seg.

El caudal pico de la creciente de 1994 fue calculado por distintos métodos hidrológicos (HIMAT, 1994; CVC,1994b), con los cuales no se obtienen resultados que estén acorde con lo ocurrido en el municipio de Florida en esa ocasión.

Río Bolo.

El río Bolo se vió afectado por la creciente del 31 de enero de 1994, la cual arrastró material sólido únicamente en los cauces de las quebradas Cristalina y Peñones. No se encontraron sitios aptos para medir la velocidad de flujo, sin embargo en la estación limnigráfica de la CVC (Cota 1375), el área mojada se pudo estimar en 34 m², lo cual indicaría un caudal aproximado de 300 m³ /seg, suponiendo una velocidad de 8.5m/seg. Este valor está más o menos de acuerdo con el encontrado en el puente del corregimiento Potreritos, en el cual el área mojada alcanzó 56m², pero la velocidad debió ser menor, del orden de 6 m/seg, en razón a que en este sector la pendiente del río es menor.

Río Párraga.

Para este cauce no se obtuvieron medidas de caudales máximos, no sólo por no encontrar sitios aptos, sino también porque el cauce es muy abierto. Solamente se pudo determinar un área mojada para la última creciente, ocurrida entre enero y julio de 1997, que alcanzó un valor de 25m², el cual indicaría un caudal aproximado del orden de 150 a 200m³

2.3.3.3.3 Indicadores e Instrumentación.

Las evidencias de las avenidas torrenciales encontradas en el fondo de los cauces, corresponden con las cicatrices dejadas por los eventos en las vertientes respectivas. No existen evidencias que puedan señalar otra causa distinta a los episodios de lluvias concentradas para las avenidas torrenciales en las cuencas de los ríos Fraile, Párraga y Bolo.

A pesar de que la zona esta cruzada por fallas regionales importantes de la tectónica del Occidente de Colombia como lo es la falla de Romeral, no se encontró ninguna evidencia de que se hubiesen producido deslizamientos a causa de vibraciones sísmicas, puesto que para el caso de estas cuencas, las cicatrices se restringen a una sola unidad litológica (Batolito de Santa Bárbara).

En otros lugares del país donde se han producido avenidas torrenciales a causa de episodios de lluvias concentradas, los deslizamientos superficiales se empiezan a generar bajo ciertas condiciones de precipitación, bien sea de intensidad por minuto o de cantidad en un tiempo comprendido entre 30 minutos y unas 3 horas. Las cifras no se conocen con certeza porque la instrumentación adecuada no ha estado presente.

Básicamente se necesita un pluviómetro y una persona con interés en el fenómeno para empezar a obtener datos que en un futuro sirvan de indicadores para la prevención. Si se quiere prescindir del factor subjetivo se hace necesario disponer de instrumentación automática (pluviógrafo). Como se trata de fenómenos que no se repiten con mucha frecuencia, lo más importante es tener en cuenta que estos instrumentos van a estar en el sitio por muchos años, preferiblemente asegurándose de que sean estaciones permanentes.

Ninguna de las crecientes históricas en los ríos Fraile y Bolo ha tenido un registro pluviométrico o pluviográfico adecuado, ya que las estaciones existentes siempre han estado por fuera de las áreas en las que se producen las lluvias concentradas. Este trabajo ha permitido definir la zona de Vertientes Montañas Altas como el área en la cual se producen este tipo de fenómenos.

Si se quiere conocer los valores umbrales de precipitación a partir de los cuales se empiezan a generar los flujos que dan origen a las avenidas torrenciales, es necesario instalar por lo menos dos o tres pluviómetros para cada una de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, los cuales deben estar localizados dentro de la Unidad de Vertientes Montañas Altas.

2.3.3.3.4 Plan de emergencias por avenidas torrenciales.

Conocido el hecho de que la causa exclusiva de las avenidas torrenciales en las cuencas de los ríos Fraile, Párraga y Bolo son los episodios de lluvias concentradas que se localizan en la Unidad Geomorfológica de Vertientes Montañas Altas, se hace necesario que la instrumentación pertinente localizada dentro de esta área sea la que proporcione los indicadores de emergencia, a partir de los cuales se puede diseñar un Plan de Contingencia.

La anterior instrumentación debe estar apoyada por un medio de comunicación lo suficientemente confiable como para poder dar una alerta oportuna a las autoridades de municipio de Florida. El tiempo transcurrido entre la generación de los flujos en la parte alta y el tránsito de la avenida torrencial por el municipio de Florida, parece ser del orden de 30 a 35 minutos, tiempo suficiente para hacer una evacuación masiva siempre y cuando exista una voluntad popular.

Las instituciones ideales para recibir esta información pueden ser el cuerpo de bomberos o la policía, quienes prestan servicio las 24 horas del día. Una vez se reciba en estas entidades

Las instituciones ideales para recibir esta información pueden ser el cuerpo de bomberos o la policía, quienes prestan servicio las 24 horas del día. Una vez se reciba en estas entidades la información de emergencia, se hace necesario avisar a la población amenazada de la manera más rápida posible sobre la eventualidad de una avenida torrencial.

Cada paso del procedimiento anterior debe ser lo suficientemente seguro y ágil para que la información a la población no quede a mitad del camino. Existen numerosas tecnologías para asegurar este procedimiento, algunas de ellas aplicadas con éxito para la vigilancia de los flujos originados por los volcanes. Además de lo anterior se hace necesario diseñar campañas educativas incluidas en los programas educativos locales, con el fin de que la población responda adecuadamente a las señales de alerta.

2.3.3.4 Erosión.

El término erosión es utilizado para describir el proceso de remoción, transporte y acumulación de las capas más superficiales del suelo por la acción de la escorrentía y gotas de lluvia (erosión hídrica), viento (erosión eólica) y movimiento de masas de hielo (erosión glaciaria), generalmente ayudados por la acción del hombre. Este proceso constituye la etapa inicial de muchos fenómenos de remoción en masa, debido a que las laderas pierden su cubierta vegetal y suelos, quedando expuestos principalmente a la acción de los agentes climáticos. En consecuencia, la erosión empieza a desarrollarse, donde interviene la combinación del clima y la geología siendo los suelos y la vegetación, dependientes de ellos y relacionados mutuamente (Selby, 1993).

2.3.3.4.1 Tipos de Erosión.

En la época actual, dos tipos de erosión natural, según el agente de transporte han sido identificados en el área: hídrica y eólica. La primera es la de mayor incidencia debido a que las gotas de lluvia actúan intensamente saturando los suelos y arrastrando material superficial. La segunda se presenta especialmente hacia las zonas de páramo donde actúan los fuertes vientos reinantes y tiene poca o ninguna incidencia en la generación de procesos de remoción en masa. Ambos tipos de erosión son generados por la facilidad que tiene el suelo de erodarse y por las condiciones climáticas de la región. La erosión hídrica ha sido acentuada y acelerada por la intervención del hombre constituyendo la conocida erosión antrópica.

Erosión Antrópica.

La acción del hombre contra la naturaleza, ha producido cambios drásticos en el paisaje como los monocultivos intensos e inadecuados en altas pendientes, quemados y talas de bosques, apertura de vías sobre áreas inestables y botaderos de desechos sobre cauces de los ríos. En la zona, los cultivos han debilitado los suelos por cuanto se requiere de una

Erosión Hídrica.

Se identificaron principalmente surcos y cárcavas dejadas por efectos de flujos concentrados de agua sobre suelos desprovistos de vegetación. La erosión laminar está presente en toda el área de estudio, principalmente hacia el piedemonte donde afloran las formaciones Vilela y Amaime desarrollándose canales de escurrimiento difuso, que afectan las capas más superficiales del suelo, con pérdida del material más fino que evolucionan a flujos de suelo y escombros.

2.3.3.4.2 Intensidad de Erosión.

Para el análisis y evaluación de la intensidad de erosión se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: inclinación de las laderas, litología, concentración de procesos erosivos y de remoción en masa, cobertura vegetal, características y uso de los suelos así como las prácticas de manejo agrícola. De esta manera se establecieron cuatro categorías principales: baja a nula, moderada, severa y en zonas fluviales (**Mapa 8**). Esta última incluye los cauces de los principales ríos y quebradas donde existe socavación lateral y de fondo.

Erosión Baja a nula (B).

Corresponde a aquellas zonas con vegetación de bosque natural, donde los procesos erosivos son mínimos, encontrándose erosión laminar difusa, esporádicas cicatrices de desprendimiento y ocasionalmente zonas desprovistas de vegetación por efecto de flujos de suelos.

Se destacan las zonas húmedas de laderas muy inclinadas protegidas de la erosión por bosques primarios de árboles altos. Estas zonas deben expandirse y protegerse de la tala, y adicionalmente instituirse en ellas, políticas de protección y conservación.

Se involucran además aquellas zonas de páramo donde los suelos orgánicos están protegidos por praderas, musgos y vegetación xerofítica y zonas planas al occidente del área, pertenecientes al valle del río Cauca, donde el poder de arrastre de material por efecto del agua se ve disminuido por la pendiente.

Erosión moderada (M).

Dentro de esta categoría se incluyen las áreas de praderas, rastrojos y cultivos en laderas ligeramente inclinadas a abruptas, localizadas en zonas de piedemonte y en la parte media de la cuenca donde hay intensa actividad antrópica. Se caracterizan por presentar erosión laminar concentrada formando calvas de erosión, surcos y cárcavas principalmente donde el suelo ha sido rozado (limpiado) para cultivos. En estas zonas el horizonte A es muy delgado y se presentan procesos activos de remoción en masa como los flujos de suelo y deslizamientos rotacionales y traslacionales.

Erosión Alta (A).

Se presenta donde la erosión hídrica es tan concentrada que el horizonte A de los suelos es lavado y prácticamente inexistente. El horizonte B es limo- arcilloso permitiendo el desarrollo y concentración de erosión laminar, surcos y cárcavas. Este tipo de erosión se presenta asociado a procesos concentrados de remoción en masa como las coronas de desprendimiento, flujos de suelo y deslizamientos de detritos, tal como se observa en las microcuencas de las quebradas Granates, La Cristalina, El Silencio, etc.

En esta categoría se incluyen las colinas de piedemonte, conformadas por rocas basálticas meteorizadas a suelos arcillo-limosos poco permeables y los escarpes rocosos con alto fracturamiento que facilitan la erosión hídrica.

2.3.3.4.3 Erosión en Zonas Fluviales.

Se refiere a los efectos erosivos del agua a través de socavación lateral y de fondo, en ríos y quebradas que tienen áreas inundables, bordeadas por depósitos inconsolidados donde existen viviendas o cultivos. Estos terrenos pueden ser afectados por las crecientes en épocas de invierno.

La erosión por socavación lateral se produce principalmente donde los cursos de agua toman curvas convexas pronunciadas como en el río Fraile, desde Granates, el río Santa Bárbara cerca de su desembocadura, así como en los alrededores del balneario Tayrona y hacienda La Salina hasta el límite occidental del área de estudio.

De igual forma es común encontrar este tipo de erosión en la cuenca media baja del río Bolo, especialmente en los alrededores de los caseríos de La Feria, El Retiro y en las áreas suburbanas de Pradera.

La socavación de fondo se presenta en los mismos sitios anteriores, pero es especialmente visible después de avenidas torrenciales donde los sedimentos del fondo del cauce son arrastrados y depositados en las curvas cóncavas, formando barras torrenciales y depósitos de terrazas.

2.4 ASPECTOS AGROECOLÓGICOS

Es un consenso generalizado, como lo afirma Andrade, A. (1996) de que el concepto de desarrollo de un país o región lleve implícita, por lógica, la necesidad de un ordenamiento territorial a ser ejecutado a través de un plan cuyo soporte lo constituyen, de un lado el diagnóstico con una jerarquización de los conflictos dando opciones viables para las comunidades y de otro, las estrategias adecuadas como son: la organización funcional y administrativa óptima del territorio, la equidad con respecto a la inversión social y

diagnóstico con una jerarquización de los conflictos dando opciones viables para las comunidades y de otro, las estrategias adecuadas como son: la organización funcional y administrativa óptima del territorio, la equidad con respecto a la inversión social y económica y la PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA.

Sin embargo, tradicionalmente en nuestro medio tal ordenamiento ha sido más de carácter paramétrico y descriptivo sobre la estructura del territorio que basado en los aspectos dinámicos, los cuales incluyen impactos de diverso orden positivos y negativos, naturales o inducidos. Esta política riñe con los objetivos constitucionales del ordenamiento, dado que los artículos 79 y 80 de la Ley 99 de 1993 establecen que se debe propender por la distribución y localización ordenada de las actividades y usos del suelo en armonía con el medio ambiente (Andrade 1996).

En términos generales, este es el criterio que orienta el estudio de los aspectos agroecológicos, en el que se enfatizan los factores de índole ambiental que inciden directa o indirectamente en el desarrollo de los recursos naturales de la región y en la calidad de vida de sus moradores.

En consecuencia, la selección de las diferentes unidades cartografiadas se efectuó más en función de su respuesta frente a procesos de degradación del medio físico local, que a otro tipo de criterio como podría ser la productividad de las tierras, vocación agro-silvo-pastoril, o cualquier consideración de orden económico o de infraestructura sobre los predios, praderas y demás áreas naturales de la zona de estudio.

2.4.1 Estudios anteriores

La memoria general de presentación de los trabajos en los diferentes aspectos del Plan de Ordenación de la zona, por parte de la CVC en 1977, estableció en ese momento en materia de "distribución y usos del suelo" los siguientes cubrimientos (**Tabla 2.4.1**):

| USO DEL SUELO | HECTÁREAS | % |
|----------------------|---------------|---------------|
| Bosques Naturales | 7.750 | 13.3 |
| Rastrojos | 9.320 | 16.0 |
| Pastos | 26.527 | 45.53 |
| Cultivos permanentes | 8.155 | 14.0 |
| Cultivos temporales | 5.648 | 9.71 |
| Otros usos | 850 | 1.45 |
| TOTALES | 58.250 | 100.00 |

Tabla 2.4.1 Distribución y usos del suelo. (CVC 1977)

El aprovechamiento agrícola, se afirma en el documento en cuestión, está concentrado casi exclusivamente en una zona media entre los 1300 y 2100 m.s.n.m.; no hay datos sobre cuantificación de carácter extensivo y/o confinado de la ganadería (CVC, 1977).

De otra parte en el año de 1965 la CVC estimuló el inicio de pequeñas plantaciones particulares de especies foráneas en municipios como Pradera y más tarde, en 1970, mediante el Acuerdo No. 7 que expidió su propio Estatuto de Recursos Naturales, dió comienzo a una serie de estudios básicos con miras al diagnóstico de la situación forestal, entre ellos el de cobertura y uso de las tierras a nivel de cuencas hidrográficas, gracias a esfuerzos conjuntos de los sectores público y privado, coordinados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, con actores tan importantes como otras corporaciones regionales, instituciones, entidades de desarrollo y la comunidad misma, prosiguieron las acciones e investigaciones en este campo del conocimiento con énfasis en la adaptación de especies exóticas, preferencialmente coníferas de fibra larga como fuente comercial de pulpa de madera para satisfacer la demanda de la industria papelera y del sector de la construcción; inversiones éstas en tecnología, tiempo, energías y recursos humanos y financieros que, promediando la década de los años 70, arrojaban resultados acumulados del siguiente orden para el área que nos ocupa: 300 hectáreas plantadas en La Diana (Florida), un total de 9.000 hectáreas declaradas potencialmente aptas para establecer plantaciones comerciales en las zonas denominadas Guadalajara, El Castillo, Juntas, Nima, Amaime, El Bolo y La Diana y una producción resumida así: 170.915 metros³ de madera aserrada, 235.599 m³ de pulpa de madera, 10.712 m³ de madera redonda, 34.626 m³ de carbón de madera, 47.495 m³ de leña para horno, 501.992 unidades de guadua y 130.863 unidades de caña menuda (Fundación Fredrich Nauman 1976).

Finalmente, en 1977 se formula el Plan de Manejo Técnico de la zona por parte de la CVC, sobre una extensión de 58.200 hectáreas, en que se fijan como objetivos: el recurso agua, la productividad y el factor humano, y se establecen sus etapas de ejecución: estudios básicos, manejo técnico y automanejo (CVC 1977).

En esta parte del estudio se analizan los cuatro temas siguientes:

- ♦ Zonas de vida o de formaciones vegetales, que relaciona los aspectos climáticos y altitudinales para describir los diferentes grupos de plantas de la región.
- ♦ Descripción de los tipos de suelos y clasificación taxonómica.
- ♦ Uso que se le da al suelo y su cobertura vegetal.
- ♦ El uso potencial que debe tener el mismo y el de los conflictos que existen por el mal manejo de los recursos naturales.

2.4.2 FORMACIONES VEGETALES O ZONAS DE VIDA NATURAL

2.4.2.1 Definición

Según Holdridge, se parte de la idea de ASOCIACION como la unidad básica de las masas vegetales, es decir, una comunidad de plantas que interactúa con su medio físico y ambiental, para pasar luego a integrar conjuntos de asociaciones con base en tres criterios climáticos: calor, precipitación y humedad.

Estos conjuntos de asociaciones se denominan FORMACIONES VEGETALES o ZONAS DE VIDA y, aunque el citado autor prefiere esta última expresión, para los efectos del presente estudio se considera la validez de la definición clásica que establece que una Formación Vegetal es el conjunto de asociaciones coexistentes dentro de una franja climática determinada que, bajo ciertas condiciones edáficas y de etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier sitio del mundo (Espinal, L. y Montenegro, E., 1963).

Debe entenderse asimismo, que no es éste un análisis de las comunidades florísticas sino más bien una apreciación geográfica de las relaciones actuales de la Flora con los factores climáticos.

Investigaciones han demostrado que solamente tres parámetros climáticos: calor, precipitación y humedad (ésta depende de la interacción de los dos primeros) son relevantes para el establecimiento de categorías aplicables a todo el globo, lo cual excluye la aplicabilidad, en este sentido, de otros factores naturales: Geológicos, edáficos, fisiográficos, bióticos y climáticos secundarios (radiación solar, vientos, etc.), factores apenas complementarios en la definición de las asociaciones (Holdridge, L., 1982).

2.4.2.2 Determinación climática

Para el establecimiento de zonas de vida, los parámetros climáticos se identifican según Holdridge como sigue: el CALOR, que es el resultado, en términos de temperatura, del efecto combinado de la radiación solar y la influencia de masas de aire frías o calientes provenientes de áreas adyacentes. Se expresa a través de la vegetación por ser ésta la base esencial de la cual depende la vida animal, tomando como referencia la “biotemperatura media anual”, es decir, el promedio de las mediciones en grados centígrados a las cuales tiene lugar el crecimiento vegetativo en relación con el periodo anual, en el entendido de que dicho ámbito de temperaturas va de 0° C. a 30° C. La PRECIPITACION que se usa es el total anual promedio en milímetros que cae en forma de lluvia, nieve, granizo o cellisca y que excluye el agua condensada directamente sobre la vegetación o el suelo. Se advierte, que al igual de lo que ocurre con la temperatura, las líneas-guía de precipitación no coinciden con los límites de las zonas de vida, sino que determinan sus puntos medios con la ayuda de valores también promediales de otras isolíneas. La HUMEDAD no puede

asociarse con la precipitación, aunque existe una correlación directa entre los dos valores. La humedad ambiente es un parámetro resultante más bien de la relación entre temperatura y precipitación, relación expresada como evapotranspiración potencial (ETP) y se define así: cantidad teórica de agua que podría ser cedida a la atmósfera, por la cobertura vegetal natural de la zona considerada, durante toda la estación de crecimiento (Holdridge, L., 1982).

2.4.2.3 Metodología de actualización

La evolución del concepto inicial de medios ecológicos y ambientales que nos ocupa condujo, merced a una profundización y ampliación de los trabajos de investigación, a algunos avances significativos sobre la materia que a su vez permitieron a los autores hacer planteamientos nuevos tales como la inclusión del tope máximo de temperatura, el desarrollo de la nueva fórmula de biotemperatura, el cambio de algunos nombres de fajas y regiones y hasta la obsolescencia misma del concepto de Formaciones Vegetales y su reemplazo por el de Zonas de Vida Natural (Holdridge, L., 1982). Estos planteamientos tienen implicaciones cuyos aspectos relevantes se exponen a continuación.

2.4.2.3.1 Ajustes altitudinales parciales

Uno de los criterios básicos para el establecimiento de los ámbitos de las formaciones vegetales es el relacionado con los pisos altitudinales, sobre el cual los creadores mismos del sistema, relacionan su variabilidad en el sentido que estos aportan una aproximación general a los valores de elevación. Por ejemplo solamente en la región tropical se presenta el espectro total de fajas altitudinales, las cuales experimentan expansión a medida que las montañas se hacen más altas en especial por la relación cambiante entre la altura decreciente de la vegetación y los métodos usuales de medición de las temperaturas ambientales a una determinada altura a partir del suelo (Holdridge, L., 1982).

Es por ello que la delimitación adecuada de las franjas altitudinales se aparta de los valores numéricos de las curvas de nivel, en aquellos tramos en que ha sido necesario efectuar ajustes por cualquiera de los conceptos anteriormente relacionados.

2.4.2.3.2 Modificaciones climáticas localizadas

Regímenes de humedad.

Partiendo de la definición de humedad dada en el numeral 2.4.2.2. (Determinación climática) y teniendo en cuenta la importancia que en la misma se otorga a la cobertura vegetal, es apenas lógico suponer la tremenda incidencia que para las implicaciones de los regímenes de humedad de una determinada formación vegetal, reviste la tala indiscriminada o selectiva de sus bosques, práctica ya común y cotidiana en nuestro medio.

La razón de ello estriba en el hecho de que la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire, aumenta sensiblemente con la presencia de una masa boscosa en un área determinada o disminuye en igual medida con su ausencia, debido, en este último caso, a la reducción drástica de la función evapotranspirante de la superficie foliar total.

El efecto favorable resultante, para el caso del mantenimiento en algunos sitios de masas boscosas, consiste en la estabilización de la rata de evapotranspiración potencial (ETP) local así como en el incremento o recuperación de la capacidad real de retención de agua por los perfiles de suelos y por sus coberteras de mulch.

La fotointerpretación mostró un panorama diferente al que figura en el Mapa de Bosques de la zona de estudio (CVC-1976) y estableció la situación general de este aspecto. De modo análogo, la fotointerpretación fisiográfica reveló la presencia de corredores intermontanos como posibles rutas de vientos portadores de masas nubosas y la existencia de cuerpos de agua en las cimas de la cordillera, elementos aportantes de humedad adicional (Holdridge, L. R., 1982), cuya influencia contribuye también a la modificación local de los límites de las formaciones.

Un componente que se suma a los anteriores es el grado de deterioro físico de las áreas afectadas por fenómenos de erosión y/o remoción en masa. Donde este agravante es severo a crítico ocurre lo contrario de lo anteriormente descrito: La evapotranspiración potencial (ETP) tiende a disminuir y la evaporación a partir de los suelos, así expuestos, se incrementa obligando a retirar ligeramente de dichos sitios las líneas-límites de las formaciones vegetales muy húmedas.

Regímenes de temperatura.

Al igual de lo que ocurre con la humedad, las zonas de vida natural o formaciones vegetales son influidas, en lo que al factor calor respecta, por múltiples razones, por ejemplo, aquellas zonas que poseen ámbitos idénticos de biotemperatura y se hallan ubicadas en regiones distintas, difieren entre sí por factores climáticos, tales como la longitud del día, la forma de los continentes, la presión atmosférica, las corrientes marítimas, los ríos y las cadenas montañosas (Holdridge, L. R., 1982).

A escala local, es decir, dentro de una región común, como en el caso del área de estudio, también los límites de las formaciones son modificables apartándose del patrón altitudinal, en aquellos eventos en que el factor temperatura se ve modificado por: prolongada exposición de laderas a la radiación solar, ausencia de vientos refrescantes, procesos severos a críticos de erosión y/o remoción en masa, destrucción de los bosques, surgimiento o cercanía de asentamientos urbanos, etc.

En términos prácticos, estas influencias se traducen unas veces en agudizamientos y otras

en suavizamientos de los picos correspondientes tanto a los períodos del día más calurosos como a los períodos nocturnos más fríos.

La fotointerpretación y revisión de campo identificó los factores incidentes en los cambios climáticos y confirmó su respectiva ponderación para la mencionada modificación de las líneas de las formaciones vegetales.

2.4.2.4 Descripción de las formaciones vegetales.

En la zona de estudio, se registra la presencia de siete formaciones vegetales perfectamente diferenciadas según el esquema cartográfico propuesto por Espinal y Montenegro (1963) basado en el sistema de formaciones vegetales del mundo creado por Holdridge (1947) y modificado por él mismo en 1966 cuando enfatizó en el concepto de “zonas de vida natural” que posteriormente utiliza en su obra ECOLOGIA de 1982. A la luz de sus planteamientos generales y de su aplicación específica a la zona cordillerana del Valle del Cauca, se presenta la sectorización y descripción de las unidades climáticas presentes (**Figura 2.4.1**).

2.4.2.4.1 Bosque seco tropical (bs-T).

Esta formación vegetal tiene una temperatura media superior a 24°C., un promedio anual de lluvias entre 1.000 y 2.000 mm. y se extiende en una franja superficial que, generalmente, puede estar entre los 0 y 1.000 metros sobre el nivel del mar. Se prolonga a veces sobre los 1.100 msnm. debido a las variaciones por efectos locales originados, especialmente en la influencia de los cubrimientos urbanísticos de las localidades de Pradera, Florida y Miranda.

2.4.2.4.2 Bosque húmedo premontano (bh-PM).

Esta zona de vida natural se caracteriza por su temperatura media anual del orden de 18 a 24°C., volumen promedio en lluvias anuales de 1.000 a 2.000 mm. y piso altitudinal comprendido entre los 900 y 2.000 msnm. Estas alturas, sufren leves modificaciones por razón de su condición fisiográfica de piedemonte. En las cuencas de los ríos que nos ocupan, esta formación vegetal se extiende a través de paisajes suavemente colinados a fuertemente ondulados que dan albergue a asentamientos humanos de alguna relevancia tales como: Chontaduro, Lomitas, Pedregal y el ingenio panelero El Samán.

2.4.2.4.3 Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

Los límites climáticos de esta franja medio-ambiental están dados por los siguientes rangos: 17 a 24°C de temperatura media, 2000 a 4000 mm. de precipitación pluvial por año en término medio y 1.300 a 1.900 msnm. La formación avanza como una zona transicional de relieve quebrado comprendiendo sectores moderadamente poblados de la importancia de:

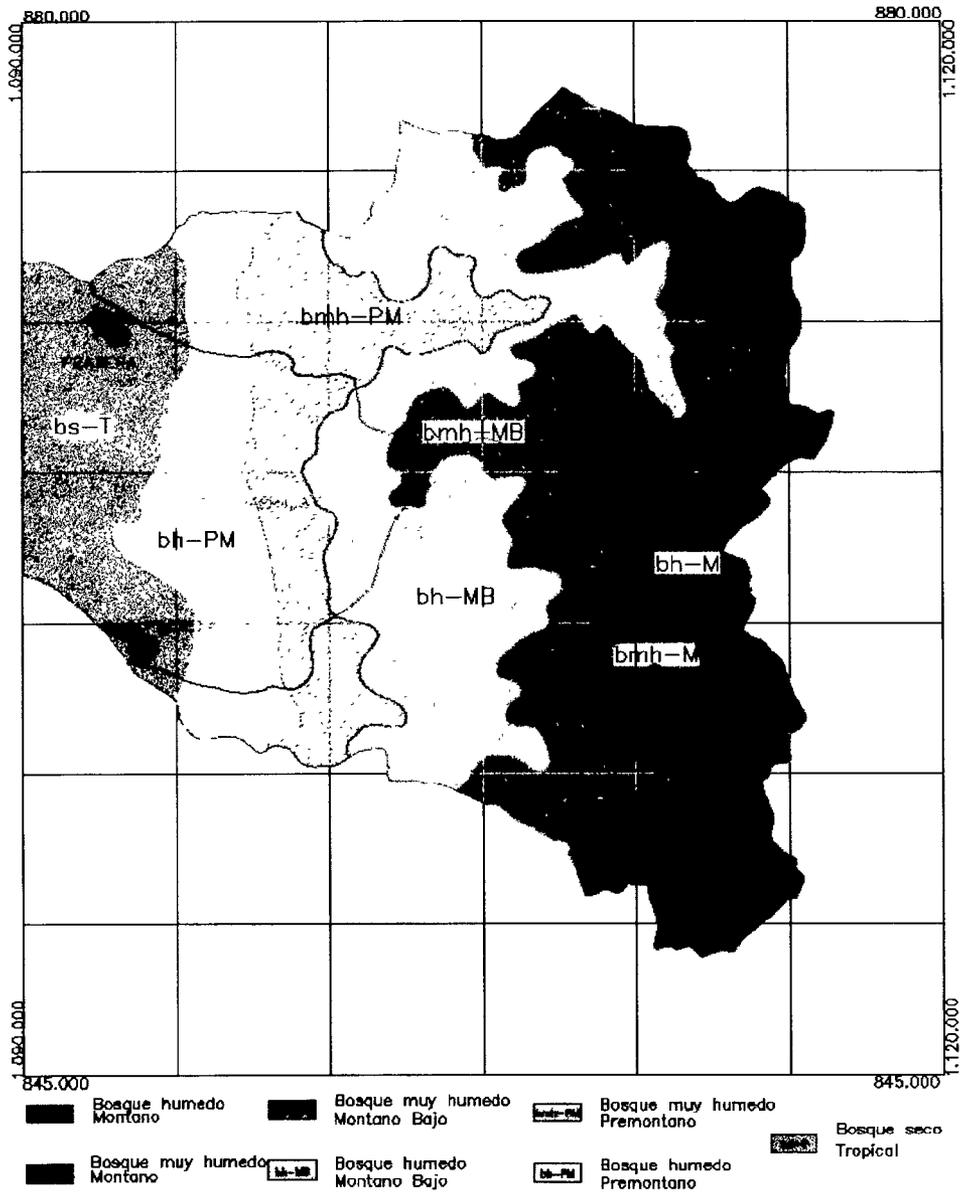


FIGURA 2.4.1 FORMACIONES VEGETALES O ZONAS DE VIDA NATURAL

Arenillo, La Feria, Potreritos, La Diana y Pueblo Nuevo

2.4.2.4.4 Bosque húmedo montano bajo (bh-MB).

De esta manera se conoce la formación vegetal cuyos atributos ecológicos (similares a los de la Sabana de Bogotá), exhiben: temperatura entre 12°C y la “línea de escarcha” colindante con el ámbito del premontano, lluvias de 1.000 a 2.000 mm. al año y altimetría entre 1.900 y 2.900 msnm.

El dominio areal del bh-MB, topográficamente quebrado a escarpado, abarca las llamadas tierras frías en un cubrimiento más o menos amplio de norte a sur en que se hallan conglomerados humanos, en su orden: El Retiro, Bolo Azul, El Paraíso, Granates y Talagá.

2.4.2.4.5 Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB).

Distinguen a esta zona de vida natural, cuantitativamente hablando, los rasgos típicos que se dan a continuación: 12 a 18 °C. de temperatura media, 2000 a 4000 mm. como cantidad promedio de precipitación anual y alturas sobre el nivel del mar que oscilan entre 2.300 y 3.100 m. aproximadamente.

Se trata de una banda de tierras que son la prolongación más húmeda, hacia arriba, del bosque húmedo montano bajo, de fisiografía mayormente escarpada y que forma parte del área de recarga hídrica de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile.

2.4.2.4.6 Bosque muy húmedo montano (bmh-M).

Sus propiedades climáticas son: temperatura media de 6 a 12 °C, pisos altitudinales de 3.100 a 3.600 msnm. tomando en cuenta las ligeras fluctuaciones por interferencias debidas a factores del medio físico y acumulado promedio anual de lluvias de 1.000 a 2.000 mm.

Allí, en una vasta extensión, se encuentran los páramos que soportan frecuentemente nubosidad por lo que son llamados comúnmente “bosques de niebla” y muchas de las lagunas de origen glaciar y/o tectónico.

Algunos sitios pueden adoptarse como referencia del dominio areal de esta formación vegetal: Hacienda Los Tamarindos y Palo Negro en la cuenca del río Bolo Azul, La Cabaña y Alto El Recado en la cuenca del río Santa Bárbara y la quebrada Las Monjas en la cuenca del río Fraile.

2.4.2.4.7 Bosque húmedo montano (bh-M).

Esta banda de formación vegetal o zona de vida natural tiene un ámbito de biotemperatura entre 5 y 10°C, recibe un total de 500 a 1000 mm de precipitación pluvial como media anual y vá de los 3600 a los 4100 metros sobre el nivel del mar.

Constituye, la divisoria mayor de las cuencas hidrográficas, siendo nicho físico y ambiental de cuerpos de agua lagunares y de las cabeceras de ríos y quebradas. Algunas de sus cimas se redondean o suavizan donde ha ocurrido caída de ceniza volcánica con el consecuente desarrollo de suelos ándicos; mientras que en otras se conserva la roca madre expuesta en unidades conocidas como misceláneo rocoso, cualidades que confieren a sus paisajes el carácter de ecosistemas frágiles, por tratarse de zonas de recarga y de generación del recurso hídrico (**Fotografía 2.3.6**).

2.4.3 SUELOS.

Como cartografía temática de apoyo se tiene un “Mapa de asociaciones” de suelos con unidades a veces demasiado extensas, que forma parte del Plan de Manejo Técnico de la CVC de que se habla al final de la introducción. Al propósito geotécnico del Proyecto, la fotointerpretación y los chequeos de campo permitieron crear dos asociaciones adicionales de suelos hacia la parte plana del área de estudio.

La fotointerpretación fisiográfica cruzada con el citado mapa de asociaciones y complementada con algunas observaciones de campo, permitió establecer las correspondientes unidades para el Mapa de Suelos, (**Mapa 9**). A cada unidad de suelo se le asignaron valores codificados de los parámetros más directamente relacionados con la problemática degradacional, tomados de diferentes fuentes: Análisis fisiográfico, estudio de suelos de la CVC (1975), Formaciones vegetales y observaciones de campo. El código correspondiente a las asociaciones fué simplificado para efectos cartográficos.

De esta manera las subdivisiones tienen en cuenta, primero la asociación de suelos y segundo la unidad fisiográfica. Esta última, que es la más exhaustiva en términos del análisis de geoformas edáficas, lleva consigo la calificación múltiple que resulta de asignarle en su orden respectivo: pendiente, profundidad, textura y fertilidad.

2.4.3.1 Ambientes y propiedades de los suelos.

Los ambientes actuales presentados como zonas de vida, determinan además de las provincias climáticas, las asociaciones de suelos o agrupaciones hechas basándose en sus características físico-químicas, los paisajes fisiográficos que comprende cada una y el contenido pedológico-geotécnico correspondiente a los diferentes paisajes (**Tabla 2.4.2**).

| ZONA DE VIDA (PROVINCIA CLIMATICA) | ASOCIACION EDAFICA | UNIDAD FISIOGRAFICA | PENDIENTE (%) | PROFUNDIDAD (CM) | TEXTURA (Grupos) | FERTILIDAD | |
|---|--------------------------|---|--|--|--|---|-------|
| BOSQUE HUMEDO A MUY HUMEDO MONTANO (3) | EL MIRADOR (M) | Colina de lava basáltica (M) Ladera angular escarpada (K) Ladera ondulada a colinada (L) Valle postglaciario (J) | 25-50 (ondulado) 100 → (escarpado) 25-100 (colinado) 0-7 (plano) | 50-100 (moderada) → 50 (superficial) 50-100 (moderada) 100 → (profunda) | Media Gruesa, Media Gruesa, Media Media | Baja Baja, Media Baja, Media Media | |
| | PALMERA (L) | Colina de lava basáltica (M) Ladera angular a escarpada (K) Ladera ondulada a colinada (L) Valle postglaciario (J) Depósito morrénico (I) | 25-50 (ondulado) 100 → (escarpado) 25-100 (colinado) 0-7 (plano) 25-50 (ondulado) | 50-100 (moderada) → 50 (superficial) 50-100 (moderada) 100 → (profunda) 100 → (profunda) | Media Gruesa Gruesa, Media Media Fina | Baja Baja Media Media Alta | |
| | SILVANIA (S) | Ladera ondulada a colinada (L) | 25-100 (colinado) | 50-100 (moderada) | Fina | Media | |
| BOSQUE HUMEDO A MUY HUMEDO PREMONTANO Y BOSQUE HUMEDO A MUY HUMEDO MONTANO BAJO (2) | SILVANIA (S) | Terraza aluvial (B) Depósito de ladera (F) Valle aluvial coluvial (C) Ladera angular escarpada (H) Ladera ondulada a colinada (G) | 0-7 (plano) 25-100 (colinado) 0-7 (plano) 100 → (escarpado) 25-100 (colinado) | 100 → (profunda) 100 → (profunda) 100 → (profunda) → 50 (superficial) 50-100 (moderada) | Gruesa Fina Gruesa, Fina Fina, Media, Gruesa Fina, Media, Gruesa | Media Media Media Baja, Media Baja, Media | |
| | EL MIRADOR (M) | Ladera angular a escarpada (H) Ladera ondulada a colinada (G) | 100 → (escarpado) 25-100 (colinado) | → 50 (superficial) 50-100 (moderado) | Media, Gruesa Media, Gruesa | Baja, Media Baja, Media | |
| | PALMERA (L) | Depósito de ladera (F) Ladera ondulada a colinada (G) | 25-100 (colinado) 25-100 (colinado) | 100 → (profundo) 50-100 (moderado) | Media, Gruesa Gruesa | Media, Alta Media | |
| | LA DIANA (D) | Depósito de ladera (F) Ladera angular a escarpada (H) Ladera ondulada a colinada (G) Cono de deyección (E) Colina disectada (D) | 25-100 (colinado) 100 → (escarpado) 25-100 (colinado) 7-25 (inclinado) 50-100 (quebrado) | 100 → (profundo) → 50 (superficial) 50-100 (moderado) 100 → (profundo) 50-100 (moderado) | Fina Fina Fina Fina Fina | Media, Baja Media, Baja Media, Baja Media Media, Baja | |
| | EL RETIRO (R) | Valle aluvial coluvial (C) Depósito de ladera (F) Colina disectada (D) Abanico coalescente (A) Terraza aluvial (B) | 0-7 (plano) 25-100 (colinado) 50-100 (quebrado) 0-7 (plano) 0-7 (plano) | 100 → (profundo) 100 → (profundo) 50-100 (moderado) 100 → (profundo) 100 → (profundo) | Fina Fina Fina Fina Fina | Media Media Media Media Media | |
| | SAN CAYETANO (C) | Ladera ondulada a colinada (G) Colina disectada (D) Depósito de ladera (F) Terraza aluvial (B) Abanico coalescente (A) | 25-100 (colinado) 50-100 (quebrada) 25-100 (colinado) 0-7 (plano) 0-7 (plano) | 50-100 (moderado) 50-100 (moderado) 100 → (profundo) 100 → (profundo) 100 → (profundo) | Fina Fina Fina Fina Fina | Media Media, Baja Media Media Baja, Media, Alta | |
| | EL PEDREGAL (P) | Colina disectada (D) Ladera ondulada a colinada (G) | 50-100 (quebrado) 25-100 (colinado) | 50-100 (moderado) 50-100 (moderado) | Fina, Media Media | Media, Alta Alta | |
| | LOS ABANICOS (A) | Abanico coalescente (A) | 0-7 (plano) | 100 → (profundo) | Gruesa | Baja | |
| | BOSQUE SECO TROPICAL (1) | LA DIANA (D) | Colina disectada (D) | 50-100 (quebrado) | 50-100 (moderado) | Fina | Media |
| | | EL PEDREGAL (P) | Colina disectada (D) | 50-100 (quebrado) | 50-100 (moderado) | Fina | Alta |
| | | EL RETIRO (R) | Valle aluvial coluvial (C) | 0-7 (plano) | 100 → (profundo) | Fina | Media |
| | | LOS ABANICOS (A) | Abanico coalescente (A) | 0-7 (plano) | 100 → (profundo) | Media | Media |
| EL ALUVIAL (Q) | Llanura aluvial (Q) | 0-7 (plano) | 100 → (profundo) | Fina | Alta | | |

Tabla 2.4.2 Resumen de propiedades de las asociaciones de suelo.

2.4.3.2 Códigos, rangos y denominaciones de propiedades de los suelos.

Los valores en cuanto a rangos de pendiente, profundidad y textura utilizados en esta parte del estudio son los que se muestran a continuación (Tabla 2.4.3):

| PENDIENTE | | | PROFUNDIDAD | | | TEXTURA | |
|------------|--------------|-----------|----------------------|--|-------------|---------|-----------------------------------|
| Código | % | Nombre | Código | cm. | Nombre | Código | Grupo y nombre |
| 1. | 0-7 | Plano | | | | 1. | Fina , Ar-arcillosa |
| 2. | 7-25 | Inclinado | 1. | 0-50 | Superficial | | Arl-arcillo-limosa |
| 3. | 25-50 | Ondulado | 2. | 50-100 | Moderado | | ArA arcillo-arenosa |
| 4. | 50-100 | Colinado | 3. | >100 | Profundo | | FArI-franco-arcillo-limosa |
| 5. | 50-100 | Quebrado | | | | | FarA-franco-arcillo-arenosa |
| 6. | >100 | Escarpado | | | | | FAr-franco-arcillosa |
| | | | | | | 2. | Media , I-Limosa |
| | | | | | | | FI-franco-limosa |
| | | | | | | | F-franca |
| | | | | | | 3. | Gruesa , FA-franco-arenosa |
| | | | | | | | AF-arenosa-franca |
| | | | | | | | A-arenosa |
| FERTILIDAD | | | ZONA DE VIDA NATURAL | | | | |
| Código | Denominación | | Código | Descripción y Rango aproximado | | | |
| 1. | Alta | | 1. | Bosque seco tropical (0 a 1100 msnm) | | | |
| 2. | Media | | 2. | Bosque húmedo a muy húmedo premontano y montano bajo (1000 a 3000 msnm). | | | |
| 3. | Baja | | 3. | Bosque húmedo a muy húmedo montano (3000 a 4100 msnm) | | | |

Tabla 2.4.3 Códigos, rangos y denominaciones de propiedades de los suelos

2.4.3.2.1 Asociación La Diana (D).

Esta asociación ocupa una faja de tierra templada que va desde el límite norte del área de estudio en los corregimientos de La Feria y Potreritos hasta el límite sur de la misma en el corregimiento de San Francisco, vertiente sur del río Fraile en su confluencia con el río Santa Bárbara. De pendientes colinadas, profundidad moderada, texturas finas y fertilidad

media, domina las laderas de montañas medias a bajas, de producción agrícola buena y un estado de conservación aceptable en términos generales (**Fotografía 2.4.1**).



Fotografía 2.4.1. Suelos reptantes bajo frutales, Inspección la Diana.

2.4.3.2.2 Asociación San Cayetano (C).

Se extiende por toda la parte baja de los corregimientos: La Diana, Vallecitos, Lomitas y Potreritos localizándose sobre colinas disectadas, depósitos de piedemonte y ápices de abanicos coalescentes. Sus laderas son quebradas, los espesores moderados, texturas finas y fertilidad media a baja. Salvo la parte plana donde comprende además una gran terraza aluvial sobre el río Fraile, no son terrenos agrícolas propiamente dichos y gran parte de la superficie se encuentra sometida a procesos de erosión hídrica superficial con cimas y cuchillas frecuentemente desprovistas de cubierta vegetal e incluso de suelos.

2.4.3.2.3 Asociación Pedregal (P).

Cubre las colinas ubicadas al nororiente del casco urbano del municipio de Pradera, corregimiento de Potreritos. Relieve quebrado, suelos moderadamente profundos de texturas medias a finas y fertilidad alta. A excepción de los abanicos, no hay cultivos en estas tierras afectadas por erosión laminar generalizada.

2.4.3.2.4 Asociación Palmera (L).

Posee quizá el mayor cubrimiento entre todas las asociaciones, comprendiendo la franja amplia de subpáramo y páramo desde la margen izquierda del río Bolo Azul, pasando por el corregimiento La Diana y La Rivera, y concluyendo en el corregimiento de Pueblo Nuevo. Las precipitaciones pluviales son suaves pero persistentes que inducen lixiviado de suelos. Incluye paisajes de lava basáltica, laderas onduladas hasta escarpadas, valles postglaciares y depósitos morrénicos. Sus suelos son igualmente variados desde profundos hasta inexistentes, texturas preferencialmente gruesas, fertilidad media a baja, abundantes contenidos de materia orgánica en el perfil pero una dinámica de los procesos edáficos baja por razones climáticas. Están destinados al sostenimiento de bosques y praderas naturales y gran parte de su superficie abarca cuerpos naturales de agua. En las partes más altas de las cabeceras de los ríos principales y sus afluentes, los suelos exhiben derrumbes generalizados recientes.

2.4.3.2.5 Asociación Mirador (M).

Su ocurrencia se concentra en la cuenca alta del río Bolo Azul, margen derecha y quebrada El Silencio hasta la divisoria de la cordillera y en el río Bolo Blanco en los corregimientos Bolo Azul y El Retiro. Como la anterior asociación, son reservas naturales de subpáramo y páramo en que los suelos exhiben pendientes desde escarpadas en el cañón del río Bolo con intensos lixiviados de nutrientes, hasta planas en los valles postglaciares; en estos últimos los espesores son máximos aunque las bajas temperaturas toman en extremo lentos los procesos pedogenéticos y edafológicos. Las capas de suelo desaparecen en las áreas de misceláneo rocoso. Las texturas van de medias a gruesas, en tanto que la fertilidad es marcadamente baja. Como la asociación Palmera, está destinada a vocación forestal para preservar la generación y mantenimiento de cuerpos de agua de recarga hídrica y también, como dicha asociación, sus cabeceras superiores muestran derrumbes recientes generalizados.

2.4.3.2.6 Asociación Silvania (S).

El rango altitudinal de esta unidad se establece entre los niveles subandino y altoandino. De norte a sur se presenta en los corregimientos de El Retiro parte occidental, La Feria, San Isidro, la Diana parte central y San Francisco sobre la margen izquierda del río Fraile. Su topografía es en extremo heterogénea por cuanto está presente en terrazas y valles aluviales-coluviales de superficies planas y suelos profundos en El Retiro y en las gargantas más escarpadas de suelos fuertemente lixiviados sobre el eje principal del río Bolo. Texturalmente hay una tendencia hacia gruesa en las partes altas del norte y del sur del área y hacia fina en el resto. La fertilidad es media.

Esta asociación incluye principalmente las tierras frías con un cierto predominio de la ganadería y de la actividad forestal: la primera con problemas de erosión en terracetas por

pisoteo del ganado en laderas empinadas y la segunda con introducción de especies de coníferas en especial por la cuenca del río Bolo y su afluente el Bolo Blanco.

2.4.3.2.7 Asociación Retiro (R).

Constituye los cuerpos de suelos que forman los valles aluviales-coluviales, en especial en la cuenca media y baja del río Bolo y en igual posición altitudinal del río Fraile, donde el clima es templado a cálido. Son tierras de gran productividad cuyos suelos alcanzan espesores significativos, con mínimas pendientes, texturas finas y valores de fertilidad intermedios. Soportan explotaciones intensivas de cultivos temporales y permanentes. No presentan problemas degradacionales importantes ni por inestabilidad de laderas ni por dinámica fluvial.

2.4.3.2.8 Asociación Los Abanicos (A).

Como indica su nombre, se trata de las tierras bajas, muy suavemente inclinadas, que constituyen el cuerpo central y la parte distal de amplios abanicos coalescentes. La franja superior, de estos abanicos es eminentemente ganadera, dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo Premontano. La franja inferior, está dedicada al cultivo de la caña, dentro del bosque seco Tropical, donde además se ubican los cascos urbanos de Pradera y Florida.

En dirección a los ápices de los abanicos estos suelos presentan una gran pedregosidad de cantos rodados heterogéneos, superficiales, aflorantes y profundos como limitante de su uso y manejo. En dirección opuesta hacia la llanura, la granulometría de la fracción rocosa pasa gradualmente a gravilla gruesa y fina. Los suelos, salvedad hecha de la pedregosidad, son profundos en toda el área de la asociación y la fertilidad va de media a baja.

2.4.3.2.9 Asociación El Aluvial (Q).

Todos los suelos de esta asociación se ubican dentro de la zona climática del bosque seco Tropical y pertenecen enteramente al dominio de la llanura aluvial. Poseen una topografía plana, carecen de limitaciones en su profundidad efectiva, las texturas presentan una tendencia hacia finas y la fertilidad puede considerarse de moderada a alta.

Su uso es exclusivamente para la producción intensiva de caña azucarera, para la cual se utilizan los caudales de las principales corrientes tales como los ríos Bolo, Párraga y Fraile que son absorbidos casi en su totalidad por la agroindustria y devueltos como aguas servidas, lo cual tiene incidencia en las fluctuaciones temporales de los niveles freáticos. Gran parte de los desechos de las plantaciones se incorporan a muchos de estos suelos favoreciendo el buen estado de conservación.

2.4.4 UNIDADES DE USO ACTUAL Y COBERTURA VEGETAL.

Inicialmente se efectuó una fotointerpretación sobre la cobertura vegetal y el uso que exhibían las tierras en la época de toma de las fotos aéreas, trabajo que se transfirió a la cartografía de escala 1:50.000. En la verificación de campo los contactos se modificaron, actualización que se transfirió a la cartografía-base para elaboración del mapa definitivo de uso actual y cobertura vegetal de las tierras (**Mapa 10**).

2.4.4.1 Bosques y áreas de manejo especial.

Por áreas de manejo especial deben entenderse las que determina el Artículo 308 del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables para su administración, manejo y protección ambiental como en el caso actual de las zonas de páramo y subpáramo con un objetivo concreto (Art. 309) que para el presente trabajo sería la prevención de talas y usos erróneos, que pudieran causar alteración o degradación en áreas particularmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas (Art. 324). Esta política ha sido ratificada, además, por precepto de la Constitución Nacional de 1991 cuando establece la protección de la diversidad e integridad del ambiente mediante la conservación de las áreas de especial importancia ecológica (Art. 79). Un ejemplo lo constituyen las reservas forestales naturales de páramo y subpáramo como valiosos ecosistemas que garantizan la oferta hídrica y los recursos de fauna y flora silvestres. Este uso de reservas está contemplado dentro del plan de estrategias de la Política de Bosques trazada conjuntamente por el Minambiente, la Dirección Nacional de Planeación y el Conpes (Ministerio del Medio Ambiente-Conpes-DNP 1996).

2.4.4.1.1 Bosque natural subpáramo a páramo alto (BP).

Su hábitat normal es el piso altitudinal que está por encima de la cota 2.900 msnm hasta cercanías del espinazo mismo de la cordillera. Las más extensas asociaciones florísticas paramunas pueblan de norte a sur las cabeceras de las siguientes corrientes: quebrada El Silencio, río Bolo Azul, quebrada Los Patos, río Santa Bárbara, río Fraile y quebrada Las Monjas. Fisionómicamente se trata de un bosque bajo a intermedio, de copas finas a medias, follaje semi-cerrado, con gran profusión de epífitas asociadas y una esponja superficial de musgo, fibras y especies inferiores que funciona como el cuerpo forestal más efectivo de almacenamiento hídrico de la naturaleza. Como se mencionó en el numeral 2.4.4.1, este tipo de cobertura vegetal natural por sus condiciones físicas y climáticas, constituye un conjunto de ecosistemas estratégicos de gran importancia, pero asimismo desde el punto de vista ecológico de una fragilidad tal que exige, su declaratoria ante la ley colombiana como área de manejo especial a fin de proceder, por parte de autoridades y comunidad, a asignarle el régimen administrativo, de manejo y protección ambiental que en dicha calidad le correspondería. El cubrimiento de páramo corresponde a 3609.6 Has (17.22%) en la cuenca del río Bolo y 4102.9 Has (19.42%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.4.1.2 Praderas naturales de páramo (PP).

Al igual que la clase de unidades descrita en el numeral 2.4.4.1.1. (Bosque natural subparamo a páramo alto) su cubrimiento, a partir de la cota 2.900 msnm. va hasta la línea superior divisoria de la cordillera rodeando los ejes principales y afluentes de las cabeceras de los ríos Bolo Azul, Santa Bárbara, Fraile y la quebrada Las Monjas. Las propiedades fisionómicas de esta cobertura vegetal la muestran en realidad como un tipo de flora múltiple en la que dominan una mezcla de pastos y musgo, la presencia generalizada de variedades de Frailejón, mechones de herbáceas heterogéneas y pequeños conjuntos de arbustivas aisladas. Por razones de su caracterización fisiográfica, en especial en la franja superior del macizo rocoso donde las pendientes tienden a suavizarse, el régimen de los escurrimientos igualmente se torna lento a moderado lo que a su vez, unido a las bondades del tapiz vegetal, favorece la infiltración y alta protección contra las modalidades de erosión hídrica.

Las consideraciones de carácter administrativo y de legislación ambiental que se aducen para el bosque del numeral anterior, son válidas para estas praderas que en la cuenca del río Bolo cubren 2780.8 Has (13.3%) y en la cuenca del río Fraile 5404.58 Has (25.6%).

2.4.4.1.3 Bosque natural tropical a andino (BA).

El ámbito de ocurrencia comprende teóricamente desde el valle geográfico del río Cauca hasta las laderas y escarpes de la cordillera a una altura aproximada de 2.900 msnm. Las más grandes concentraciones boscosas se ubican, una a partir de la convergencia de los corregimientos La Feria, San Isidro y La Diana hacia el NW, y la otra sobre las cabeceras de la quebrada San Rafael también hacia el NW.

La caracterización fisionómica es la de una flora multiestrata heterogénea de latifoliadas, desde porte bajo y copa fina hasta porte alto y copa ancha, en asociaciones de comunidades densamente pobladas (**Fotografía 2.4.2**). Este es el tipo de cobertura que brinda el mejor escudo de protección al medio edáfico frente a procesos de erosión hídrica superficial (Lercarperier, C., 1973) en especial por el colchón de capote o mulch que cubre los suelos (Bennett H.H., 1985). Corresponde a 3619.87 Has (17.27%) en la cuenca del río Bolo y a 4301.75 Has (20.36%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.4.1.4 Praderas tropicales a andinas (PA).

Se extiende por todas las laderas del eje central del río Bolo y afluentes, en especial el río Bolo Blanco en el Corregimiento El Retiro. Las demás áreas hacen relación a las cuencas media y baja del citado río Bolo y de los ríos Santa Bárbara y Fraile así como la cuenca hidrográfica del río Párraga hasta cercanías de los cascos urbanos de Pradera y Florida.



Fotografía 2.4.2. Bosques en cañadas del río Fraile con deslizamientos en suelos bajo cultivos temporales.

Este es el tipo de destinación más generalizado que da el hombre a sus tierras dentro del contexto cordillerano y socioeconómico de estas cuencas. El concepto de “praderas tropicales a andinas”, se refiere al conjunto de áreas bajo gramíneas nativas como puntero, grama y gordura en las tierras cálidas y templadas y kikuyo en la tierra fría con o sin sombrío, dedicadas a ganadería y cuyas características fisionómicas intrínsecas propician un comportamiento favorable del agua de lluvia que fluye no concentrada sino como escurrimiento difuso intenso que previene o minimiza fenómenos de erosión hídrica superficial, a tiempo que reduce notablemente la rata de infiltración hacia las partes inferiores del perfil de los suelos.

Como desventaja, se nota el desarrollo de procesos de degradación por sobrepastoreo en laderas empinadas donde bajo ciertas condiciones de humedad y dominancia de arcillas, el pisoteo por el ganado produce en los suelos la morfología conocida como “terracetas” o “pata de vaca”, consistente en desplazamientos masivos cortos del horizonte edáfico superior en niveles que se entrecruzan a manera de una malla generalizada sobre terrenos de pendientes pronunciadas (**Fotografía 2.4.3**). También se dan puntualmente fenómenos de erosión laminar en “calvas” a partir de sitios aislados de concentración del ganado para monta, saladeros, etc. donde tales actividades dejan permanentemente el suelo expuesto por destrucción de la cubierta verde natural. La superficie de la zona de estudio cubierta por praderas tropicales y andinas corresponde a 4707.34 Has (22.46%) en la cuenca del río Bolo y a 2301.68 Has (10.89%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.4.1.5 Rastrojos y matorrales (RA).

Dichas unidades componentes, a manera de jirones de formas y tamaños muy variables, se encuentran por toda la zona de estudio pero especialmente en la parte media a baja de las cuencas de los ríos Bolo, Santa Bárbara y Fraile. Por considerar que, cumplen prácticamente la misma función protectora frente a procesos de erosión, se homologan para efectos de mapificación de cobertura, los rastrojos y matorrales: En los primeros, dominan herbáceas altas y arbustivas que resultan del abandono de potreros y cortes del bosque a tala rasa. Los segundos, compuestos por arbustivas y gramíneas altas de tallo leñoso, a veces bejucos enmarañados, poseen una forma irregular y con frecuencia se distribuyen a lo largo de quebradas, corrientes menores y en aluviones de ríos en la parte plana. La característica frecuente de poseer un ramaje bajo y cerrado confiere a este tipo de cobertura una cierta capacidad de neutralización y en ocasiones hasta de anulación de la energía erosiva tanto de los escurrimientos por lluvias como del golpe y salpicadura de las mismas sobre los suelos particularmente de ladera. Arealmente, los rastrojos y matorrales ocupan una superficie de 1268.87 Has (6.05%) en la cuenca del río Bolo y 851.61 Has (4.03%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.4.1.6 Bosque plantado (BL).

Su cubrimiento es el más reducido entre todas las clases de uso de las tierras estudiadas y su distribución está restringida a las laderas de la vertiente norte del río Bolo y en la cuenca media a baja de dicho río. Son siembros planificados de especies superiores maderables, asistidos técnicamente con fines comerciales para obtención de pulpa, fibras, tablones y otros subproductos derivados. Estos aprovechamientos forestales de interés económico generalmente a base de coníferas introducidas al país crean ambientes artificiales en que, por carecer de sotobosque, se producen unos escurrimientos abundantes y baja infiltración particularmente en el caso de los eucaliptos. En general, el suelo permanece la mayor parte del año semidescubierto por lo que su grado de protección resulta, en consecuencia, bajo contra la mayoría de los procesos erosivos, Este tipo de uso ocupa una extensión superficial

de 165.85 Has (0.79%) en la cuenca del río Bolo y 97.24 Has (0.46%) en la cuenca del río Fraile.



Fotografía 2.4.3. Pradera natural andina con erosión en pata de vaca, cuenca del río Santa Barbara.

2.4.4.2 Tierras en Cultivos.

2.4.4.2.1 Cultivos permanentes y semipermanentes (CP).

Los terrenos dedicados a este tipo de explotación agrícola hacen relación de modo especial a las extensas plantaciones de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca entre las localidades de Pradera y Florida de propiedad de grandes consorcios industriales, pero también se encuentran cultivos de plátano, café y frutales de pequeños y medianos propietarios sobre las cuencas baja y media de los ríos de la zona en estudio. Se trata de una clase de cobertura en que el suelo permanece semidescubierto en algunos casos por cortas temporadas durante el año, expuesto a la acción de escurrimientos en laderas y erosión laminar en la parte plana, razón por la cual el grado de protección es moderado frente a tales procesos (**Fotografía 2.4.4**). Corresponde a 2798.93 Has (13.35%) en la cuenca del río Bolo y 1845.42 Has (8.73%) en la cuenca del río Fraile.



Fotografía 2.4.4. Cultivos en terrazas, confluencia de los ríos Fraile-Santa Barbara

2.4.4.2.2 Cultivos temporales y limpios (CT).

Las tierras agrícolas se concentran sobre las laderas y depósitos cuaternarios en las cuencas media a baja de los ríos Bolo, Párraga, Santa Bárbara y Fraile. Las unidades mapeadas, de forma y tamaño en extremo variables, son en realidad conjuntos de predios de posicionamiento fisiográfico más o menos homogéneo, en explotación unos y en descanso otros. Se separan de los cultivos permanentes y semipermanentes por cuanto su condición es la de suelos descubiertos durante la mayor parte del año; el tipo de intervención por parte del hombre es consecencialmente diferente y su grado de protección es bajo a muy bajo por estar sometidos a procesos tales como: erosión hídrica superficial por escurrimiento reforzado en surcos (en el caso de las laderas) y salpicadura o saltación de partículas por impactos de precipitación pluvial en los valles y terrazas aluviales-coluviales. Corresponde a 649.15 Has (3.1%) en la cuenca del río Bolo y a 692.49 Has (3.28%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.4.3 Otros Usos o Coberturas

2.4.4.3.1 Cuerpos naturales de agua (AN).

En una profusión de formas y dimensiones variadas, los cuerpos de agua se encuentran esparcidos en una franja muy amplia norte-sur, comprendida entre las cabeceras de los ríos

Santa Bárbara y Fraile y la quebrada Las Monjas de una parte, y la divisoria principal de la cordillera por otra. Se trata de un conjunto heterogéneo de cuerpos lagunares que ocupan las depresiones dejadas por el paso de las masas de hielo en una época geológica de intensa actividad glaciaria. Se destacan por su enorme magnitud y obviamente por el volumen que del recurso hídrico poseen las siguientes lagunas de norte a sur: Los Micos, La Esperanza, Caridad y Frailes para no citar sino las mayores y más importantes. Por su condición de agua permanente se estima que estos reservorios naturales funcionan como fuentes efectivas de recarga hídrica hacia los acuíferos internos del macizo rocoso, además de constituirse en factores del medio físico que incrementan los valores potenciales de la evapotranspiración local. Como papel que cumplen dentro de la dinámica del agua aquí tratada y toda su fenomenología geomorfológica asociada, puede decirse que son neutralizantes de la energía de los escurrimientos provenientes de las partes más altas y portadores de algunos sedimentos (**Fotografía 2.4.5**). Las masas acuosas paramunas ocupan un área de 22.78 Has (0.11%) en la cuenca del río Bolo y 231.87 Has (1.1%) en la cuenca del río Fraile.

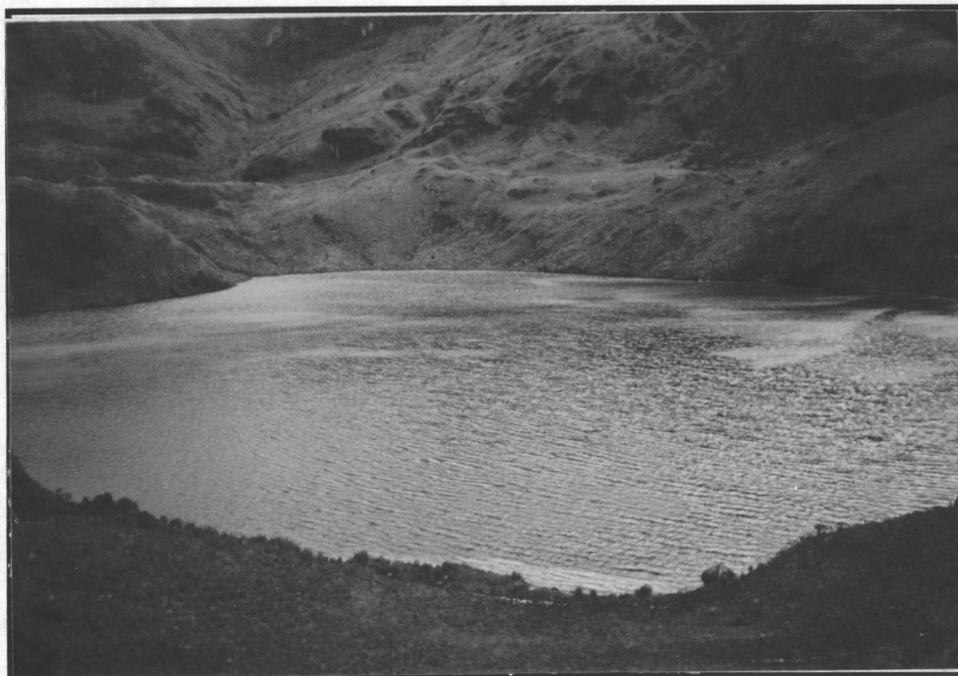
2.4.4.3.2 Áreas erosionadas (AD).

Su distribución en cuanto a erosión, se concentra en la parte baja de las cuencas, de los ríos Bolo y Fraile, en los corregimientos de Potreritos y La Diana respectivamente y en cuanto a remoción en masa, en las cabeceras de afluentes de los ríos Bolo y Fraile principalmente.

El concepto se refiere a todas las áreas en proceso actual de degradación física en las varias modalidades de erosión y remoción en masa. Por razones de escala, el mapa solo muestra áreas afectadas de cierta magnitud en adelante. Las formas y grados de afectación son diversos y van desde leves pérdidas de material de suelo por salpicadura, saltación y desplazamiento de partículas, debido a la energía de impactos de precipitación pluvial en suelos descubiertos o semidescubiertos hasta arrastre del escurrimiento difuso intenso en praderas limpias o mixtas. Se incluyen eventos mayores de índole catastrófica en ocasiones, relacionados con movimientos y desplazamientos masivos (**Fotografía 2.4.6**). La causalidad es igualmente variada y tiene que ver con los manejos dados tradicionalmente a las actividades básicas del campo colombiano: sobrepastoreo en praderas planas o de mínimas pendientes, pastoreo en laderas fuertes, tala rasa del bosque original para establecimiento de potreros o apertura de frentes de colonización, cultivos limpios en terrenos escarpados, cualquier cultivo con surcos en sentido de la pendiente, agricultura de ladera en general, no tecnificada, sin observancia de mínimas medidas conservacionistas.

En síntesis, el conjunto de estos procesos morfodinámicos degradacionales: erosión laminar, alineada en surcos, profundizada en cárcavas o flujos masivos tales como deslizamientos, derrumbes, etc. representa un aporte apreciable de sedimentos, agravado en períodos de lluvias, hacia quebradas y ríos incrementando su régimen torrencial y el riesgo de daños a la infraestructura y viviendas de las subcuencas bajas, incluidos los cascos

urbanos de las cabeceras municipales. El grado de desprotección de los suelos en estas unidades es, por consiguiente, de moderado a total. La superficie involucrada es de 306.53 Has (1.46%) en la cuenca del río Bolo y de 673.74 Has (3.19%) en la cuenca del río Fraile.



Fotografía 2.4.5. Laguna Guayabal, cabecera quebrada Guayabal, afluente del río Santa Bárbara.

2.4.4.3.3 Misceláneo rocoso (MR).

Su ocurrencia tiene lugar en los siguientes sitios: extremo nororiental de la zona de estudio hacia la divisoria y sobre la cabecera de la quebrada El Silencio; sobre la vertiente izquierda de la cabecera del río Bolo Azul y sobre las cabeceras izquierda y derecha de los nacimientos del río Fraile en el extremo suroriental de la zona de estudio. Se denomina así a las áreas de afloramientos de material geológico que, sin embargo, permiten el desarrollo de pequeñas franjas o manchas de vegetación, generalmente gramíneas y herbáceas mezcladas configurando un patrón de distribución planta-roca-suelo tan intrincado que no es posible trazar unidades separables de ninguno de dichos elementos del paisaje. Tales áreas consideradas, por ello, indiferenciables, forman parte del complejo de recarga de lluvias a través de sus grietas, diaclasas, fisuras, fallas, fracturas y contactos, hacia el

interior de los acuíferos del macizo cordillerano. El tipo de protección del recurso suelo para estas áreas es de parcial a ninguno dadas las características físicas anotadas. Corresponde a 855.55 Has (4.1%) en la cuenca del río Bolo y a 470.07 Has (2.22%) en la cuenca del río Fraile.



Fotografía 2.4.6. Desprendimientos generalizados en suelos bajo cultivos, bosques y praderas , aguas arriba de Granates en la cuenca de río Fraile.

2.4.4.3.4 Zonas Urbanas e Infraestructura (UI)

Se refiere básicamente al área de dininfluencia de los cascros urbanos correspondientes a las localidades de Pradera y Florida como principales cabeceras municipales de la zona de estudio. Adicionalmente, estructuras de explotaciones avícolas figuran en razón de su extensión. Estos, como todos los asentamientos humanos en condiciones normales, son homologados en la categoría de ecosistemas artificiales con los más altos niveles de flujo anual de energía por metro cuadrado. Como es apenas lógico y habida cuenta de su tendencia a la sequedad, tales ecosistemas favorecen el ámbito de la zona de vida natural conocida como bosque seco tropical.

El tipo de protección de cara a la dinámica fluvial, hace relación a los trabajos del hombre para control de corrientes, esto es, toda clase de obras bien sea de ingeniería o de carácter artesanal que adelantan las administraciones municipales y la comunidad misma. Corresponde a 172.97 Has (0.83%) en la cuenca del río Bolo y 154.23 Has (0.73%) en la

cuenca del río Fraile.

2.4.5 UNIDADES DE USO POTENCIAL

Tomando como marco general el Mapa de Formaciones Vegetales para referenciar las grandes zonas de vida natural y el Mapa de Uso actual y cobertura vegetal para precisar las mismas, se entró a considerar la vocación de uso de las áreas homogéneas del Mapa de Suelos.

La vocación de uso tiene en cuenta las observaciones de campo realizadas en los transectos previamente planificados, las informaciones suministradas por sus moradores y las apreciaciones del medio físico logradas por fotointerpretación para sitios de difícil o imposible acceso. La valoración cualitativa integral de tales criterios determinó el tipo de unidades de uso y manejo para el Mapa de Uso Potencial de las tierras (**Mapa 11**).

Acorde con el procedimiento descrito, la determinación del uso potencial observa algún paralelo con los enunciados para clases agrológicas sin adoptarlas textualmente dada la índole de productividad agrícola, ganadera y forestal que define el objetivo principal de éstas (Mosquera, L., 1986) y la necesidad urgente que se tiene en el presente trabajo de formular una sectorización de uso y manejo de las tierras que haga énfasis en sus debilidades y fortalezas frente a un eventual comportamiento de carácter geotécnico natural o intervenido de las mismas.

Las unidades que se describen a continuación son, pues, de naturaleza común con las de uso actual en forma tal, que posibilitan la elaboración posterior del Mapa de Conflicto de uso del suelo.

2.4.5.1 Zonas de reserva natural de páramo (RN).

Se denominan zonas de reserva natural a todas aquellas áreas especiales de manejo ambiental (Bosque subparamo a paramo alto y Praderas naturales de páramo) a partir del subpáramo hacia arriba y cuyo soporte filosófico, como allí se menciona, está expresado en los artículos 309 y 324 del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables, en el Artículo 79 de la Constitución misma Nacional de 1991 y en la Política conjunta de Bosques enunciada por el Minambiente, la Dirección Nacional de Planeación y el Conpes (Ministerio del Medio Ambiente-Conpes-DNP 1996).

Esta zona de vida natural es, en general, dominio del páramo con una gran variedad de geoformas y rasgos fisiográficos y su caracterización edáfica está dada por la Asociación Mirador en la cuenca alta del río Bolo y por la Asociación Palmera en la cuenca alta del río Fraile. A todo lo largo del límite de la franja de la reserva Natural de Páramo (RN) y de Bosque protector (B3) se encuentran suelos de la Asociación Sylvania.

Se trata en su totalidad de un área no apta para explotaciones agropecuarias, con problemas de derrumbes y desprendimiento generalizado de materiales de suelo y roca de las cabeceras de los ríos principales y sus afluentes. Estas tierras altas se erigen, en consecuencia, como verdaderos santuarios de fauna y flora para recreación ecológica, normalización climática y preservación de la biodiversidad (**Fotografía 2.4.7**).



Fotografía 2.4.7. Reserva natural de Páramo en Peñas Blancas, hacia el extremo suroriental del área de estudio, río Fraile

2.4.5.2 Bosque protector (B3).

Esta clase de cobertura presenta en general dos patrones de distribución que vale la pena destacar: el uno adyacente al cinturón de subpáramo coincidiendo de manera apreciable con el ámbito edáfico de la asociación Sylvania, de laderas fuertemente onduladas a colinadas. El otro a lo largo de muchos de los corredores principales de la red hidrológica hasta la parte plana, áreas éstas de frecuente dominio edáfico de las asociaciones Diana y Los Abanicos.

El señalamiento de estas masas vegetales naturales compuestas por una gran variedad de asociaciones de comunidades florísticas, como de función eminentemente protectora, busca en esencia el mantenimiento de una cobertura boscosa apta para cuencas hidrográficas que minimice o atenúe el riesgo de avalanchas en cauces por procesos de remoción en masa

en esencia el mantenimiento de una cobertura boscosa apta para cuencas hidrográficas que minimice o atenúe el riesgo de avalanchas en cauces por procesos de remoción en masa dado lo inestable de sus laderas.

2.4.5.3 Bosque protector-productor (B2)

La ubicación prioritaria que se propone para el carácter mixto de estos bosques sigue la franja húmeda del subpáramo, unas veces alternando con el B3 y otras a continuación de él por dos razones: En primer lugar constituyen soluciones alternativas de amortiguamiento a la presión sobre las zonas de reserva natural y el bosque netamente protector y en segundo, racionalizan los costos de toda la actividad silvicultural mediante un posicionamiento relativamente accesible a las vías de penetración.

El rasgo fisiográfico más notable de esta unidad es el fuertemente ondulado, presente en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Bolo en su margen derecha, sobre suelos de la Asociación Mirador y en su media-izquierda sobre la Asociación Silvania, mientras que en las cuencas del Santa Bárbara y Fraile está sobre suelos de las asociaciones Silvania y Palmera.

Este tipo de explotación, que ya se practica en laderas del río Bolo Blanco sin mayores traumas ambientales y con aceptable rentabilidad, alterna variedades foráneas, como pino pátula con las especies del bosque nativo sin disturbarlas, excepto puntualmente en sitios de apertura de huecos para siembra de los pinos a distancias a veces insuficientes para el normal funcionamiento de la luz solar sobre las nativas.

2.4.5.4 Bosque productor (B1).

Por razones de minimización del impacto ambiental, de logística de la producción forestal y de calidad de sitios para el tipo de actividad, se ubican estas áreas en la parte casi plana de los abanicos, cerca a los cascos urbanos de Pradera y Florida y en los depósitos de ladera de la Asociación Diana en la inspección municipal del mismo nombre.

Cumple igual función que el B2 aunque de manera más intensiva, como área de amortiguación de la presión por explotación del bosque natural para responder a las necesidades de pulpa y fibra que demandan las industrias del papel y de la construcción fundamentalmente.

2.4.5.5 Praderas tropicales a andinas (PA).

Estas áreas limpias o enmalezadas, con o sin sombrío, abarcan una inmensa variedad de ambientes microclimáticos, fisiográficos y edáficos, observando como aptitud importante de uso, la moderación de sus pendientes, incluso hasta la semihorizontalidad de los

abanicos que se extienden sobre la llanura. Este aspecto es especialmente conveniente si se tiene en cuenta el impacto ambiental de la ganadería extensiva sobre las laderas empinadas en las que produce el deterioro generalizado de erosión en terracetos o pata de vaca.

2.4.5.6 Rastrojos y matorrales (RA).

El propósito o criterio mayor que se tiene para establecer rastrojales como zonas aptas de protección de laderas, es precisamente el carácter particularmente escarpado de éstas y la función hidrológica de infiltración de las coberteras herbáceas y arbustivas, sin riesgo crítico de saturación de las mismas. Esto por cuanto no se trata de depósitos de ladera, derrubios o coluviones sino de laderas estructurales de máximas pendientes como puede apreciarse en las más importantes unidades RA que se delimitan sobre el cañón del Bolo y sus similares de los ríos Santa Bárbara y Fraile, siempre sobre suelos de la asociación Silvania.

2.4.5.7 Cultivos permanentes, semipermanentes y frutales (CP).

El manejo de los riegos y drenajes, la función hidrológica del tipo de vegetación y su hábito radicular y la respuesta de los suelos de las asociaciones Diana y Silvania permiten, con elementales prácticas de conservación, desechar el riesgo de remoción en masa y de arrastre importante de sedimentos para el caso de los depósitos de ladera, geoformas más frecuentes en las partes medias a altas en jurisdicción del municipio de Pradera.

Similar comportamiento geotécnico para el uso potencial en cuestión (CP) sobre las mismas asociaciones de suelos, se observa en las laderas onduladas de la parte baja de la cuenca del río Bolo. Las laderas suaves a fuertemente onduladas en la cuenca del río Fraile que, bordean el subpáramo, presentan importantes depósitos de ladera aptos para uso CP en suelos de la Asociación Palmera.

Diferente es el caso de la caña de azúcar, sobre los suelos suavemente inclinados a planos de las asociaciones Los Abanicos y El Aluvial en los alrededores de Pradera y Florida donde la característica ambiental principal, dada la gigantesca magnitud de las explotaciones, es el agotamiento del recurso hídrico tomado de ríos y quebradas, con gran frecuencia durante el año.

2.4.5.8 Cultivos temporales y limpios (CT).

Formaciones superficiales de carácter aluvial-coluvial en suelos planos de la asociación El Retiro fundamentalmente, con los problemas típicos que son de esperarse de dinámica fluvial sobre depósitos cuaternarios intermontanos, constituyen, siempre que se cumpla con las medidas de conservación usuales, la mayor oferta edáfica de la región cordillerana en la zona de estudio.

Intensificando las prácticas de conservación, se pueden aprovechar para uso CT algunas áreas de laderas onduladas sobre suelos de las asociaciones Diana y Silvania en las cuencas hidrográficas de los ríos Santa Bárbara y Fraile. Estos suelos tienen aceptable productividad y el impacto ambiental que produce su manejo semi-tecnificado por erosión y aporte de sedimentos es mínimo, salvedad hecha de algunos cultivos no permitidos por la ley.

2.4.5.9 Áreas para tratamiento (AT)

Se denominan áreas para tratamiento aquellas cuyos suelos, y frecuentemente también subsuelos, adolecen de un deterioro físico parcial o total atribuible a causas de orden natural e/o inducidas por el hombre.

En consecuencia, se delimitan en la cartografía zonas y sitios importantes de deslizamientos y derrumbes en especial por la cuenca media del río Párraga y por las cuencas media a alta del Santa Bárbara y del Fraile. Se incluye la franja de colinas bajas ubicadas frente a las localidades de Pradera y Florida, las cuales acusan un grado severo a crítico de erosión hídrica superficial con tendencia a la semidesertificación.

Por último, se asigna este carácter al cauce y vegas adyacentes de las corrientes principales a su paso por las mencionadas poblaciones, las cuales son anchas en el caso del Fraile y angostas en el del Bolo, pero en ambos cursos sometidas a eventuales episodios catastróficos de avenidas e inundaciones.

2.4.5.10 Zonas urbanas e infraestructura (UI).

Se refieren al perímetro urbano y suburbano de los municipios de Florida y Pradera sin incluir las áreas edificadas, expuestas a la amenaza que significa su contacto físico con el cauce y caudal de las corrientes fluviales mayores que las cruzan.

Contrario a lo anterior, se incluyeron como UI terrenos alledaños que indican hacia dónde debe desplazarse el crecimiento futuro de las poblaciones, a fin de hacerlas menos vulnerables a la materialización del riesgo, indicado por la distribución de materiales aluviales y por la tendencia direccional de las líneas de flujo en la parte distal de los abanicos antiguos y recientes.

2.4.6 CONFLICTO DE USO

La clase de unidades utilizadas tanto en el mapa de uso actual (**Mapa 9**) como en el de uso potencial, se previó fuera de índole similar para posibilitar, mediante su confrontación, el establecimiento de coincidencias o antagonismos según el caso para efectos de correlación o conflicto.

La superposición en mesa de luz de los dos documentos cartográficos así obtenidos, el de uso actual y el de uso potencial, dan como resultado unidades que ponen de presente el conflicto de uso con base en la identificación mediante un nomenclador quebrado, donde el numerador indica el uso actual y el denominador el uso potencial. Los listados completos de códigos de uno y otro uso son los mismos de sus respectivos mapas. La leyenda que acompaña al Mapa de Conflicto de uso establece y muestra tanto el tipo como el grado de conflicto de uso, éste último por medio de código de colores (**Mapa 12**).

El agrupamiento de los diferentes tipos de uso y cobertura toma en cuenta factores como su efecto proteccionista de los suelos, dos niveles generales para pisos climáticos (tropical a andino y subpáramo a páramo alto), el grado de intervención por el hombre y ciertas peculiaridades de la zona que constituye un transecto fisiográfico perfectamente representativo de todos los ambientes altitudinales del medio cordillerano colombiano.

El acopio y procesamiento de toda la información de índole agroecológica: climas, fisiografía, suelos, usos y manejos, cubiertas vegetales, degradación, etc. se constituye, en este punto de los estudios, en la herramienta o criterio objetivo indispensable para abordar el tema del conflicto. Este, acorde con el objetivo central, geotécnico, del Proyecto, se aparta en gran medida del concepto clásico puramente agronómico, sobre exigencias de unas coberturas vegetales contra las posibilidades de productividad correspondientes respectivamente a las tierras en que se encuentran establecidas.

En este orden de ideas, se definen tres categorías en cuanto a la gravedad del conflicto: alta, media y baja como puede apreciarse en el cuadro-matriz correspondiente, que además ilustra sobre el tipo de conflicto para cada caso específico (**Tabla 2.4.4**).

2.4.6.1 Conflicto de uso de grado Alto

Este grado de conflicto, se refiere al uso inadecuado de las tierras en función de la susceptibilidad de los terrenos a la generación de eventos de naturaleza catastrófica, como respuesta a estímulos naturales e/o inducidos por el hombre. Corresponde a 2430.8 Has (11.6%) en la cuenca del río Bolo y 1667.5 Has (7.89%) en la cuenca del río Fraile.

A continuación se describe la situación ambiental de cada uno de los tipos de uso potencial.

| USO POTENCIAL | USO ACTUAL Y GRADO DE CONFLICTO | | | |
|---------------|---------------------------------|--|------|------------------------|
| | ALTO | | BAJO | SIN |
| COLORES | ROJO | | AZUL | VERDE |
| RN | RA - AD - BL | | | BP - PP AN-MR |
| B3 | AD - PA - RA - BL - CP - CT | | | BA BP |
| B2 | PA - RA - BL - CP - CT - AD | | | BA |
| B1 | CT | | CP | BA - PA - RA - BL |
| PA | BL - AD - UI - CT | | | BA - PA - RA |
| RA | BL - CT | | | BA - RA |
| CP | CT | | | BA - PA - RA - CP |
| CT | | | BL | BA - PA - RA - CP - CT |
| AT | UI - CP - CT | | | BA - PA - RA AD |
| UI | | | CP | UI |

EXPLICACIÓN : USO ACTUAL .
USO POTENCIAL

| | CONFLICTO | TIPO | GRADO | COLOR EN EL MAPA |
|---------|------------------------|--|-------|------------------|
| EJEMPLO | CT B3 | CULTIVO TEMPORAL BOSQUE PROTECTOR | ALTO | ROJO |

USO ACTUAL

| | | | | | |
|---|--|-----------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| BP :Bosque natural de subpáramo a páramo alto. | BA: Bosque natural a andino | RA: Rastrojos y matorrales | CP: Cultivos permanentes, semipermanentes y frutales | AN: Cuerpos naturales de agua | MR: Misceláneo rocoso |
| PP : Praderas naturales de subpáramo a páramo alto | PA: Praderas tropicales a andinas | BL: Bosque plantado | CT: Cultivos temporales y limpios | AD: Areas erosionadas | UI: Zonas urbanas e infraestructura |

USO POTENCIAL

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| RN: Zona de reserva natural de páramo | B2: Bosque protector - productor | PA: Praderas tropicales a andinas | CP: Cultivos permanentes, semipermanentes y frutales | AT: Areas para tratamiento |
| B3: Bosque protector | B1: Bosque productor | RA: Rastrojos y matorrales | CT: Cultivos temporales y limpios | UI: Zonas urbanas e infraestructura |

TABLA 2.4.4 ESQUEMA EXPLICATIVO DEL TIPO Y GRADO DE CONFLICTO DE USO DEL SUELO

2.4.6.1.1 Situación ambiental de la reserva natural de páramo

La reserva natural de páramo (RN) se halla afectada por los usos actuales de: rastrojos y matorrales (RA), áreas erosionadas (AD) y bosque plantado (BL). En el Mapa de Conflicto las unidades correspondientes a las anteriores afectaciones, son: RA/RN, AD/RN y BL/RN.

Las unidades **RA/RN** se localizan sobre las laderas de algunos de los afluentes de la margen izquierda de la cuenca alta del río Bolo Blanco, en la margen derecha de la cuenca alta del río Bolo Azul, en las cabeceras de la quebrada Los Patos afluente del río Santa Bárbara y en la margen izquierda de este último en su curso medio a alto. Se trata de rozas o tala - raza del bosque original para establecer cultivos y/o potreros lo cual va en detrimento casi total de su capacidad de almacenamiento hídrico contribuyendo a la consolidación de un régimen de escorrentía de tendencia torrencial.

La anterior consideración, como proceso degradacional, es aplicable en grado máximo a la unidad **AD/RN** en inmediaciones de las cabeceras del río Bolo Blanco.

El conflicto de tipo **BL/RN** que se registra sobre las laderas de la margen izquierda del río Santa Bárbara en su cuenca media a alta, consiste en la siembra de especies superiores del orden coníferas, plantación que una vez desarrollada completamente elimina todo tipo de cobertura herbácea y arbustiva como escudo protector contra modalidades varias de erosión del suelo.

2.4.6.1.2 Situación ambiental del bosque protector

Las áreas B3, de vocación eminentemente boscosa nativa, soportan en la actualidad una serie de intervenciones de carácter antrópico tales como: despejes para praderas tropicales andinas (PA), rastrojos y matorrales (RA), bosques plantados (BL), cultivos permanentes, semipermanentes y frutales (CP), cultivos temporales y limpios (CT) y áreas erosionadas (AD). En el Mapa de Conflicto dichas intervenciones figuran respectivamente como: PA/B3, RA/B3, BL/B3, CP/B3, CT/B3 y AD/B3.

Las unidades PA/B3 en alta montaña, adyacentes al páramo, exhiben con frecuencia dado lo fuerte a escarpado de sus pendientes, erosión en patas de vaca o terracetas. En el resto del área, especialmente en clima templado, a lo largo de ríos y quebradas, ocurre lo mismo aunque de manera más puntual, en terrenos sobrepastoreados por ganadería de tipo extensivo. Las terracetas predisponen en muchos casos a la ruptura y corrimiento del suelo.

La situación problema distinguida como **RA/B3**, de distribución similar a la anterior con énfasis en la parte central de la franja templada, presenta en cimas y laderas del nivel altitudinal superior, áreas abandonadas o enmalezadas donde hubo tumbas importantes del

bosque original y en el clima templado en terrenos próximos a corrientes, rastrojales muy intervenidos y ralos. En ambos casos es el bosque nativo la cobertura vegetal que debe primar para preservación ecológica de márgenes y vertientes.

La situación **BL/B3**, se da principalmente en las cabeceras de la quebrada La Escalera ó Chorros, afluente del río Santa Bárbara en su curso medio, donde un manejo silvicultural deficiente, origina focos de erosión persistentes aportantes de sedimentos a las corrientes.

Los conflictos **CP/B3** y **CT/B3** se refieren a algunas zonas de clima templado en proximidades de las márgenes de los ríos Bolo y Fraile. Los predios agrícolas usurpan tierras que pertenecen a rondas de ríos y quebradas y las labores que implican las dejan expuestas a deterioros progresivos como el socavamiento de orillas.

El antagonismo **AD/B3** se reduce a eventos muy aislados en la cuenca media del río Bolo y en la media a baja del Fraile. Se trata de erosión en calvas y derrumbes grandes, prácticamente sobre el lecho del río. Márgenes que una vez estabilizadas, deberían ser beneficiadas con el establecimiento de especies superiores de porte medio a alto.

2.4.6.1.3 Situación ambiental de las áreas aptas para bosque protector - productor

Las zonas aptas para plantaciones mixtas (B2) protectoras - productoras presentan en la actualidad pugna con otros usos a saber: praderas tropicales a andinas (PA), rastrojos y matorrales (RA), bosque plantado (BL), cultivos permanentes, semipermanentes y frutales (CP), cultivos temporales (CT) y áreas erosionadas (AD). Este tipo de pugnas figuran en el Mapa de Conflicto con los nomencladores: PA/B2 , RA/B2 , BL/B2 , CP/B2 , CT/B2 Y AD/B2.

La primera de ellas, **PA/B2** significa que algunas laderas de las cuencas: media del río Santa Bárbara, media a alta del río Bolo Azul y cabeceras del Bolo Blanco, usadas hoy como praderas, tienen el potencial edáfico y ambiental además de estratégico, para aportar un aprovechamiento forestal a la vez protector y productor.

La incompatibilidad **RA/B2** plantea una alternativa similar a la anterior para rastrojeras ubicadas en laderas especialmente de las cuencas medias a altas de los ríos Bolo Azul y Santa Bárbara, en que el sistema entremezclado de especies nativas y foráneas puede reemplazar a los rastrojos sin causar traumatismo de consideración desde el punto de vista geotécnico.

El conflicto de uso **BL/B2** se aprecia solo en dos sitios: uno en las laderas del curso bajo de la quebrada los Patos, afluente del río Santa Bárbara y otro en las laderas del primer afluente importante del río Bolo Blanco en su curso bajo, inspección de El Retiro. En ambos casos por lo escarpado de las pendientes y el empleo que se hace de especies

coníferas foráneas, excluyentes de cualquier otro tipo de vegetación inferior protectora, se generan focos gradualmente crecientes de erosión hídrica superficial, razón suficiente para aconsejar su relevo por bosque mixto.

Los cultivos, causantes de los confrontamientos de uso **CP/B2** y **CT/B2** que ocurren en laderas de las vertientes izquierdas de los ríos Bolo Azul en su curso medio y Santa Bárbara en su curso bajo, dejan desprotegido el suelo durante gran parte del año en condiciones de fuertes relieves, sometidos a impactos de precipitación pluvial con el consiguiente aporte importante de sedimentos a los cauces adyacentes.

La condición **AD/B2** se registra únicamente sobre las cabeceras del primer afluente importante del río Bolo Blanco en su curso bajo, donde la oferta física ambiental del terreno acepta la implantación de una cobertura de especies nativas protectoras y foráneas productoras.

2.4.6.1.4 Situación ambiental de las áreas aptas para bosque productor

Los espacios apropiados para emplazamiento de bosques de tipo productor (**B1**) en el área de estudio, constituyen los mejores ámbitos para dicho fin comparados con los restantes usos, a excepción de algunos cultivos temporales y limpios (**CT**) establecidos en inmediaciones de la Inspección de Policía La Diana; conflicto éste que aparece en el mapa como **CT/B1**. Además de las soluciones de índole ingenieril para los problemas de reptación de suelos que hay allí, se impone la necesidad del cambio de uso hacia árboles de gran tamaño y raíces profundas que contribuyan a la estabilización del suelo.

2.4.6.1.5 Situación ambiental de las praderas tropicales a andinas.

Las áreas mapeadas como aptas para destinación de praderas (**PA**) se encuentran afectadas en el presente por los siguientes usos y coberturas: bosque plantado (**BL**), cultivos temporales y limpios (**CT**), área erosionadas (**AD**) y zonas urbanas e infraestructura (**UI**). En el Mapa de conflicto tales afectaciones aparecen respectivamente como **BL/PA**, **CT/PA**, **AD/PA** y **UI/PA**.

Las unidades **BL/PA** se localizan sobre las laderas de la vertiente izquierda de la quebrada El Retiro afluente del río Bolo Blanco en su curso bajo. Se trata de siembras de pinos, eucaliptos y cipreses en terrenos fisiográficamente inapropiados, de suelos superficiales, lixiviados, propensos a arrastre.

Consideración similar a la anterior aunque de implicaciones críticas por el tipo y grado de la erosión laminar dominante, merece la relación de usos **CT/PA** incidente en mediaciones de la quebrada Los Negros afluente del río Bolo en su curso medio a bajo, margen derecha.

El conflicto de tipo **AD/PA**, restringido a una pequeña unidad en cercanías de la margen

derecha del río Párraga, en su curso bajo y en la zona de terrazas de piedemonte, podría ser resuelto mediante empradizamiento con gramíneas resistentes a sequedad y mínimamente exigentes en nutrientes.

El caso UI/PA se da en abanicos adyacentes al curso bajo del río Bolo en su margen izquierda, donde existen instalaciones de gran capacidad posiblemente avícolas. Se llama la atención sobre la necesidad de adoptar medidas de carácter preventivo consistentes en la erradicación de este tipo de infraestructura mayor que evite los daños físicos y pérdida de vidas humanas, ante la posibilidad de eventos torrenciales catastróficos en las corrientes principales o menores en cuyas áreas de influencia se hallen emplazadas o se proyecte construir estructuras de tal magnitud.

2.4.6.1.6 Situación ambiental de las áreas a proteger con cobertura de rastrojos

Las unidades areales homologadas como de vocación eminentemente conservacionista para rastrojeras y similares (RA), han sido de manera equivocada parcialmente destinadas a usos tales como bosque plantado (BL) y cultivos temporales y limpios (CT), dando como resultado una serie de conflictos visualizables en el mapa respectivo, bajo las denominaciones BL/RA y CT/RA.

La situación problema BL/RA ocurre en: Las laderas de la vertiente izquierda del río Bolo Blanco en su curso medio y en la quebrada El Retiro, afluente de aquel en su curso bajo; tiene lugar además, en la cabecera oriental de la quebrada la Escalera o Chorros, afluente del río Santa Bárbara en su curso medio, margen derecha y en la cabecera de la quebrada Los Caleños, afluente del Santa Bárbara en su curso bajo. La razón esencial por la cual explotaciones de bosques comerciales deben ser proscritas de estas áreas, la constituye lo escarpado al máximo de las faldas de estas montañas.

El antagonismo distinguido CT/RA se detectó en laderas de pendientes muy superiores al 100% sobre la vertiente izquierda de la quebrada Los Caleños, afluente del río Santa Bárbara en su curso bajo y sobre algunas áreas agrícolas reducidas en la cuenca del río Fraile, aguas abajo de Granates, sobre la misma margen. A fin de permitir alguna recuperación de estos suelos desgastados y agrietados, urge su descanso temporal o definitivo en rastrojos y, si el horizonte superior aún lo permite, en pastos de corte.

2.4.6.1.7 Situación ambiental de las áreas aptas para cultivos permanentes

Las zonas de buena capacidad agrícola para cultivos permanentes, aptas también para semipermanentes y frutales (CP), comprenden, entre otros, depósitos de ladera fácilmente saturables y parcialmente invadidos por cultivos temporales y limpios (CT), cuyo diseño para retención de humedad y necesidades de riego pueden ser un factor que predisponga a este tipo de materiales inconsolidados para eventuales procesos de remoción en masa. Esto conlleva a señalar como grave la confrontación CT/CP que se muestra en el Mapa de

Conflicto. Esta clase de unidades es posible apreciarla en laderas de afluentes del curso medio y bajo de los ríos Bolo y Santa Bárbara, en la cuenca de la quebrada La Fría y en la cuenca media del río Fraile.

2.4.6.1.8 Situación ambiental de las áreas delimitadas para tratamiento

Las áreas degradadas (AT) por incidencia de factores climáticos, sísmicos, antrópicos y/o geomorfológicos siguen, sin embargo, siendo parcialmente usufructuadas en cultivos permanentes, semipermanentes y frutales (CP) y en cultivos temporales y limpios (CT). También se destinan a ocupación de infraestructura urbana (UI). Tales situaciones críticas figuran en el Mapa de Conflicto respectivamente como CP/AT , CT/AT y UI/AT.

La relación de pugna por uso CP/AT se presenta en unidades areales relativamente pequeñas en la vertiente superior de la quebrada Salsipuedes, vereda San Isidro, municipio de Pradera, en márgenes del río Santa Bárbara, vereda San Juanito y en la desembocadura de éste en el río Fraile, aguas abajo sobre su margen derecha. Se presenta también en unidades un poco más extensas a todo lo largo de los lechos mayores, antes y después de los cascos urbanos de Pradera y Florida. Los tres primeros casos consisten en cultivos sobre focos de erosión laminar y cárcavas, mientras los dos últimos hacen relación a la presencia de cañadales sobre el dominio histórico o área de influencia de las avalanchas de lodo y bloques sobre dichas poblaciones.

La incompatibilidad CT/AT tiene lugar de manera muy localizada en colinas de piedemonte, vertiente derecha de la quebrada Leona, afluente del río Bolo en su curso inferior, en laderas altas de la vertiente izquierda del río Bolo frente a la Inspección de Potreritos, en márgenes del río Santa Bárbara, vereda San Juanito y en ambas vertientes del río Fraile, frente a su confluencia con el Santa Bárbara. En el caso de la vereda San Juanito se trata de la insistencia de mantener parcelas de cultivos adyacentes a focos erosivos; en los casos restantes hay parcelas similares sobre terrenos colinados severamente afectados por erosión laminar.

La situación UI/AT se refiere a la ocupación en infraestructura urbana por parte de los cascos de los municipios de Florida y Pradera sobre los dominios históricos del área de influencia de los ríos Fraile y Bolo respectivamente.

2.4.6.2 Conflicto de uso de grado medio.

Como su nombre lo indica, el uso actual del suelo es parcialmente adecuado; sin embargo presenta actividades que no armonizan con los requerimientos de aptitud de las tierras, causando cambios en la estructura y estabilidad de los suelos. Corresponden a un área de 1166.23 Has (5.56%) en la cuenca del río Bolo y 228.46 Has (1.08%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.6.2.1 Situación ambiental de las áreas en conflicto medio

Las tierras de vocación pastoril (PA) tropical a andina se hallan en cultivos permanentes, probablemente café, en inmediaciones de La Diana, en la vereda Los Negros, cabeceras de la quebrada del mismo nombre en el municipio de Florida y en la Inspección El Nogal, por el camino que conduce a la vereda La Fría en el municipio de Pradera. La ausencia de sombrío para café hace muy inferiores sus condiciones de protección en ladera frente a la que brindan los potreros limpios o enmalezados. Este conflicto se identifica como **CP/PA**.

Las laderas que deben permanecer en rastrojos (RA) por tratarse de flancos de montaña de máximas pendientes, están abusivamente siendo explotadas con ganadería extensiva (**PA/RA**) y /o cultivos permanentes (**CP/RA**) en la cuenca media del río Bolo Blanco, en la Inspección de El Retiro, municipio de Pradera, en la cuenca media a baja del Santa Bárbara, en la cuenca media del río Fraile y de manera especial, dada la enorme extensión, por los cañones y gargantas del río Bolo Azul.

De igual manera, superficies quebradas o colinadas cuyas características físicas exigen el grado de protección del cultivo permanente (CP) se aprecian en la cuenca media del río Bolo Blanco, en la cabecera de la vereda La Carbonera, municipio de Pradera y en la cuenca alta del río Santa Bárbara donde equivocadamente se establecieron bosques productores (**BL/CP**) y en cercanías de la confluencia Fraile - Santa Bárbara donde un área degradada ha de ser tratada con pasto de corte (**AD/CP**).

2.4.6.3 Conflicto de uso de grado bajo.

Aunque en algunos casos, más que asuntos de estabilidad, estas unidades pudieran remitir a situaciones de subutilización, se considera necesario registrarlas así sea a título de mínima discusión. Corresponde a un área de 41.57 Has (0.20%) en la cuenca del río Bolo y a 61.38 Has (0.29%) en la cuenca del río Fraile.

2.4.6.3.1 Situación ambiental de las áreas en conflicto bajo

Probablemente a los suelos reptantes de La Diana, actualmente bajo guayabales, les convenga mejor la estabilidad que les proporcionaría un bosque de coníferas (**CP/BI**), una vez realizada la adecuación que el suelo requiere. Ubicación conveniente para bosque productor son las laderas de la vertiente derecha de la quebrada La Leona, afluente del Bolo en su curso inferior y los abanicos de piedemonte frente a Florida (**CP/BI**).

Suelos fértiles de pendientes suaves entre El Retiro y La Feria, municipio de Pradera y al Oriente de Lomitas, actualmente en bosques comerciales, deberían ser cambiados a cultivos temporales (**BL/CT**) para evitar la presión sobre laderas más empinadas adyacentes.

CP/UI señala las áreas que deben adicionarse a los cascos urbanos en compensación por las

que pierden en virtud del conflicto UI/AT citado al final del numeral 2.4.6 1. (Conflicto de uso alto).

2.4.6.4 Areas sin conflicto de uso

Estas áreas no tienen limitaciones para su uso, o son muy pocas, y pueden ser utilizados sin problemas en la mayoría de sus usos actuales propios de la región; no obstante para evitar la degradación de los suelos, se deben establecer prácticas normales de manejo y conservación.

Las áreas sin conflicto de uso abarcan una superficie de 17319.74 Has (82.46%) en la cuenca del río Bolo y de 19170.32 Has (90.74%) en la cuenca del río Fraile.

3 ZONIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR REMOCION EN MASA

El término Susceptibilidad a procesos de remoción en masa, se define como el grado de fragilidad o propensión de un terreno a generar procesos de este tipo, a partir de la evaluación de las características físicas intrínsecas y ambientales que este posee.

Poco tiempo atrás, los estudios de susceptibilidad, se realizaban por el método observacional integrado por medio de la fotointerpretación y levantamientos de campo, sin embargo cuando se hace necesario además de lo anterior, analizar y combinar las características intrínsecas del terreno como las pendientes, geomorfología, comportamiento geomecánico, etc, se requiere de sistemas de información geográfica para modelar en forma rápida y precisa estos factores.

Existen diferentes técnicas de evaluación de susceptibilidad y amenaza relativa, entre las que se cuenta la semicuantitativa (heurística) y la estadística.

En la semicuantitativa, los factores de inestabilidad son calificados, según el criterio del investigador, de acuerdo con la importancia en la generación de procesos de remoción en masa, como en el método de Ramirez (1988) y Ramirez y Gonzalez, (1989).

En la estadística (o probabilística), cada factor intrínseco, es valorado en el SIG, con base en la distribución areal de deslizamientos activos y antiguos, respecto del área total involucrada, (Carrara, 1993; Van Westen, 1993; Rengers y otros, 1992).

De acuerdo con las características del terreno, se aplicó en este estudio, una evaluación cuantitativa estadística que determina el peso o fragilidad de cada unidad de terreno frente a la generación de procesos de remoción en masa, considerando cuatro tipos básicos: Flujos de suelo, flujos de detritos, deslizamientos y reptación. Los factores del terreno considerados para el modelamiento en el SIG fueron: Ingeniería Geológica, Pendientes, Geomorfología y Conflictos de uso del suelo

En este capítulo, se hace una descripción del método empleado, se discute su precisión y se presentan los resultados obtenidos.

3.1 METODOLOGIA

Para zonificar la susceptibilidad de los terrenos a los procesos de remoción en masa, se evaluaron varios métodos realizados por el INGEOMINAS en estudios anteriores y propuestos por varios autores. De acuerdo con las características intrínsecas de los terrenos y la variedad, distribución y densidad de movimientos en masa presentes, se determinó que el método más adecuado a aplicar es el propuesto por Vargas G. (1994). Este método utiliza los sistemas de información geográfica S.I.G ya que permiten la entrada, almacenamiento, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptivos) de acuerdo con las especificaciones y requerimientos. Para utilizar este modelo se siguen tres etapas:

1. Cartografía digital en ARCAD-ARC INFO para la obtención de los diferentes mapas índice (Ingeniería geológica, pendientes, geomorfología, conflicto de uso del suelo).
2. Análisis digital estadístico que permite determinar cuantitativamente, el “peso” o relación de cada unidad de terreno (en cada mapa), con relación a cada tipo de deslizamiento.
3. Obtención de los diferentes mapas digitales que representan la susceptibilidad de cada unidad del terreno y finalmente la sumatoria de cada uno de estos, para obtener la susceptibilidad total del terreno.

3.1.1 Análisis Estadístico.

Este método de zonificación de susceptibilidad se fundamenta principalmente en la identificación y determinación del grado de influencia de las diferentes variables geoambientales o factores intrínsecos del terreno en la formación de movimientos en masa pasados.

El grado de influencia de los factores intrínsecos del terreno es medido por la relación de densidad de la superficie acumulada de movimientos en masa tipo por la superficie acumulada de una misma unidad cartográfica de parámetro (UCP) así:

$$W\% = \frac{DZX}{S} * 100 \text{ donde:}$$

W=Peso o grado de influencia de la UPC

DZX=Superficie acumulada de movimiento en masa de tipo X

S=Superficie total acumulada de la UCP

Para aplicar este método de análisis, se evalúa cada uno de los mapas producto: Ingeniería geológica, pendientes, conflictos de uso de los suelos y geomorfología con cada uno de los tipos de movimientos en masa definidos (mapa de densidad de procesos): tipo 1 flujo de detritos, tipo 2 flujo de suelos y tipo 3 deslizamientos.

Este cruce por separado se fundamenta en que el mecanismo de ruptura e influencia de cada UCP es diferente para cada proceso. El cruce de cada una de las variables de terreno con la variable independiente morfodinámica representa un análisis estadístico univariado.

De esta forma se determina el “W” de cada UCP por tipo de movimiento (**tablas 3.1-3.4**). Una vez establecida esta relación se recodifican los valores iniciales de las UCP en terminos de susceptibilidad siguiendo los intervalos presentados en la **tabla 3.5**.

Para definir estos rangos, se realizó un análisis de dispersión para todos los mapas índice según el tipo de proceso, obteniéndose seis categorías o grados de susceptibilidad desde nula a muy alta.

Como un ejemplo se puede mencionar la unidad DP (plano denudacional en el mapa geomorfológico) que tiene un valor de 0.11 de susceptibilidad para el proceso tipo 1. En este caso, el número entero correspondiente es el 1 y el grado de susceptibilidad es Nula a Baja (**Tabla 3.1**).

En las **Figuras 3.1 a 3.4** se presentan los mapas de susceptibilidad hacia los tres tipos de procesos, de los cuatro parámetros de estudio: geomorfología, Pendientes, ingeniería geológica, y conflictos de uso del suelo.

Una vez obtenidos los mapas de susceptibilidad específicos a los tres tipos de procesos, se realizan los mapas de susceptibilidad del terreno. Este se obtiene mediante la adición de todos los mapas anteriores. Para este caso, los cuatro mapas de entrada, tienen valores de 1 a 6 generando un mapa con rango de números multiplos de 4 (de 4 a 24).

El mapa de susceptibilidad del terreno específico a un proceso, se realiza recodificando el mapa en seis categorías. Por ejemplo los valores menores que 4, se recodifican con el valor de uno (categoría nula), los valores entre 4 y 8 se recodifican con 2 (baja); entre 8 y 16 (media baja); entre 16 y 20 (media alta); entre 20 y 24 (alta); y mayores de 24 (muy alta). En las **Figuras 3.5 a 3.7**, se presentan los mapas de susceptibilidad del terreno hacia los procesos tipo 1, 2 y 3.

| Código | UNIDAD | No de ocurrencias | Superficie Total/ Unidad Geomorfológica | Superficie acumulada de procesos por unidad Geomorfológica | | | Susceptibilidad o 'peso de las unidades geomorfológicas a los procesos de remoción | | | Grado de susceptibilidad para cada unidad geomorfológica | | | |
|------------------------------------|--------|-------------------|---|--|-------------|-------------|--|-----------------------|-----------------------|--|--------|--------|--|
| | | | | Tipo 1 (HA) | Tipo 2 (HA) | Tipo 3 (HA) | Tipo 1 Flujo de Detritos | Tipo 2 Flujo de Suelo | Tipo 3 Deslizamientos | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | |
| 1 | Dp | 72 | 1794.5 | 1.95 | 39.89 | 5.82 | 0.11 | 2.22 | 0.32 | 1 | 5 | 2 | |
| 2 | Dd | 67 | 2403 | 9.7 | 26.93 | 2.22 | 0.40 | 1.12 | 0.09 | 2 | 4 | 1 | |
| 3 | Gt | 11 | 1296.09 | | 10.26 | | 0.00 | 0.79 | 0.00 | 1 | 3 | 1 | |
| 5 | Ds | 46 | 1182.75 | 0.14 | 99.64 | 5.55 | 0.01 | 8.42 | 0.47 | 1 | 6 | 2 | |
| 6 | Di | 410 | 8596.7 | 43.1 | 567.2 | 76.07 | 0.50 | 6.60 | 0.88 | 2 | 6 | 3 | |
| 7 | Se | 27 | 1596.41 | | 3.35 | | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | Sc | 152 | 4859.75 | 7.82 | 275.59 | 18.58 | 0.16 | 5.67 | 0.38 | 1 | 6 | 2 | |
| 9 | Sm | 110 | 5579.87 | 2.67 | 373 | 12.94 | 0.05 | 6.68 | 0.23 | 1 | 6 | 1 | |
| 10 | Sf | 24 | 394.8 | 0.25 | 6.35 | 0.1 | 0.06 | 1.61 | 0.03 | 1 | 4 | 1 | |
| 11 | Sd | 5 | 105.49 | | 18.78 | | 0.00 | 17.80 | 0.00 | 1 | 6 | 1 | |
| 15 | Sco | 23 | 630.16 | 1.46 | 2.89 | 0.03 | 0.23 | 0.46 | 0.00 | 1 | 2 | 1 | |
| 16 | Fi | 45 | 1669.55 | 2.38 | 27.6 | 4.2 | 0.14 | 1.65 | 0.25 | 1 | 4 | 1 | |
| 17 | Fb | 34 | 213.37 | 0.29 | 14.14 | 0.04 | 0.14 | 6.63 | 0.02 | 1 | 6 | 1 | |
| 18 | Fm | 48 | 671.04 | | 10.42 | 8.74 | 0.00 | 1.55 | 1.30 | 1 | 4 | 4 | |
| 19 | Fa | 8 | 164.04 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 20 | Fc | 7 | 2619.16 | | 5.42 | | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 21 | Fi | 12 | 7174.51 | | 2.23 | | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 22 | Gm | 19 | 734.58 | | 14.84 | | 0.00 | 2.02 | 0.00 | 1 | 5 | 1 | |
| 23 | Gd | 33 | 719.24 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 24 | Gp | 48 | 1117.73 | | 2.96 | | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 1 | 2 | 1 | |
| 25 | CA | 2 | 48.98 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 26 | Dn | 3 | 140.81 | | 3.27 | | 0.00 | 2.32 | 0.00 | 1 | 5 | 1 | |
| TOTAL | | | | | 9279% | 1771.93 | 145.89 | | | | | | |
| Total Area | | | | 51190.37 | | | | | | | | | |
| Total Area de Procesos de Remoción | | | | 2499.67 | | | | | | | | | |
| | | | | 100% | | | | | | | | | |
| | | | | 100% | | | | | | | | | |

Tabla 3.1 Cálculo estadístico del peso o susceptibilidad de las unidades morfológicas hacia los procesos de remoción en masa.

| Código | Tipo de pendiente | No de ocurrencias | Superficie Total/ Unidad de pendiente | Superficie acumulada de procesos por unidad de pendiente | | | Susceptibilidad o "peso de las unidades de pendientes a los procesos de remoción | | | Grado de susceptibilidad para cada unidad de pendientes | | |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|--|-------------|-------------|--|-----------------------|-----------------------|---|--------|--------|
| | | | | Tipo 1 (HA) | Tipo 2 (HA) | Tipo 3 (HA) | Tipo 1 Flujo de Derritos | Tipo 2 Flujo de Suelo | Tipo 3 Deslizamientos | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 |
| 1 | < 5° | 59 | 11709.23 | | 10.2621 | 2.07476 | 0.00 | 0.09 | 0.02 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 5°-15° | 440 | 6541.66 | 3.94545 | 143.511 | 7.86322 | 0.06 | 2.19 | 0.12 | 1 | 5 | 1 |
| 3 | 16°-30° | 497 | 7054.58 | 23.2461 | 116.192 | 24.9803 | 0.33 | 1.65 | 0.35 | 2 | 4 | 2 |
| 4 | 31°-45° | 464 | 18123.12 | 49.8746 | 862.766 | 61.563 | 0.28 | 4.76 | 0.34 | 2 | 6 | 2 |
| 5 | > 45° | 428 | 7760.89 | 15.7185 | 638.931 | 49.41 | 0.20 | 8.23 | 0.64 | 1 | 6 | 3 |
| TOTAL | | | | 51189.48 | 1,771.7 | 145.89128 | | | | | | |
| Total Area | | | | 51189.48 | 100% | | | | | | | |
| Total Area de Procesos de Remoción | | | | 2499.67 | 100% | | | | | | | |

Tabla 3.2 Cálculo estadístico de los tipos de pendientes hacia los procesos de remoción en masa.

| Código | UNIDAD | No de ocurrencias | Superficie acumulada de procesos por unidad de Ingeniería | | | Susceptibilidad o "peso de las utilidades de Ingeniería a los procesos de remoción en masa | | | Grado de susceptibilidad para cada unidad de Ingeniería | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-------------------|---|-------------|-------------|--|--------------------------|-----------------------|---|--------|--------|--------|--|
| | | | Superficie Total/ Unidad de Ingeniería | Tipo 1 (HA) | Tipo 2 (HA) | Tipo 3 (HA) | Tipo 1 Flujo de Defectos | Tipo 2 Flujo de Suato | Tipo 3 Desastres | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | |
| 1 | Rac2(6) | 124 | 4127.79 | | 527.6 | 25.44 | 0.00 | 12.78 | 0.62 | 1 | 6 | 3 | |
| 2 | Qca4 | 8 | 277.74 | | 3.37 | | 0.00 | 1.21 | 0.00 | 1 | 4 | 1 | |
| 3 | Rmd2(6) | 102 | 7546.6 | | 295.54 | 11.69 | 0.00 | 3.92 | 0.15 | 1 | 5 | 1 | |
| 4 | Qca2 | 10 | 7648.41 | | 5.45 | | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 5 | Rac5(6) | 37 | 3426.95 | 6.47 | 29.2 | 5.53 | 0.19 | 0.85 | 0.16 | 1 | 3 | 1 | |
| 6 | Rm6(5) | 15 | 614.67 | | 13.55 | 8.03 | 0.0 | 2.21 | 1.31 | 1 | 5 | 4 | |
| 7 | Qca1 | 11 | 262.5 | 1.92 | | | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 3 | 1 | 1 | |
| 8 | Rmd2,3(3) | 22 | 2441.64 | 20.84 | 42.78 | 5.43 | 0.85 | 1.75 | 0.22 | 3 | 4 | 1 | |
| 9 | Rmd5(3) | 26 | 642.39 | 10.13 | 12.57 | 3.07 | 1.85 | 1.96 | 0.48 | 4 | 4 | 2 | |
| 10 | Rmd2,3(4) | 38 | 1806.56 | 2.33 | 56.23 | | 0.15 | 3.50 | 0.00 | 1 | 5 | 1 | |
| 11 | Sr | 55 | 1064.19 | | 26.59 | 2.48 | 0.00 | 2.50 | 0.23 | 1 | 5 | 1 | |
| 12 | Qca3 | 33 | 2590.84 | | 7.91 | 6.83 | 0.00 | 0.31 | 0.26 | 1 | 2 | 2 | |
| 13 | Sla | 8 | 403.21 | | 2.8 | | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 1 | 3 | 1 | |
| 14 | Sco1 | 168 | 4412.05 | 35.21 | 125.04 | 32.59 | 0.80 | 2.83 | 0.74 | 3 | 5 | 3 | |
| 15 | Sco3 | 72 | 1600.68 | 7.64 | 49.82 | 0.52 | 0.48 | 3.11 | 0.03 | 2 | 5 | 1 | |
| 16 | Sco2 | 159 | 3074.65 | | 397.83 | 34.21 | 0.00 | 12.94 | 1.11 | 1 | 6 | 4 | |
| 17 | Smo | 21 | 775.8 | | 13.85 | | 0.00 | 1.79 | 0.00 | 1 | 4 | 1 | |
| 18 | Cuerpos de agua | 9 | 92.31 | | 0.01 | | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 19 | RBm1 | 2 | 552.59 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | 1 | |
| 20 | Al | 29 | 1667.6 | 2.38 | 26.34 | 4.19 | 0.14 | 1.58 | 0.25 | 1 | 4 | 1 | |
| 21 | Rac5(4) | 51 | 1122.8 | 1.077 | 49 | 2.81 | 0.10 | 4.34 | 0.25 | 1 | 6 | 1 | |
| 22 | Rac5(3) | 26 | 642.39 | 4.79 | 28.02 | 0.08 | 0.75 | 4.36 | 0.01 | 3 | 6 | 1 | |
| 23 | Sla | 64 | 3105.85 | | 16.55 | | 0.00 | 0.53 | 0.00 | 1 | 3 | 1 | |
| 24 | Rmd2,3(2) | 14 | 211.61 | | 4.26 | | 0.00 | 2.01 | 0.00 | 1 | 5 | 1 | |
| 25 | Rac5(2) | 42 | 830.39 | 0.01 | 37.24 | 2.96 | 0.00 | 4.48 | 0.36 | 1 | 6 | 2 | |
| TOTAL | | | | | 1771.92 | 145.89 | | | | | | | |
| Total Area | | | | 92.79 | | | | | | | | | |
| Total Area de Procesos de Remocion | | | | 100% | | | | | | | | | |
| | | | | 100% | | | | | | | | | |

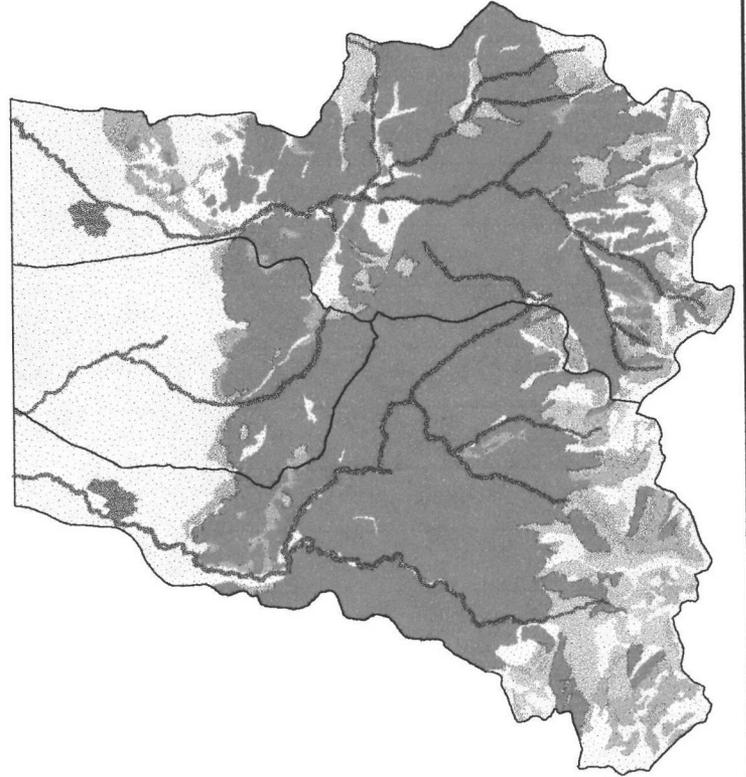
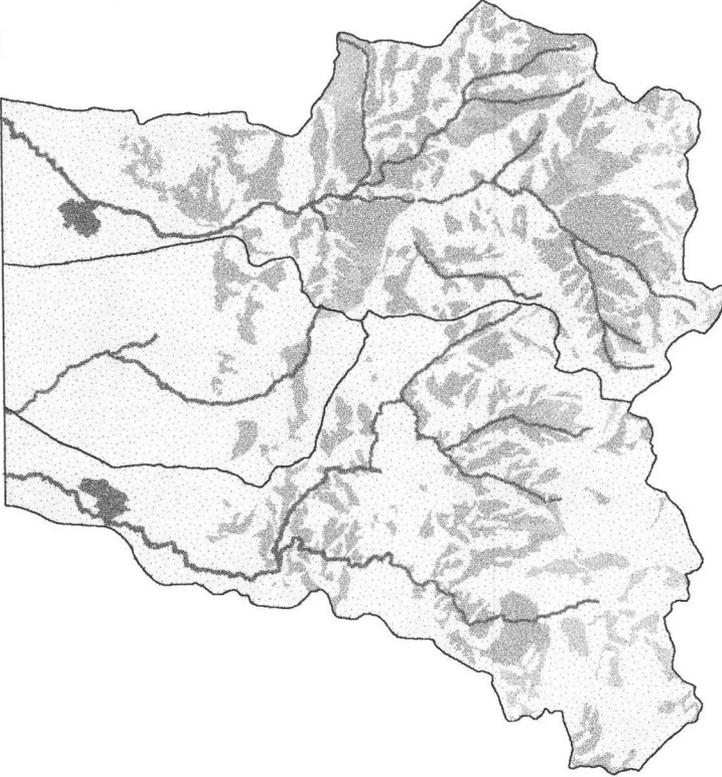
Tabla 3.3 Cálculo estadístico del peso de las unidades de Ingeniería hacia los procesos de remoción en masa.

| Código | UNIDAD | No de ocurrencias | Superficie Total/ Unidad de conflicto | Superficie acumulada de procesos por unidad de conflicto de uso | | | Susceptibilidad * peso de las unidades Morfológicas a los procesos de remoción en masa | | | Grado de susceptibilidad para cada unidad de conflicto. | | |
|------------------------------------|--------|----------------------|--|--|----------------|----------------|---|--------|--------|--|--------|--------|
| | | | | Tipo 1 (HA) | Tipo 2 (HA) | Tipo 3 (HA) | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 |
| 1 | ALTO | 283 | 4785.25 | 20.74 | 250.4 | 13.91 | 0.43 | 5.23 | 0.29 | 2 | 6 | 2 |
| 2 | MEDIO | 58 | 1434.36 | 3.97 | 56.85 | | 0.28 | 3.96 | 0.00 | 2 | 5 | 1 |
| 3 | BAJO | 15 | 126.07 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | SIN | 250 | 44843.98 | 68.08 | 1464.42 | | 0.15 | 3.27 | 0.00 | 1 | 1 | 1 |
| TOTAL | | | | 51189.67 | 1771.94 | 131.98 | 0.18 | 3.46 | 0.26 | | | |
| Total Area | | | | 51189.67 | 100% | 145.89 | | | | | | |
| Total Area de Procesos de Remoción | | | | 2485.77 | 100% | | | | | | | |

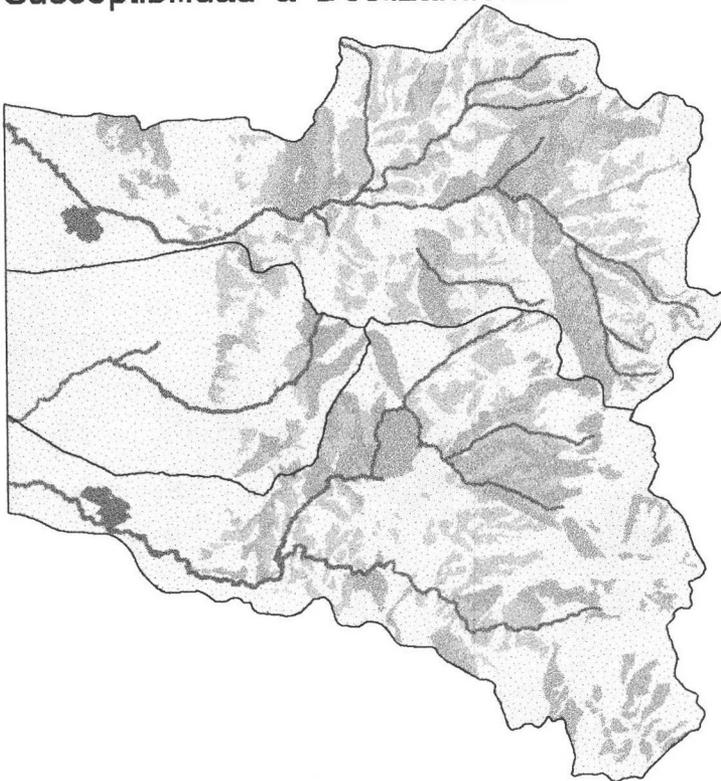
Tabla 3.4 Cálculo estadístico del peso de las unidades de conflicto de uso del suelo hacia los procesos de remoción en masa.

Susceptibilidad a Flujos de detritos

Susceptibilidad a Flujos de suelos



Susceptibilidad a Deslizamientos



GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD



Nula a muy baja



Baja



Media Baja



Media



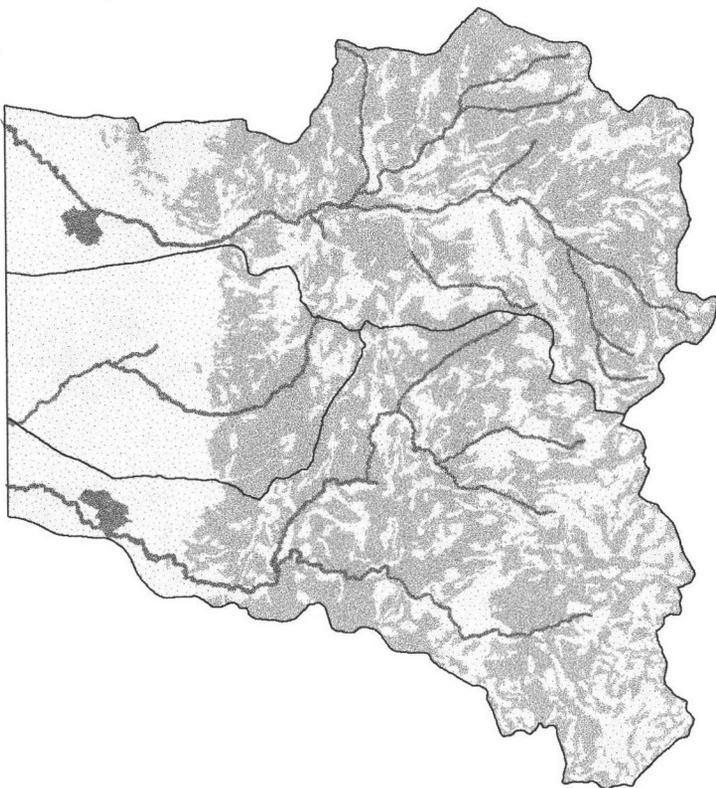
Alta



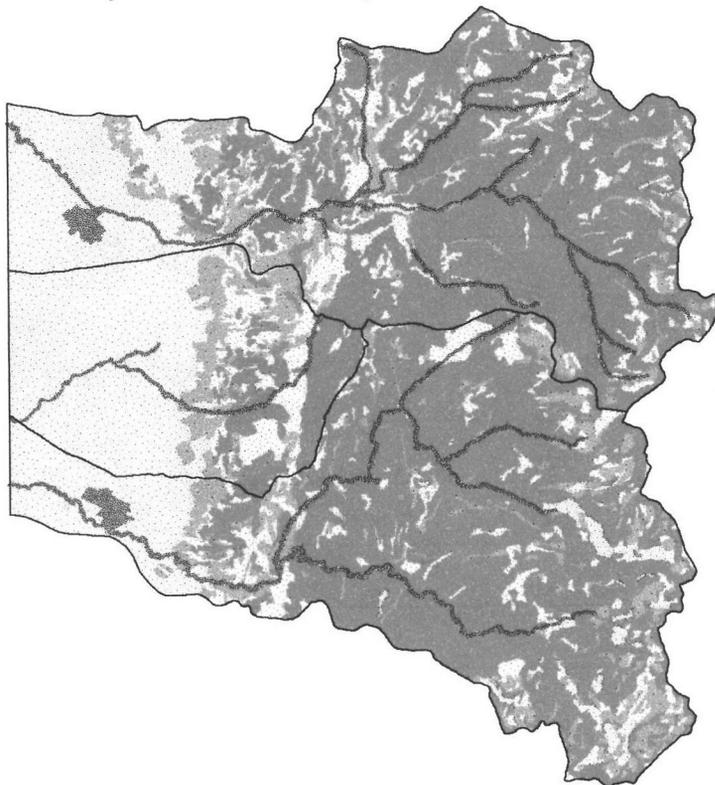
Muy Alta

Figura 3.1. Mapas de Susceptibilidad Geomorfológica a procesos de remoción en masa

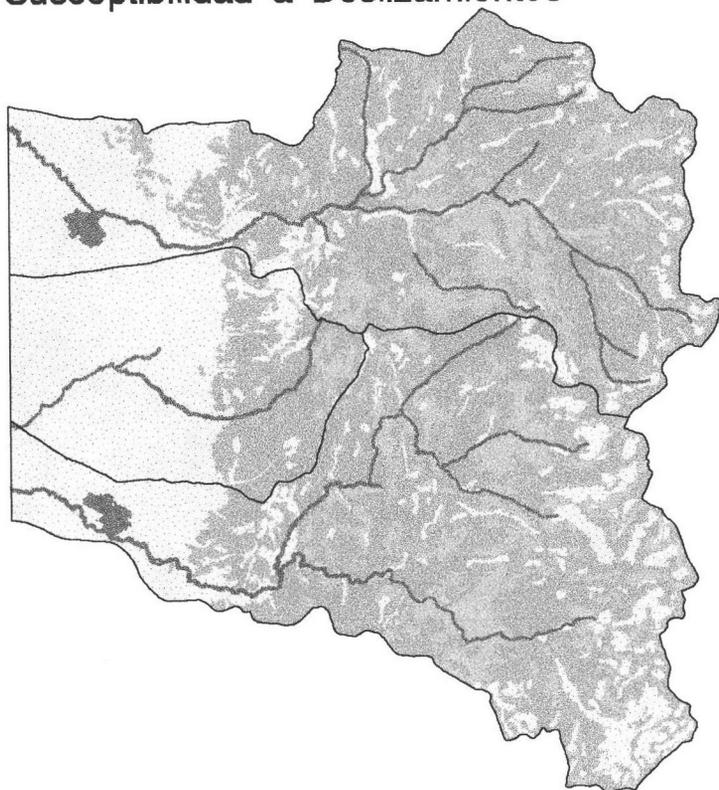
Susceptibilidad a Flujos de detritos



Susceptibilidad a Flujos de suelos



Susceptibilidad a Deslizamientos



GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

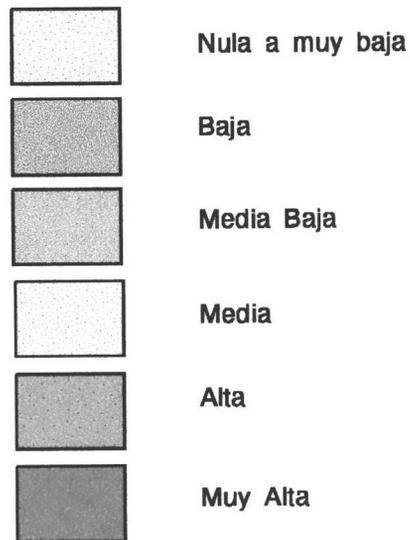
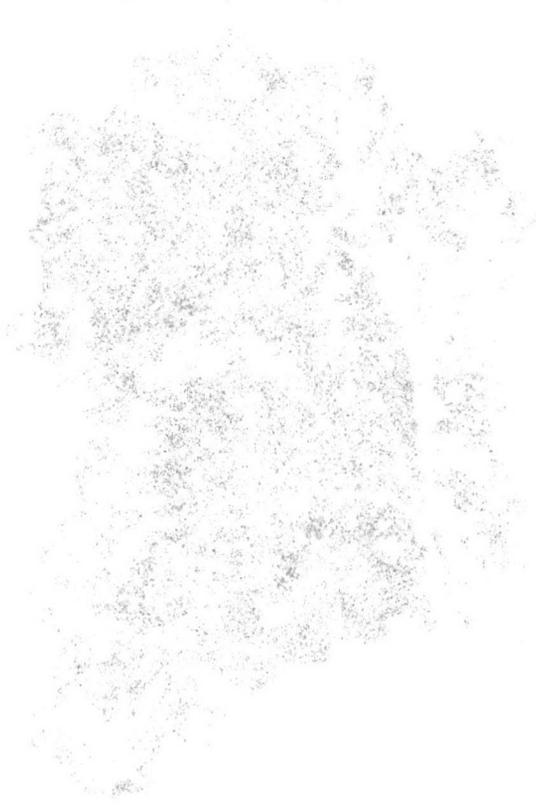
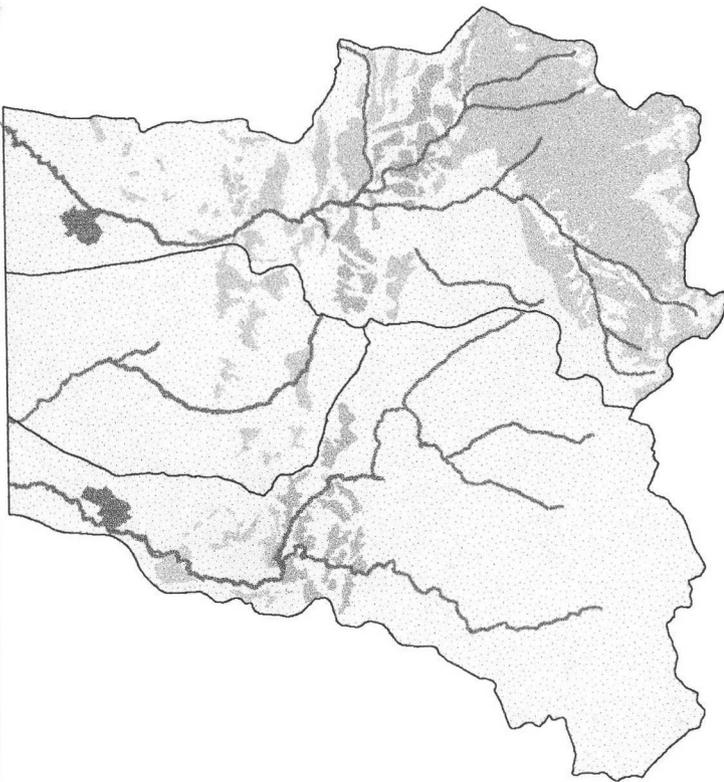


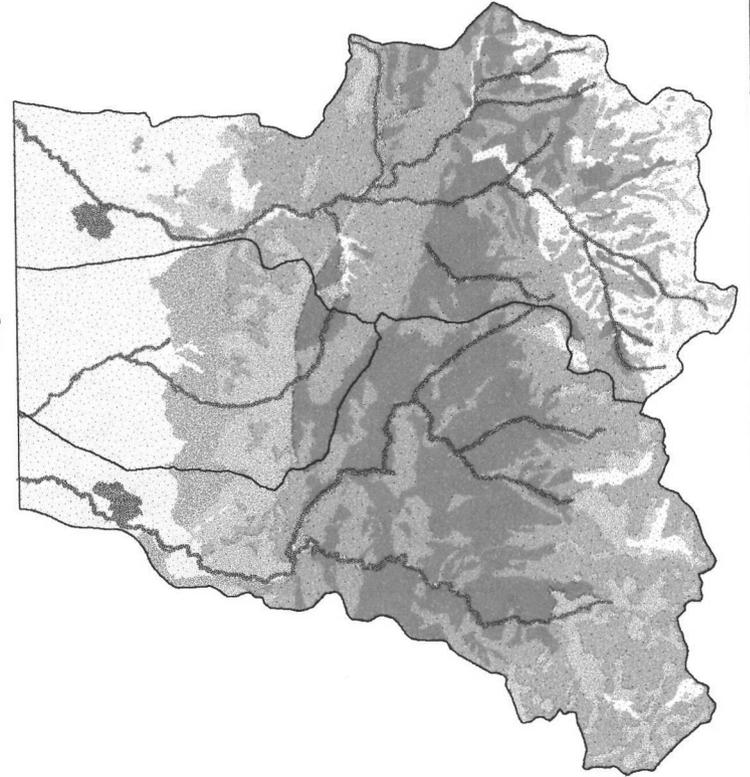
Figura 3.2. Mapas de Susceptibilidad de Pendientes a procesos de remocion en masa



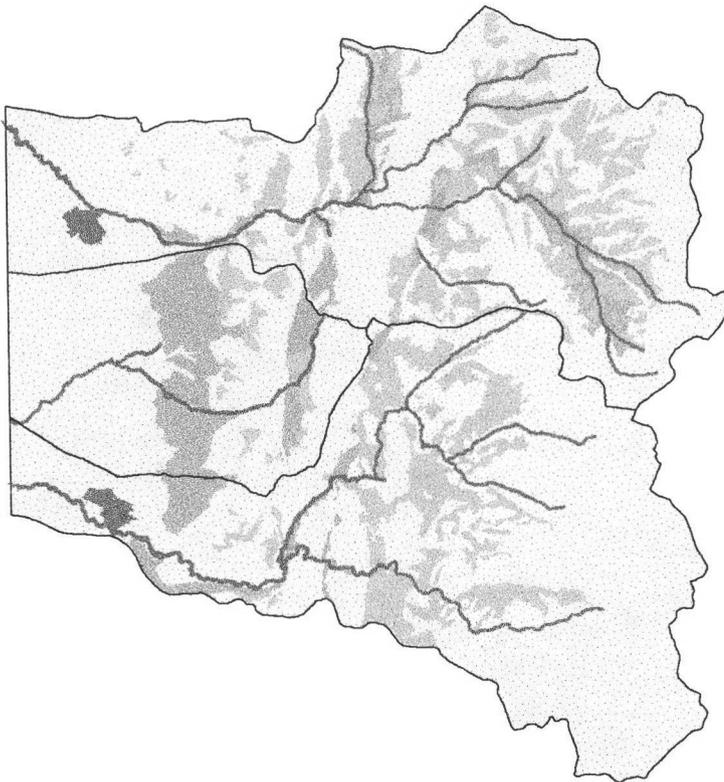
Susceptibilidad a Flujos de detritos



Susceptibilidad a Flujos de suelos



Susceptibilidad a Deslizamientos



GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

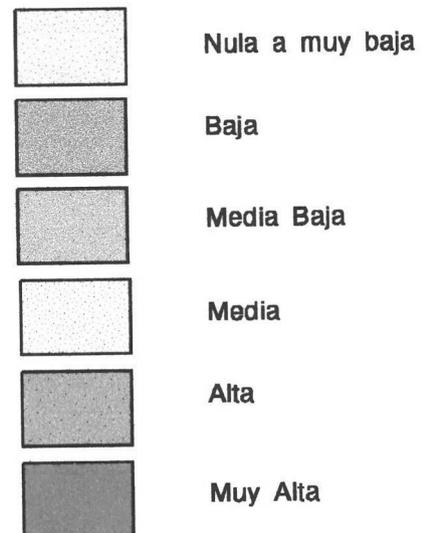
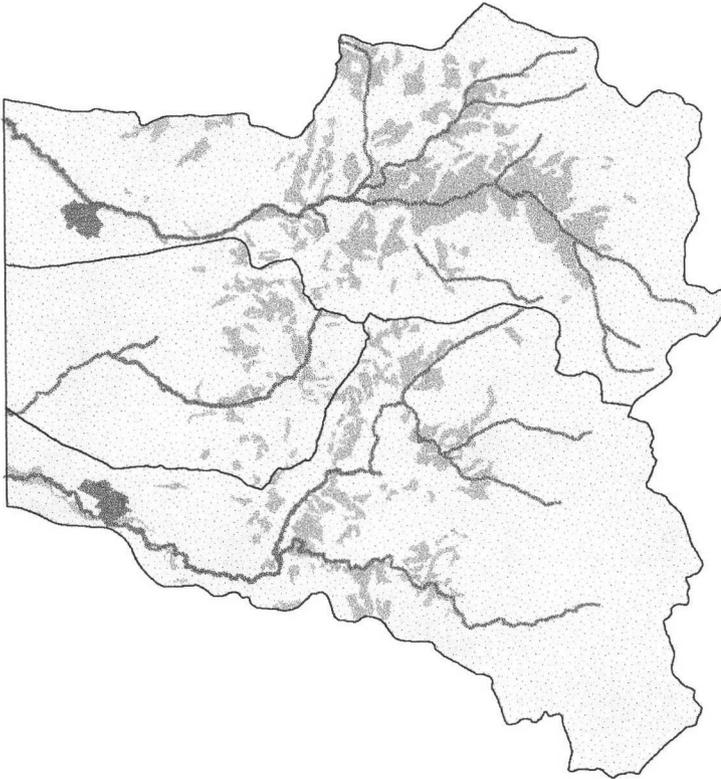
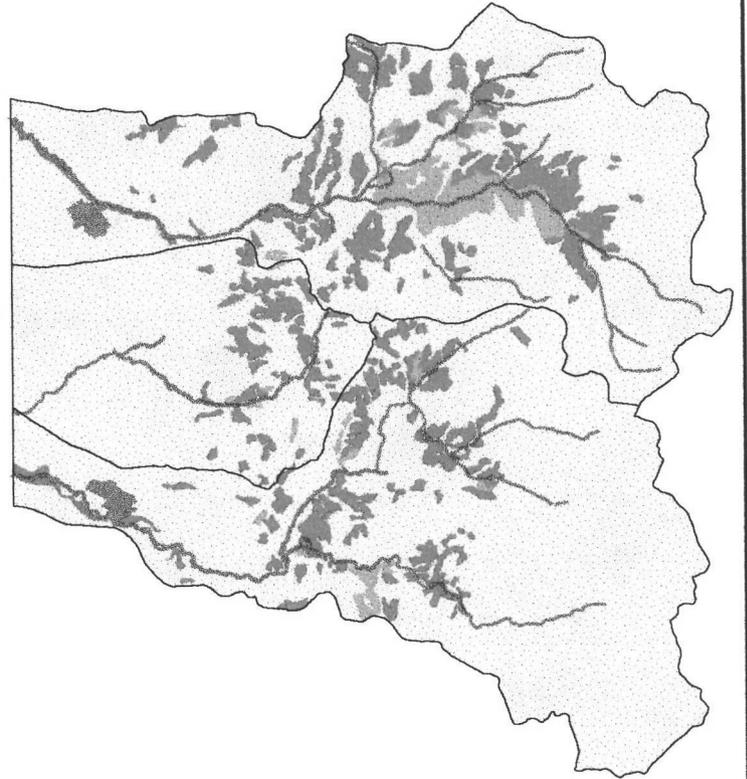


Figura 3.3. Mapas de Susceptibilidad de Ingenieria Geologica a procesos de remocion en masa

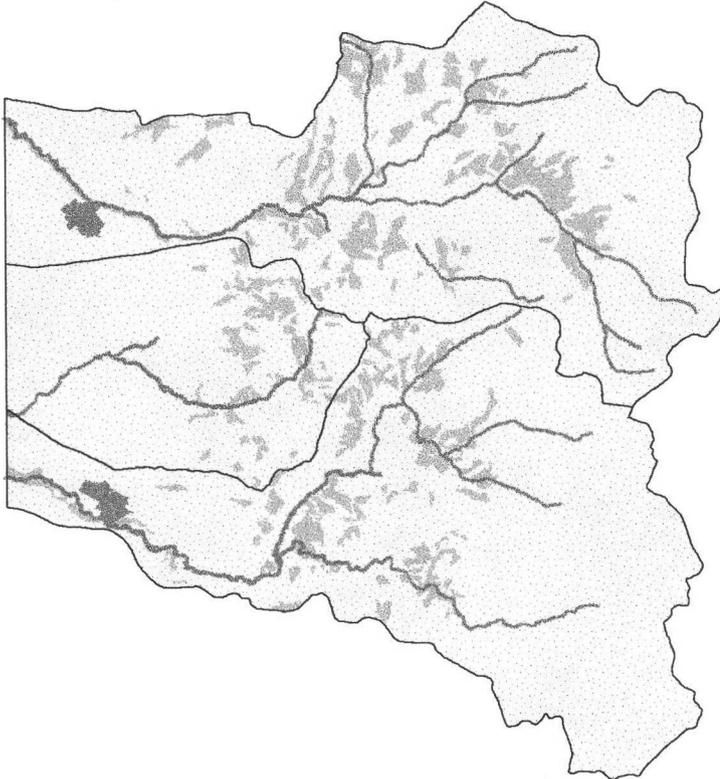
Susceptibilidad a Flujos de detritos



Susceptibilidad a Flujos de suelos



Susceptibilidad a Deslizamientos



GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

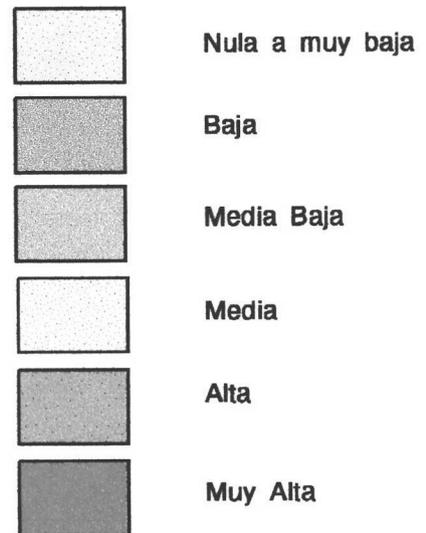


Figura 3.4. Mapas de Susceptibilidad de Conflictos de uso a procesos de remocion en masa

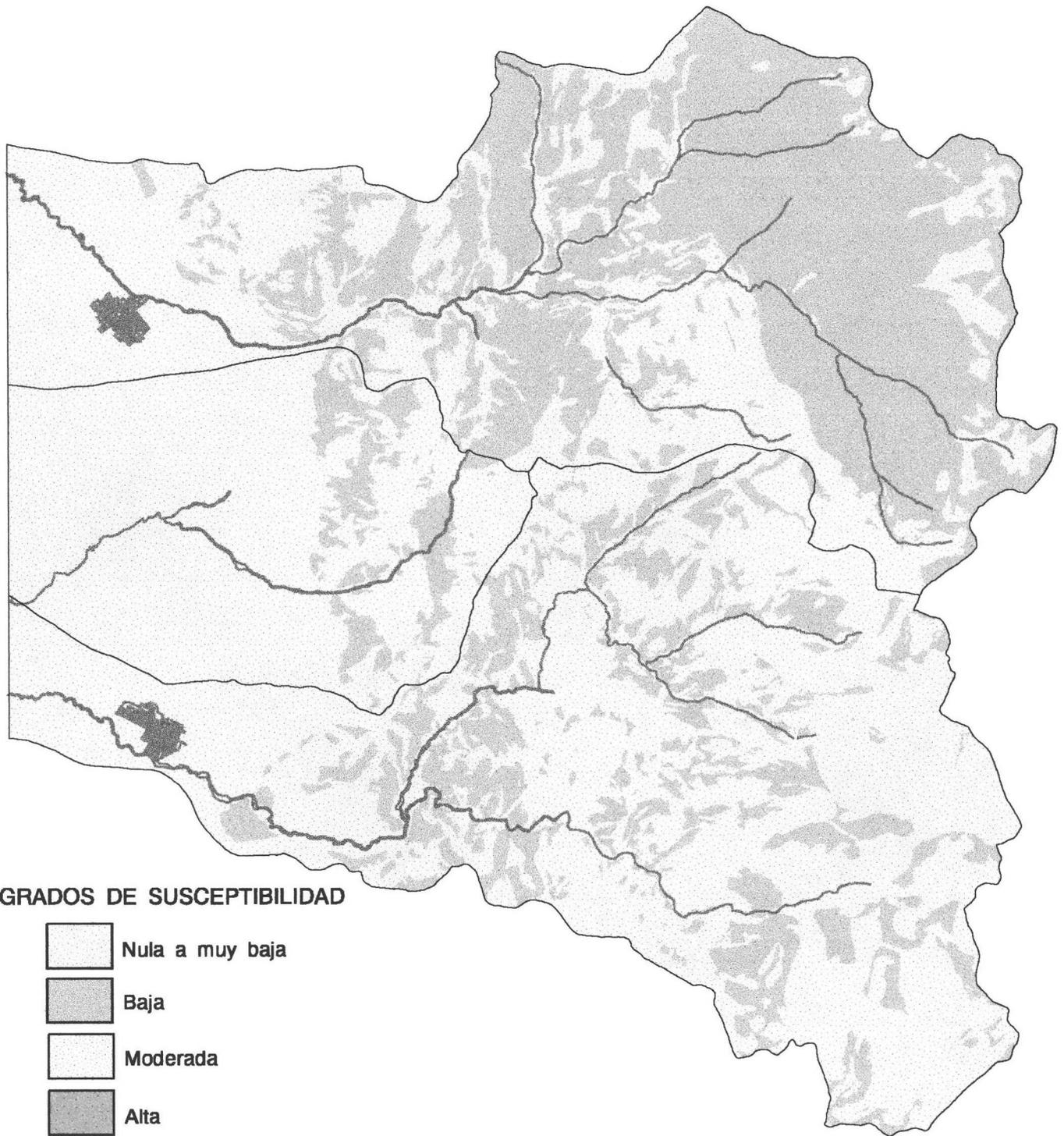
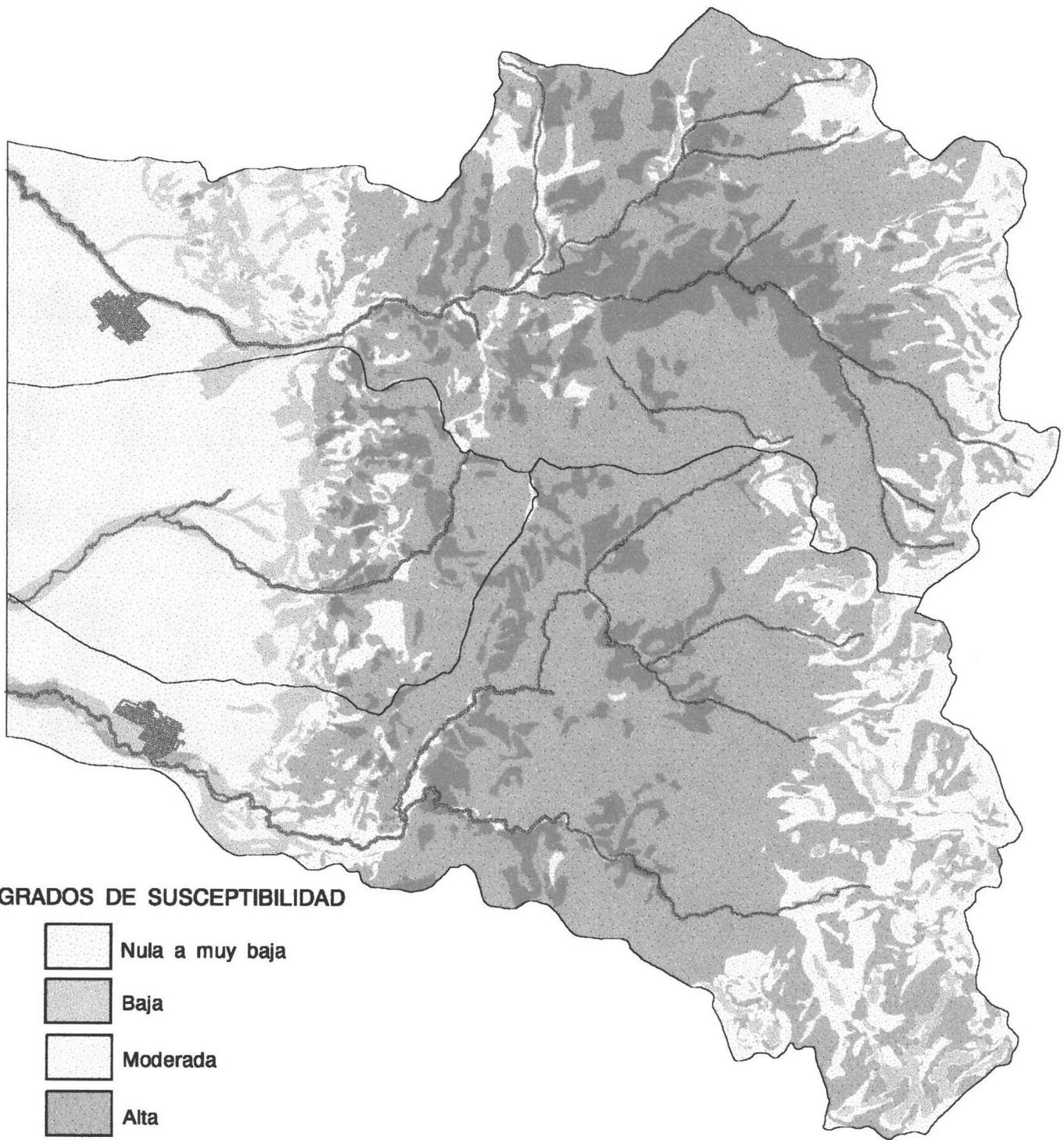


Figura 3.5. Mapa de Susceptibilidad total del terreno a Flujos de detritos.



GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

-  Nula a muy baja
-  Baja
-  Moderada
-  Alta
-  Muy alta

Figura 3.6. Mapa de Susceptibilidad total del terreno a Flujos de suelo

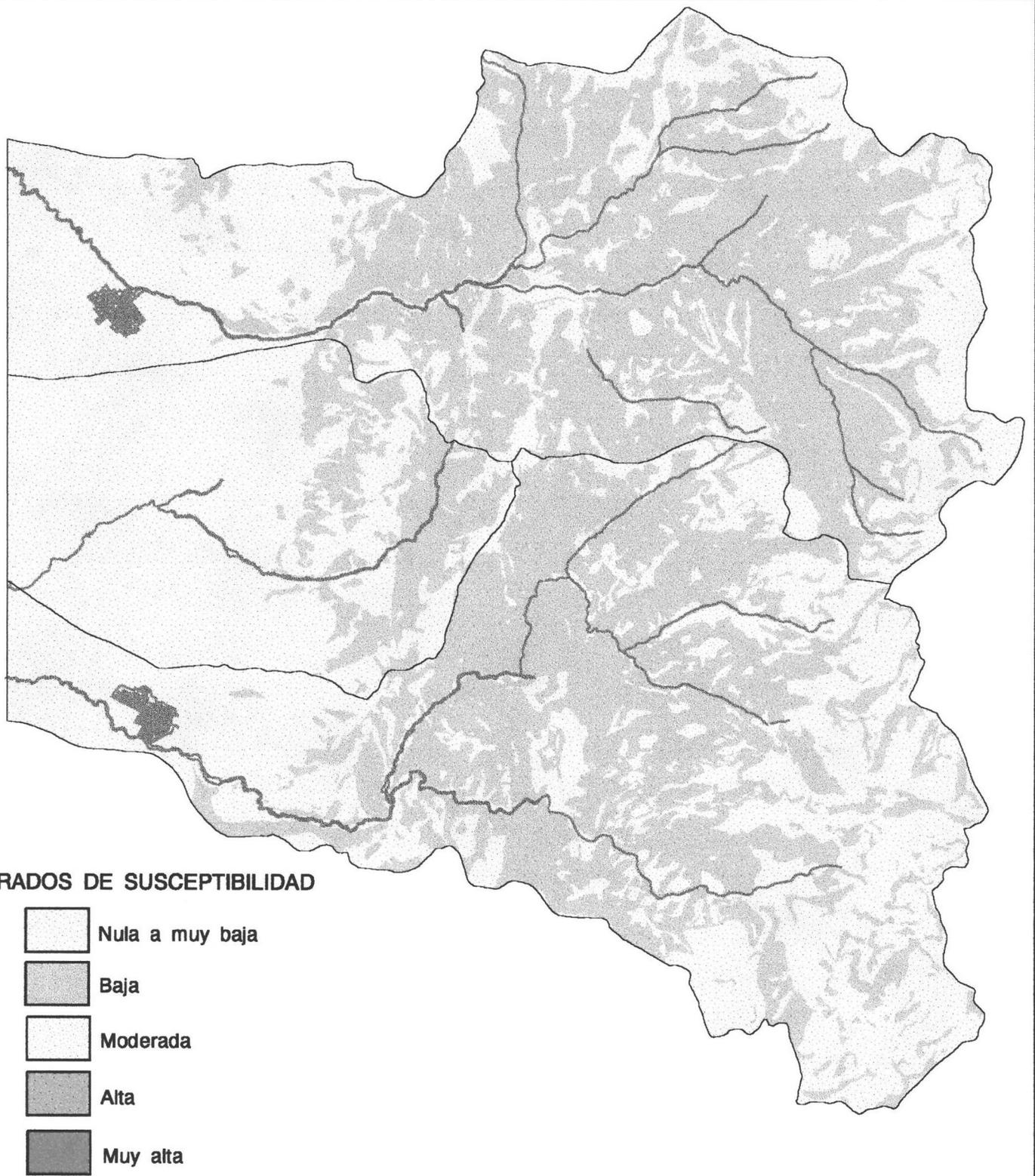


Figura 3.7. Mapa de Susceptibilidad total del terreno a Deslizamientos.

El mapa final de susceptibilidad que involucra todos los procesos de remoción en masa, se obtiene mediante el mismo proceso anterior de adición, (**Mapa 13**).

| VALOR | INTERVALO | CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-------|------------|------------------------------|
| 1 | < 0,25 | Nula a Muy Baja |
| 2 | 0,26 – 0,5 | Baja |
| 3 | 0,51 – 1 | Media Baja |
| 4 | 1.01 – 2 | Media Alta |
| 5 | 2,01 – 4 | Alta |
| 6 | > 4.01 | Muy alta |

Tabla 3.5 Categorías de Susceptibilidad

3.2 ANALISIS DE LOS PARAMETROS DEL TERRENO.

Los resultados de los diferentes pesos o susceptibilidad de cada unidad del terreno a generar deslizamientos, se presentan a continuación para cada mapa índice calificado.

3.2.1 Procesos de Remoción en masa.

Se agruparon las áreas afectadas por procesos de remoción en masa desde los relativamente antiguos (activos hasta 1962, tomados de la fotointerpretación morfodinámica multitemporal) hasta los recientes, incluidos los ocurridos el 31 de enero de 1994 y los del 20 de enero de 1997. Según la clasificación morfodinámica, se tienen para el modelamiento los siguientes tipos de procesos (**Mapa 7**):

Tipo 1: Flujos de detritos. Son comunes en zonas de falla que afectan rocas metamórficas del Paleozoico; ocupan un área de 81.59 Ha (0.39% del área total de la cuenca) en la cuenca del río Bolo. El área ocupada en la cuenca del río Fraile es de 11.21 Ha (0.05% del área total de la cuenca).

Tipo 2: Flujos de Suelo. Son los más numerosos y ampliamente distribuidos en las rocas ígneas del Batolito de Santa Bárbara; Ocupan un área de 500.16 Ha (2.39%) en el Bolo y 1169.17 Ha (5.53 %) en el Fraile.

Tipo 3: Deslizamientos. Son comunes en rocas ígneas meteorizadas del Batolito de Santa Bárbara y de las lavas basálticas, ocupando un área de 63.11 Ha (0.30%) para el Bolo y 70.82 Ha (0.34 %) para el Fraile.

3.2.2 Morfometría.

La alta distribución de las pendientes, especialmente las de inclinación mayor a 46° (ángulo crítico para los flujos de suelo), evidencian la alta incidencia que tienen las pendientes en el estudio de la susceptibilidad del terreno.

De esta forma el análisis estadístico muestra que la incidencia de la pendiente es muy alta en la probabilidad de ocurrencia de flujos de suelo (tipo 2) para pendientes mayores de 45° **Tabla 3.2** y **Figura 3.2**.

Al comparar las pendientes con los procesos tipo 1 (flujos de detritos) y tipo 3 (deslizamientos), se nota una moderada a baja influencia de las pendientes en la generación de estos tipos de procesos.

3.2.3 Ingeniería Geológica.

La distribución de unidades de ingeniería, evidencia una alta incidencia de la unidad Rmd5 (3), de esquistos moderadamente meteorizados con diaclasas estrechamente espaciadas, en la generación de flujos de detritos (tipo 1).

El análisis estadístico muestra una susceptibilidad muy alta a la generación de flujos de suelo (tipo 2), para todos los depósitos de suelos (Sco2) localizados sobre rocas alta a completamente meteorizadas del Batolito de Santa Bárbara (Rac2(6)).

Los deslizamientos presentan alta susceptibilidad a generarse en suelos derivados de rocas ígneas y en las lavas de la Formación Amaime. En las demás unidades la susceptibilidad es baja a nula.

3.2.4 Geomorfología.

Es de destacar la muy alta incidencia que tienen la mayoría de las unidades de geomorfología en la susceptibilidad del terreno a la generación de flujos. De otra parte el análisis estadístico muestra que existe, en general baja susceptibilidad de ocurrencia de los demás procesos de remoción en masa

3.2.5 Conflictos.

El análisis estadístico muestra que existe poca o ninguna influencia de la actividad humana en la generación de deslizamientos y flujos de detritos, talvez porque estos se originan

principalmente por factores intrínsecos del terreno.

Sin embargo, como es de esperarse, en todas aquellas zonas de alta pendiente, que son mal utilizadas o están en conflicto alto, la intervención humana, ha creado una alta a muy alta incidencia en la probabilidad de ocurrencia de flujos de suelo (tipo 2).

3.3 GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

El mapa de susceptibilidad final del terreno indica la probabilidad de ocurrencia de los tres tipos de procesos de remoción en masa teniendo en cuenta los cuatro factores intrínsecos del terreno involucrados (**Mapa 13**).

Las zonas homogéneas de susceptibilidad, representadas en grados o categorías se describen a continuación:

3.3.1 Muy Baja a Nula.

Corresponde a planicies y terrazas fluviales localizadas en la parte baja de las cuencas (Valle del río Cauca). Sobre ella se localizan las poblaciones de Florida y Pradera. Sus características intrínsecas de tipo geológico, geomorfológico y de uso del suelo, son tales que difícilmente crean las condiciones para la generación de procesos de remoción en masa.

3.3.2 Baja.

Corresponde a las colinas de piedemonte, localizadas al oriente de las cabeceras de Pradera y Florida, zonas de topografía ondulada de páramo, terrazas de valles fluviales intramontanos e interfluvios redondeados, poco sensibles a los procesos de remoción en masa, con presencia esporádica de deslizamientos y flujos de detritos.

3.3.3 Moderada.

Se localiza en la parte media baja a media alta de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, correspondiente a zonas de topografía montañosa con laderas inclinadas de 15° a 45°.

Geológicamente están conformadas por rocas metamórficas e ígneas intrusivas del paleozoico y depósitos de suelos coluviales. Caracterizadas por la presencia frecuente de flujos de suelo y de detritos de poca extensión y esporádicamente deslizamientos asociados a los depósitos coluviales.

3.3.4 Alta.

Son laderas inclinadas más de 25°, correspondientes a zonas de topografía montañosa,

localizadas en la parte media baja a media alta de las cuencas, conformadas por depósitos coluviales y rocas altamente fracturadas y meteorizadas, con presencia frecuente de flujos de suelo, detritos y deslizamientos.

Sobre ella en la cuenca del río Bolo se localizan las microcuencas de las quebradas El Retiro, Los Negros, El Paso, Los Tambos, El Silencio, La Cristalina y El río Bolo Blanco entre otros.

En la cuenca del río Fraile, las microcuencas de la quebrada La Esencial, Los Patos, la mayor parte del río Santa Bárbara, la quebrada San Antonio, parte alta de la quebrada Granates, etc.

3.3.5 Muy Alta.

Áreas de topografía montañosa con laderas inclinadas mayores a los 25°, localizadas en forma de áreas dispersas sobre laderas cercanas a cauces, compuestas principalmente por coluvios, rocas altamente fracturadas y meteorizadas, con regímenes de precipitación extremos. El área es altamente sensible a los procesos de remoción en masa con presencia de grandes flujos de suelo, detritos y deslizamientos.

Sobre ellas se localizan buena parte de las laderas del río Bolo Azul, incluyendo el sector donde se encuentra la escuela del mismo nombre, las veredas El Mirador, los Cebollales, El Corral, La Palmera, El Oriente; La quebrada La Maltina, etc.

En la cuenca del río Fraile Se incluye la quebrada Las Camelias, parte alta de la quebrada Granates, Veredas El respaldo, Normandia, La Ermita, La Camelia, etc.

4 ANALISIS DE LOS FACTORES DETONANTES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA

4.1 HIDROMETEOROLOGÍA

4.1.1 HIDROLOGIA DE LOS RIOS BOLO Y FRAILE.

El estudio hidrológico tiene como objetivo hacer una descripción hidroclimatológica de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, determinar el régimen de las lluvias medias y de corta duración, analizar la información disponible sobre caudales máximos, medios y mínimos y los generados durante las avenidas torrenciales, así como estimar las lluvias críticas detonantes de los procesos de remoción en masa.

4.1.2 INFORMACION ANALIZADA.

4.1.2.1 Cartografía.

En la CVC y en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se obtuvieron planos a escalas 1:25.000 y 1:50.000 , los cuales cubren completamente las hoyas vertientes de los ríos Bolo y Fraile desde su nacimiento hasta las cabeceras municipales de Pradera y Florida, respectivamente.

Sobre la cartografía 1:25.000 se delimitaron las cuencas vertientes de los ríos principales y sus tributarios más importantes, y se midieron las características morfométricas correspondientes.

Se determinaron 18 subcuencas en el río Bolo y 12 en el río Fraile, (**Figura 4.1.1**). En cada subcuenca se midieron las siguientes características:

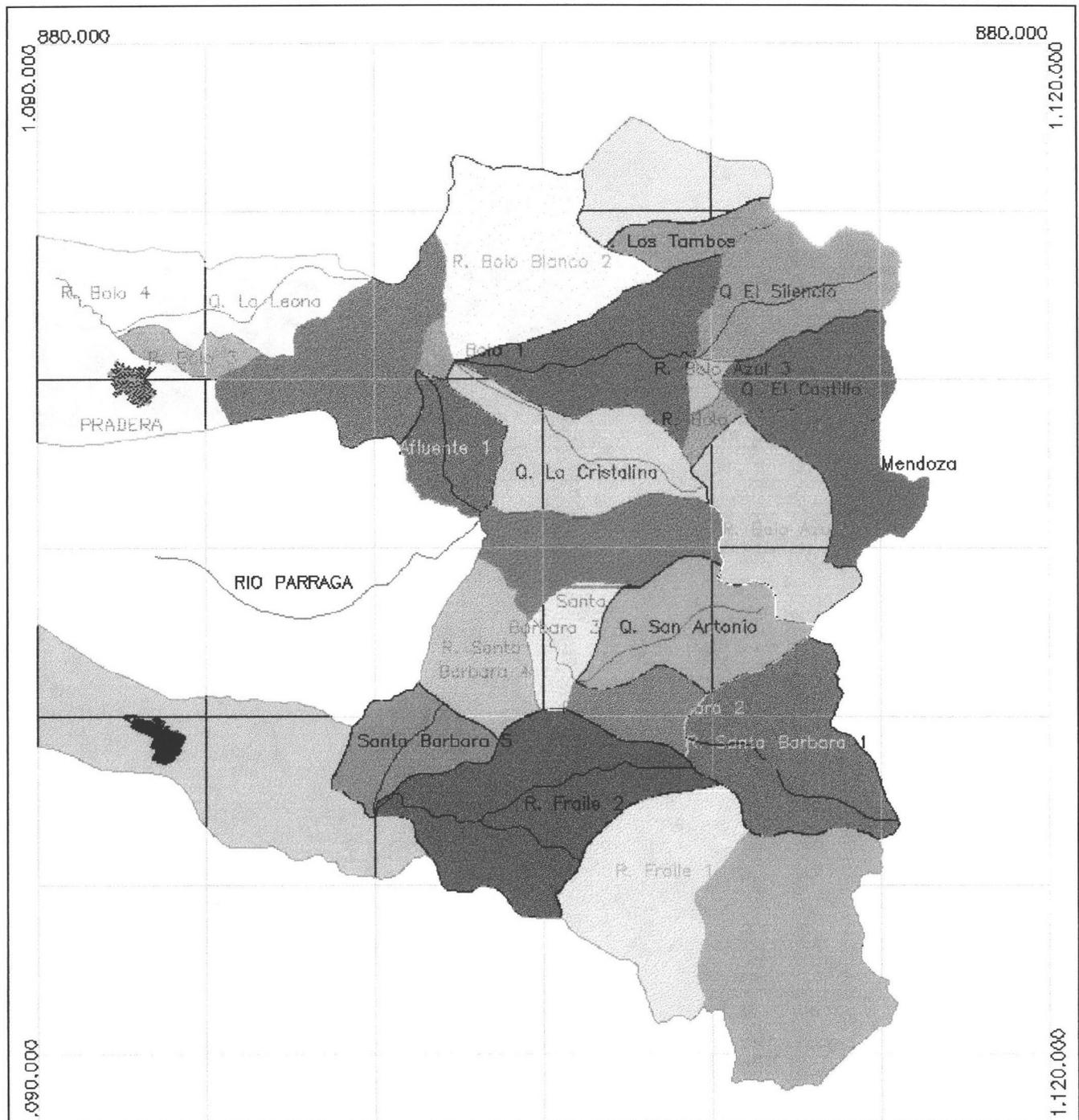
Area de drenaje, km².

Longitud de la corriente principal en km.

Pendiente media de la corriente principal, m/m.

Cotas de nacimiento y de entrega de los cauces, msnm.

En las **Tablas 4.1.1** y **4.1.2** se presentan los resultados obtenidos.



- CONVENCIONES**
- | | | | |
|--|------------------|--|--------------------|
| | R. Bolo 4 | | R. Santa Barbara 5 |
| | R. Bolo 3 | | R. Santa Barbara 4 |
| | R. Bolo 2 | | R. Santa Barbara 3 |
| | R. Bolo 1 | | R. Santa Barbara 2 |
| | R. Bolo Blanco 2 | | R. Santa Barbara 1 |
| | R. Bolo Blanco 1 | | Q. Las Monjas |
| | R. Bolo Azul 3 | | R. Fraile 1 |
| | R. Bolo Azul 2 | | R. Fraile 2 |
| | R. Bolo Azul 1 | | R. Fraile 3 |
| | Afluente 1 | | Q. Los Patos |
| | Q. Los Tambores | | Q. San Antonio |
| | Q. El Castillo | | |
| | Q. Mendoza | | |
| | Q. La Cristalina | | |
| | Q. El Silencio | | |
| | ? | | |

| | | |
|---|--|---|
| Corporacion Autonoma Regional del Valle del Cauca Instituto de investigaciones en geociencias mineria y quimica | | |
| Zonificacion de Amenazas por procesos de remocion en masa en las cuencas de los rios Bolo y Fraile, Valle del Cauca | | |
| Subcuencas hidrograficas de los rios Bolo y Fraile | | |
| Autor: Ingenieria Geomorfologica INGEOMINAS | Digitalizo: Ingenieria Geomorfologica INGEOMINAS | Superviso: Subdireccion de gestion ambiental CVC |
| Escala grafica | | Febrero 1998 |
| | | Figura 4.1.1 |

| Subcuenca | Nombre | Area km2 | Longitud km | Z inicial msnm | Z final msnm | Pendiente m/m |
|-----------------|-----------------|-------------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Río Bolo Blanco | | | | | | |
| 8.3 | Bolo Blanco 1 | 12.6 | 5.1 | 3850 | 2400 | 0.284 |
| 8.2 | Q. Los Tambos | 5.2 | 4.9 | 3800 | 2400 | 0.286 |
| 8.1 | Bolo Blanco 2 | 24.9 | 5.9 | 2400 | 1500 | 0.153 |
| | Bolo Blanco | 42.7 | 11 | 3850 | 1500 | 0.210 |
| Río Bolo | | | | | | |
| 17 | Bolo Azul 1 | 11.9 | 6.5 | 3900 | 2550 | 0.208 |
| 16 | Q. Mendoza | 16.9 | 6.8 | 3875 | 2550 | 0.195 |
| 15 | Bolo Azul 2 | 1.8 | 1.1 | 2550 | 2400 | 0.136 |
| 14 | Q. El Castillo | 12.1 | 6 | 3800 | 2400 | 0.233 |
| 13 | Bolo Azul 3 | 1.5 | 1.6 | 2400 | 2250 | 0.094 |
| 12 | Q. El Silencio | 16.7 | 6.7 | 2840 | 2250 | 0.088 |
| 11 | Bolo Azul 4 | 18.6 | 7.5 | 2250 | 1500 | 0.100 |
| 10 | Q. Cristalina | 17.8 | 7.8 | 3850 | 1500 | 0.301 |
| 8 | Río Bolo Blanco | 42.7 | 11 | 3850 | 1500 | 0.210 |
| 7 | Bolo 1 | 1.2 | 1.2 | 1500 | 1450 | 0.042 |
| 6 | Afluente 1 | 8.7 | 5.1 | 2950 | 1450 | 0.294 |
| 5 | Bolo 2 | 20.3 | 7.1 | 1450 | 1109 | 0.048 |
| 3 | Bolo 3 | 5.1 | 3.8 | 1109 | 1047 | 0.016 |
| 2 | Q. La Leona | 13 | 8.9 | 2000 | 1047 | 0.107 |
| 1 | Bolo 4 | 0.8 | 0.3 | 1047 | 1035 | 0.040 |
| | Río Bolo | 189.1 | 29.1 | 3900 | 1035 | 0.063 |

Tabla 4.1.1 Características morfométricas del río Bolo.

| Subcuenca | Nombre | Area km ² | Longitud km | Z inicial msnm | Z final msnm | Pendiente m/m |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Río Santa Bárbara | | | | | | |
| 2.9 | Santa Bárbara 1 | 22.8 | 7.5 | 3950 | 3075 | 0.117 |
| 2.7 | Santa Bárbara 2 | 6.1 | 3.6 | 3075 | 2525 | 0.153 |
| 2.6 | Q. San Antonio | 16.6 | 6.3 | 3850 | 2525 | 0.210 |
| 2.5 | Santa Bárbara 3 | 6.3 | 2.9 | 2525 | 2050 | 0.164 |
| 2.4 | Q. Los Patos | 15.5 | 7.5 | 3880 | 2050 | 0.244 |
| 2.3 | Santa Bárbara 4 | 12.0 | 4.8 | 2050 | 1620 | 0.090 |
| 2.1 | Santa Bárbara 5 | 8.8 | 4.4 | 1620 | 1360 | 0.059 |
| | Río Santa Bárbara | 88.1 | 23.2 | 3950 | 1360 | 0.103 |
| Río Frayle | | | | | | |
| 7 | Q. Las Monjas | 33.0 | 10.1 | 3768 | 2980 | 0.078 |
| 5 | Frayle 1 | 22.4 | 4.0 | 2980 | 2075 | 0.226 |
| 3 | Frayle 2 | 30.8 | 11.5 | 2075 | 1360 | 0.062 |
| 2 | Santa Bárbara | 88.1 | 23.1 | 3950 | 1360 | 0.103 |
| 1 | Frayle 3 | 11.6 | 8.3 | 1360 | 1040 | 0.039 |
| | Río Frayle | 185.9 | 33.9 | 3768 | 1040 | 0.065 |

Tabla 4.1.2 Características morfométricas del río Bolo.

4.1.2.2 Clima y Pluviometría.

En el IDEAM y la CVC se obtuvo información hidroclimatológica de la región correspondiente a las cuencas vertientes de los ríos Bolo y Frayle. La información es muy escasa en el río Bolo, y aceptable en el río Frayle.

Existen 6 estaciones pluviométricas en la cuenca del río Frayle y 1 en la del río Bolo. Además, hay 7 estaciones pluviométricas localizadas en Palmira, al norte de la zona de estudio.

Hay solamente 1 estación climatológica, con registros de temperatura, humedad relativa y evaporación en la cuenca del río Frayle. En el río Bolo no hay información climatológica, pero los registros de la estación Ica de Palmira, al norte del río Bolo, son útiles para hacer un análisis climatológico regional.

En la **Tabla 4.1.3** se presenta el resumen de las estaciones existentes. Las estaciones aparecen localizadas en el mapa hidrológico.

Como los periodos de registro de las estaciones no son uniformes, se seleccionaron como base para los análisis las estaciones que tienen datos entre 1971 y 1995. Las demás

estaciones se utilizaron como Auxiliares para el trazado de las líneas isoyetas. Las características de las estaciones seleccionadas como base del análisis se presentan en la **Tabla 4.1.4**.

En el mapa hidrológico se dibujaron las isoyetas medias anuales, obtenidas con la información regional de todas las estaciones que se presentan en la **Tabla 4.1.3**, (**Figura 4.1.2**). Las isoyetas se ajustaron, además, con la información sobre Zonas de Vida

En el mapa de isoyetas se aprecia que la precipitación media anual varía entre 1350 mm y 2000 mm. Los valores más altos se presentan hacia la parte central de las cuencas; los más bajos están en las zonas urbanas de Pradera y Florida y en las cabeceras de las cuencas.

4.1.3 Hidrometría.

En la parte baja del río Fraile está localizada la estación hidrométrica Buchitolo. La estación tiene registros de caudales medios, máximos y mínimos entre 1970 y 1994.

Similarmente, en la parte baja del río Bolo está operando la estación Bolo Arriba, con registros de caudales medios, máximos y mínimos entre 1970 y 1988.

Las estaciones aparecen localizadas en el Mapa Hidrológico, y sus características principales se resumen en la **Tabla 4.1.3**

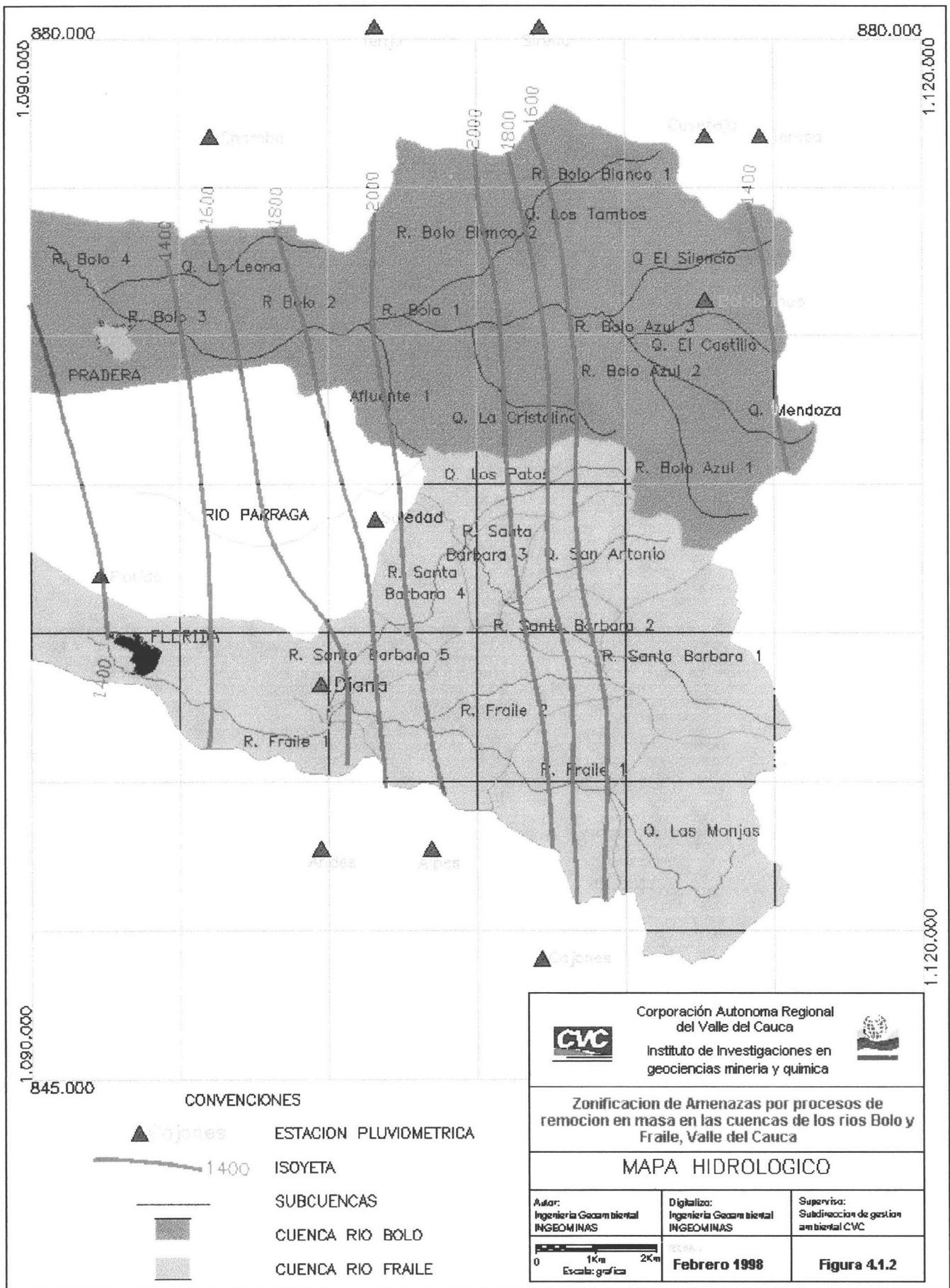
4.1.3.1 Río Bolo.

4.1.3.1.1 Morfometría.

El río Bolo nace en la parte alta de la Cordillera Central, a la cota 3900 msnm; pertenece a la vertiente oriental del río Cauca y desciende desde su nacimiento hasta la cabecera municipal de Pradera en el Valle del Cauca, recorriendo una longitud de 29 km, con pendiente media del 6.3 %. Sus afluentes principales en la zona de estudio son el río Bolo Blanco y las quebradas Mendoza, El Castillo, El Silencio, Cristalina y La Leona.

Las quebradas son corrientes de alta pendiente, con régimen torrencial y alta capacidad de transporte de material sólido.

La corriente principal del río Bolo tiene pendientes que varían entre el 20 % en su nacimiento y el 10 % al cabo de 17 km de recorrido; luego la pendiente disminuye paulatinamente hasta llegar al 4 % a su paso por Pradera. El área vertiente de la cuenca del río Bolo hasta la cabecera municipal de Pradera es de 190 km².



Estaciones Pluviométricas

VALORES REGISTRADOS

| Código | Nombre | Municipio | Elevación msnm | Coordenadas N-W | Período años | P _{MEDIA} mm | P _{MAX24h} mm |
|------------|--------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| 2609082 | SANTA TERESA | PALMIRA | 3690 | 03-29 76-03 | 1969-1996 | 1579.9 | 76 |
| 2609082 | CASETEJA | PALMIRA | 3520 | 03-29 76-04 | 1969-1996 | 1416.3 | 433 |
| 2612810203 | LA SIRENA | PALMIRA | 2605 | 03-31 76-07 | 1988-1996 | 1454.8 | 95 |
| 2607059 | BOLO BLANCO | PRADERA | 2410 | 03-26 76-04 | 1971-1996 | 1425.5 | 90 |
| 2607062 | LOS ALPES | FLORIDA | 2380 | 03-16 76-09 | 1971-1996 | 2055.3 | 153 |
| 2606020 | CAJONES | FLORIDA | 2370 | 03-14 76-07 | 1973-1996 | 1501.1 | 118 |
| 2607061 | LA SOLEDAD | FLORIDA | 2160 | 03-22 76-10 | 1971-1996 | 1904.3 | 140 |
| 2607063 | LOS ANDES | FLORIDA | 1960 | 03-16 76-11 | 1971-1990 | 2668.1 | 150 |
| 2607060 | DIANA | FLORIDA | 1960 | 03-19 76-11 | 1971-1996 | 1408.8 | 135 |
| 2609030 | TENJO | PALMIRA | 1500 | 03-31 76-10 | 1969-1996 | 2075.9 | 155 |
| 2607509 | CHAMBU | PALMIRA | 1350 | 03-29 76-13 | 1973-1996 | 1702.8 | 108 |
| 2609007 | SAN EMIGDIO | PALMIRA | 1272 | 03-33 76-12 | 1964-1996 | 1717.5 | 187 |
| 2609044 | PTA NIMA1 | PALMIRA | 1170 | 03-33 76-13 | 1970-1996 | 1681.9 | 125 |
| 2607508 | CENICANA | FLORIDA | 1050 | 03-23 76-19 | 1981-1995 | 1132.7 | 114 |
| 2607076 | FLORIDA | FLORIDA | 1038 | 03-21 76-15 | 1953-1996 | 1392.7 | 135 |
| 2607501 | PALMIRA-ICA | PALMIRA | 975 | 03-31 76-19 | 1970-1987 | 1058.7 | 102.2 |

Estaciones Climatológicas

| Código | Nombre | Municipio | Elevación msnm | Coordenadas N-W | Período años | Temperatura °C | H _{RELATIVA} % | Evaporación mm |
|---------|-------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 2607508 | CENICANA | FLORIDA | 1050 | 03-23 76-19 | 1981-1994 | 23.6 | 78 | 1650.4 |
| 2607501 | PALMIRA-ICA | PALMIRA | 975 | 03-31 76-19 | 1970-1987 | 23.4 | 76 | 1638.7 |

Estaciones hidrométricas

| Código | Nombre | Corriente | Elevación msnm | Coordenadas N - W | Area km2 |
|---------|-------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------|
| 2607705 | Bolo Arriba | Bolo | 980 | 03-28 76-18 | 347 |
| 2607706 | Buchitolo | Frayle | 981 | 03-22 76-21 | 286 |

Tabla 4.1.3 Información de estaciones hidrometeorológicas.

Estaciones Pluviométricas

| Código | Nombre | Municipio | Elevación msnm | Coordenadas N - W | Periodo años | P _{MEDIA} mm | P _{MAX24h} mm |
|---------|-------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| 2607062 | Los Alpes | Florida | 2380 | 03-16 76-09 | 1971-95 | 2034 | 153 |
| 2607059 | Bolo Blanco | Pradera | 2410 | 03-26 76-04 | 1971-96 | 1416 | 90 |
| 2606020 | Cajones | Florida | 2370 | 03-14 76-07 | 1973-96 | 1501 | 118 |
| 2607060 | Diana | Florida | 1960 | 03-19 76-11 | 1971-95 | 1398 | 135 |
| 2607076 | Florida | Florida | 1038 | 03-21 76-15 | 1971-96 | 1435 | 135 |
| 2607061 | La Soledad | Florida | 2160 | 03-22 76-10 | 1971-95 | 1888 | 140 |
| 2609081 | Caseteja | Palmira | 3520 | 03-29 76-04 | 1971-96 | 1393 | 433 |

Estaciones climatológicas

| Código | Nombre | Municipio | Elevación msnm | Coordenadas N - W | Periodo años | Temperatura °C | H _{RELATIVA} % | Evaporación mm |
|---------|-------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 2607508 | Cenicafá | Florida | 1050 | 03-23 76-19 | 1981-94 | 23.6 | 78 | 1650 |
| 2607501 | Palmira-ICA | Palmira | 975 | 03-31 76-19 | 1970-87 | 23.4 | 76 | 1639 |

Estaciones hidrométricas

| Código | Nombre | Corriente | Elevación msnm | Coordenadas N - W | Periodo años | Area km ² | Q _{MEDIO} m ³ /s | Rendimiento lps/km ² | Q _{MAXIMO.REG} m ³ /s | Q _{MINIMO.REG} m ³ /s |
|---------|-------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|---|------------------------------------|--|--|
| 2607705 | Bolo Arriba | Bolo | 980 | 03-28 76-18 | 1970-88 | 347 | 4.7 | 13.5 | 226 | 0 |
| 2607706 | Buchitolo | Frayle | 981 | 03-22 76-21 | 1970-94 | 286 | 5.6 | 19.2 | 54 | 0 |

Tabla 4.1.4 Información de estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para el análisis. .

4.1.3.1.2 Lluvia media anual.

La lluvia media anual en la cuenca del río Bolo es de 1500 mm; especialmente la precipitación varía entre 1350 mm en la cabecera municipal de Pradera; 2000 mm en la parte central de la cuenca y 1400 mm en la zona alta.

La distribución de la lluvia en el año es bimodal. Hay dos períodos de lluvias altas, entre Marzo-Abril y Octubre-Noviembre, y un período de baja precipitación entre Junio-Agosto. No hay períodos críticos de sequía. Históricamente el mes más lluvioso es Noviembre y el más seco Julio (Figura 4.1.3).

En la figura 4.1.3 se presentan las lluvias medias mensuales multianuales en la cuenca del río Bolo.

| Mes | Río Bolo | Río Fraile |
|-------|----------|------------|
| E | 114.9 | 134.3 |
| F | 118.3 | 138.1 |
| M | 120.1 | 162.7 |
| A | 170.3 | 191.4 |
| M | 119.0 | 132.8 |
| J | 73.4 | 59.2 |
| J | 56.0 | 56.7 |
| A | 65.4 | 50.1 |
| S | 86.8 | 109.3 |
| O | 197.2 | 218.2 |
| N | 208.3 | 237.8 |
| D | 170.4 | 160.5 |
| Anual | 1500.0 | 1651.1 |

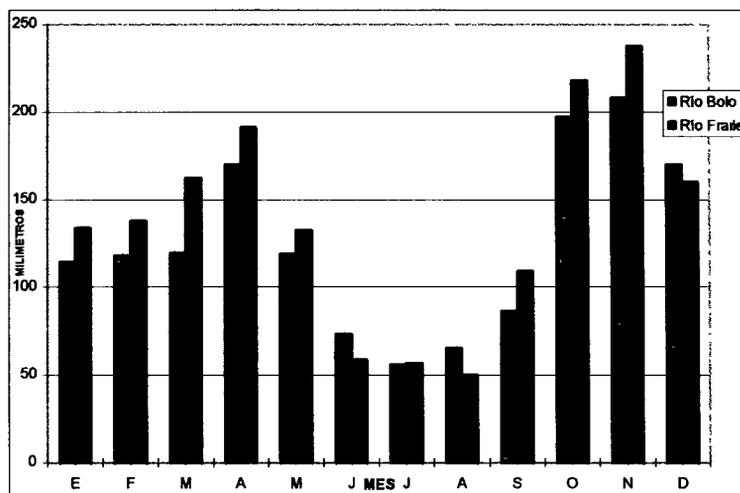


Figura 4.1.3 Lluvias medias mensuales en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile.

4.1.3.1.3 Clima.

La cuenca del río Bolo está comprendida entre 3900 msnm en su nacimiento y 1000 msnm en la parte baja; la temperatura media anual varía entre 10°C y 23.4°C desde la parte alta hasta el municipio de Pradera. En la Figura 4.1.4 se presenta la variación temporal de temperaturas en la estación Palmira-Ica, que es representativa de las condiciones climatológicas de la parte baja de la cuenca. La temperatura media anual es de 23.4°C y las extremas diarias varían entre 10.8°C y 35.4°C.

| Mes | Mínima | Media | Máxima |
|-------|--------|-------|--------|
| E | 12.4 | 23.5 | 34.8 |
| F | 14.9 | 23.6 | 34.8 |
| M | 13.9 | 23.8 | 35.0 |
| A | 15.4 | 23.5 | 33.2 |
| M | 14.2 | 23.3 | 32.4 |
| J | 15.1 | 23.3 | 33.2 |
| J | 13.5 | 23.6 | 34.8 |
| A | 13.0 | 23.7 | 35.4 |
| S | 10.8 | 23.6 | 35.2 |
| O | 15.2 | 23.0 | 32.8 |
| N | 13.1 | 22.9 | 32.0 |
| D | 15.0 | 23.1 | 32.5 |
| Anual | 10.8 | 23.4 | 35.4 |

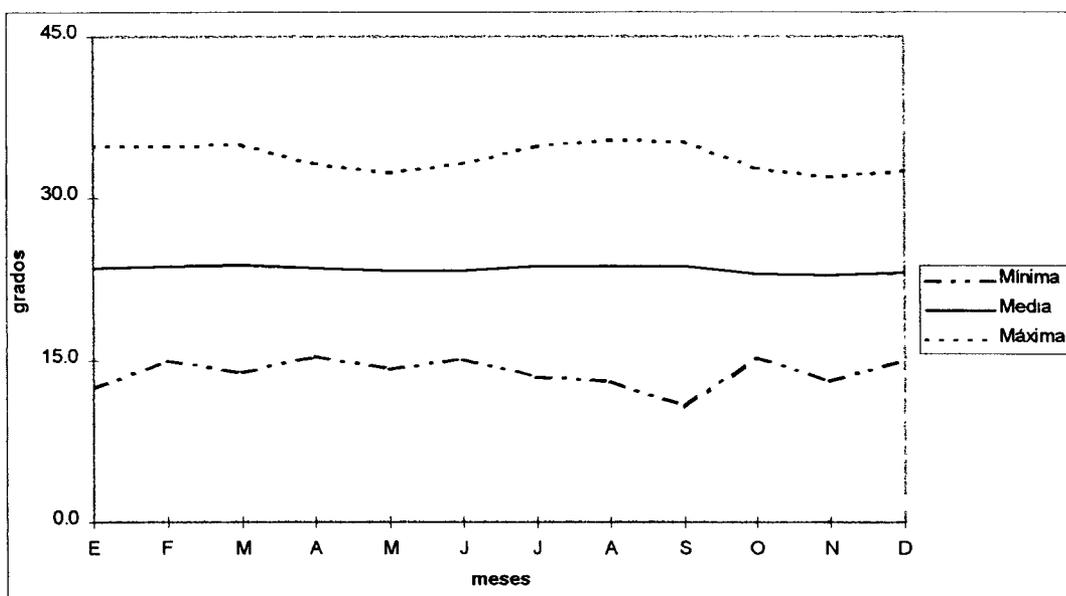


Figura 4.1.4 Temperaturas medias mensuales y extremas absolutas (°C). Estación ICA- Palmira.

La evaporación potencial en la parte baja de la cuenca es de 1640 mm anuales. La variación mensual está comprendida entre 119 y 152 mm; el valor más bajo se presenta en Junio y el más alto en Marzo y Septiembre. Los valores registrados en la estación Palmira-Ica se observan en la **figura 4.1.5**.

| Mes | Florida | Palmira |
|-------|---------|---------|
| E | 143 2 | 145 0 |
| F | 136 2 | 136 5 |
| M | 147 3 | 151 0 |
| A | 130 9 | 133 5 |
| M | 125 1 | 124 2 |
| J | 128 0 | 119 2 |
| J | 141 3 | 143 0 |
| A | 156 1 | 149 0 |
| S | 144 9 | 151 8 |
| O | 138 7 | 136 1 |
| N | 123 3 | 122 1 |
| D | 135 4 | 127 2 |
| Anual | 1650.4 | 1638 6 |

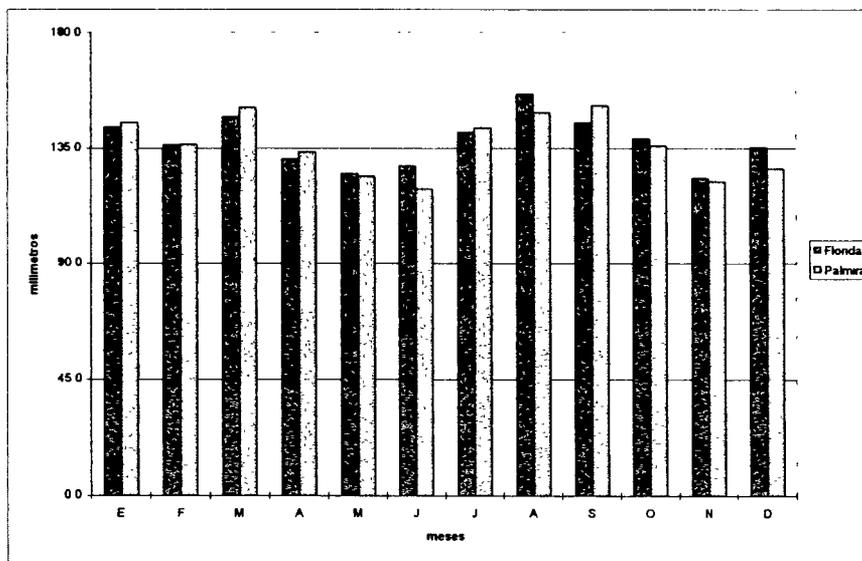


Figura 4.1.5 Evaporación potencial. Estación ICA- Palmira.

La humedad relativa media es del 76% en la parte baja de la cuenca. La variación mensual está comprendida entre 72% y 79%; los valores más altos se observan en Mayo y Noviembre, y el más bajo en Agosto. En la figura 4.1.6 se aprecia la variación mensual de la humedad relativa en la estación de Palmira.

4.1.3.1.4 Lluvias de corta duración. Análisis de Intensidad-duración-frecuencia.

Las lluvias de corta duración, o aguaceros, se definen por medio de la curva de Intensidad-duración-frecuencia.

En la cuenca del río Bolo la información pluviométrica es escasa, de manera que se analizaron en conjunto las estaciones pluviométricas que existen en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile para deducir la relación de intensidad-duración-frecuencia, IDF.

Se utilizó el método de las curvas generalizadas de IDF, en el cual las lluvias de corta duración se deducen de los parámetros de las precipitaciones máximas en 24 horas.

| Mes | Florida | Palmira |
|-------|---------|---------|
| E | 77 | 75 |
| F | 77 | 75 |
| M | 77 | 75 |
| A | 79 | 78 |
| M | 80 | 79 |
| J | 78 | 78 |
| J | 74 | 74 |
| A | 74 | 72 |
| S | 76 | 74 |
| O | 79 | 77 |
| N | 81 | 79 |
| D | 79 | 77 |
| Anual | 78 | 76 |

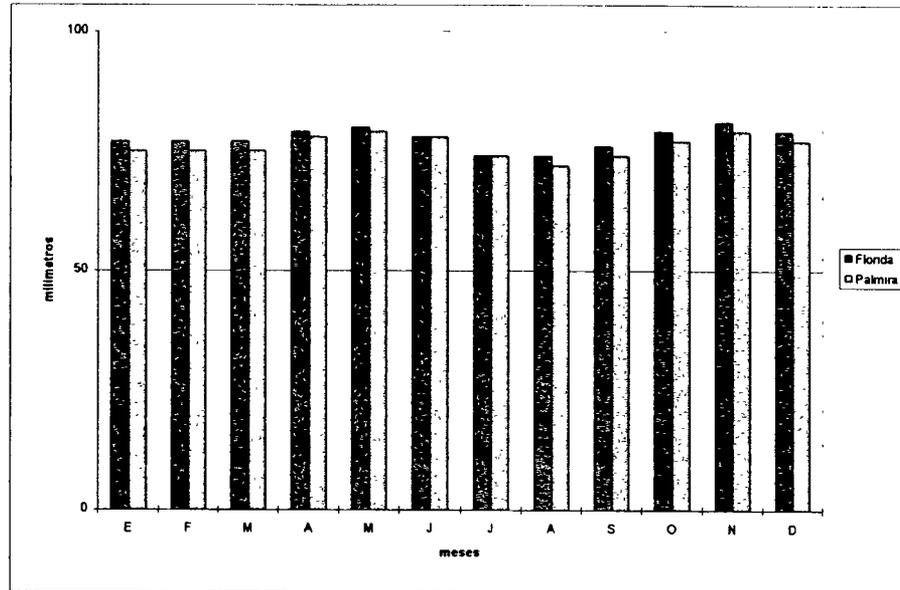


Figura 4.1.6 Variación mensual de la humedad relativa (%). Estación de Palmira.

En la **Tabla 4.1.5** se observan los parámetros de lluvias máximas diarias en 6 estaciones repartidas sobre el área de estudio. Estos parámetros son el promedio de la serie de máximos ($P_{\text{máximos}}$) y la desviación estándar de la serie ($SD_{\text{máximos}}$); los valores obtenidos son los siguientes:

Estación $P_{\text{máximos}}$ $SD_{\text{máximos}}$

| | | |
|-------------|-----|----|
| Los Alpes | 92 | 26 |
| Bolo blanco | 56 | 18 |
| Cajones | 63 | 21 |
| La Diana | 80 | 23 |
| Florida | 78 | 18 |
| La Soledad | 117 | 33 |

ESTACION: 2607062 - Los Alpes

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio | 82.0 | 115.9 | 139.4 | 158.2 | 175.8 | 189.4 | 205.2 | 216.9 | 227.1 | 236.7 | 340.3 | 428.4 | 665.2 | 841.9 |
| D estándar | 25.9 | 33.8 | 39.6 | 44.6 | 49.3 | 48.2 | 50.4 | 48.0 | 49.4 | 53.1 | 68.6 | 94.3 | 127.5 | 166.5 |
| C variación | 0.282 | 0.282 | 0.284 | 0.282 | 0.280 | 0.254 | 0.246 | 0.221 | 0.218 | 0.224 | 0.202 | 0.220 | 0.192 | 0.200 |

| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 2 | 88.1 | 110.9 | 133.6 | 151.6 | 168.5 | 182.3 | 197.8 | 209.8 | 219.8 | 228.8 | 333.8 | 418.4 | 653.3 | 825.5 |
| 5 | 116.3 | 147.8 | 176.8 | 200.2 | 222.3 | 234.8 | 252.7 | 262.1 | 273.6 | 286.7 | 394.9 | 502.8 | 767.0 | 975.9 |
| 10 | 135.0 | 172.1 | 205.4 | 232.4 | 257.9 | 269.6 | 289.1 | 296.7 | 309.3 | 325.1 | 431.4 | 553.7 | 834.4 | 1065.6 |
| 25 | 158.6 | 202.9 | 241.5 | 273.1 | 302.8 | 313.6 | 335.1 | 340.5 | 354.3 | 373.5 | 473.7 | 613.1 | 912.1 | 1169.4 |
| 50 | 176.1 | 225.8 | 268.3 | 303.2 | 336.2 | 346.2 | 369.2 | 372.9 | 387.7 | 409.4 | 503.5 | 655.2 | 966.6 | 1242.3 |
| 100 | 193.4 | 248.5 | 294.9 | 333.2 | 369.3 | 378.6 | 403.1 | 405.2 | 420.9 | 445.1 | 531.8 | 695.6 | 1018.3 | 1311.8 |

ESTACION: 2607059 - Bolo blanco

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio | 55.3 | 80.6 | 96.4 | 110.7 | 122.2 | 134.1 | 143.3 | 154.4 | 167.4 | 177.1 | 257.6 | 341.2 | 499.4 | 606.7 |
| D estándar | 18.3 | 24.6 | 28.2 | 30.8 | 31.1 | 36.2 | 36.4 | 36.9 | 45.0 | 48.1 | 77.3 | 104.6 | 168.0 | 197.1 |
| C variación | 0.331 | 0.305 | 0.293 | 0.278 | 0.255 | 0.270 | 0.254 | 0.239 | 0.269 | 0.272 | 0.300 | 0.307 | 0.336 | 0.325 |

| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 2 | 52.6 | 77.0 | 92.3 | 106.1 | 117.6 | 128.8 | 137.9 | 148.9 | 160.8 | 170.0 | 246.7 | 326.2 | 473.3 | 577.0 |
| 5 | 72.5 | 103.7 | 123.0 | 139.7 | 151.4 | 168.2 | 177.6 | 189.2 | 209.8 | 222.5 | 316.2 | 420.3 | 624.1 | 754.0 |
| 10 | 85.8 | 121.5 | 143.4 | 162.0 | 173.9 | 193.3 | 203.9 | 215.9 | 242.3 | 257.2 | 360.1 | 480.1 | 721.6 | 867.7 |
| 25 | 102.5 | 143.9 | 169.1 | 190.1 | 202.2 | 227.4 | 237.0 | 249.5 | 283.3 | 301.1 | 413.3 | 552.8 | 841.4 | 1006.6 |
| 50 | 114.8 | 160.5 | 188.2 | 211.0 | 223.2 | 251.8 | 261.7 | 274.5 | 313.7 | 333.6 | 452.1 | 605.8 | 929.8 | 1108.8 |
| 100 | 127.1 | 177.0 | 207.2 | 231.7 | 244.1 | 276.1 | 286.1 | 299.3 | 343.9 | 365.9 | 490.0 | 657.9 | 1017.3 | 1209.8 |

ESTACION: 2608020 - Cajonés

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio | 63.3 | 84.0 | 105.0 | 116.9 | 127.4 | 142.1 | 151.7 | 160.4 | 167.5 | 175.0 | 252.7 | 320.6 | 492.1 | 610.8 |
| D estándar | 20.7 | 26.2 | 29.6 | 29.9 | 32.2 | 37.1 | 40.2 | 41.7 | 44.3 | 48.5 | 70.9 | 91.5 | 128.1 | 152.6 |
| C variación | 0.327 | 0.312 | 0.282 | 0.256 | 0.253 | 0.261 | 0.265 | 0.260 | 0.264 | 0.277 | 0.281 | 0.285 | 0.260 | 0.250 |

| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2 | 60.2 | 80.1 | 100.7 | 112.5 | 122.6 | 136.7 | 145.7 | 154.2 | 161.0 | 167.9 | 243.3 | 306.3 | 476.2 | 592.6 |
| 5 | 82.7 | 108.7 | 132.9 | 145.1 | 157.7 | 171.1 | 185.5 | 199.6 | 209.3 | 220.7 | 307.0 | 390.5 | 591.2 | 729.5 |
| 10 | 97.7 | 127.6 | 154.3 | 166.7 | 180.9 | 203.8 | 218.5 | 229.7 | 241.2 | 255.7 | 348.8 | 442.1 | 662.3 | 813.5 |
| 25 | 116.5 | 151.5 | 181.3 | 194.0 | 210.3 | 237.7 | 255.1 | 267.9 | 281.6 | 299.9 | 394.6 | 504.1 | 746.8 | 913.1 |
| 50 | 130.5 | 169.3 | 201.3 | 214.2 | 232.1 | 267.2 | 282.2 | 296.9 | 311.6 | 332.7 | 429.2 | 549.0 | 807.5 | 984.3 |
| 100 | 144.4 | 186.9 | 221.2 | 234.3 | 253.7 | 287.6 | 309.2 | 323.8 | 341.3 | 365.3 | 462.9 | 592.9 | 866.3 | 1053.1 |

Tabla 4.1.5 Precipitaciones máximas acumuladas de 1 hasta 90 días

ESTACION: 2607060 - Diana

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio | 79.9 | 97.3 | 118.4 | 129.5 | 142.3 | 152.4 | 165.0 | 171.7 | 178.8 | 187.2 | 263.5 | 333.5 | 487.2 | 607.3 |
| D estándar | 22.5 | 22.2 | 26.8 | 31.9 | 40.9 | 41.4 | 43.8 | 43.5 | 47.8 | 46.3 | 78.7 | 98.2 | 115.6 | 128.4 |
| C variación | 0.282 | 0.228 | 0.230 | 0.246 | 0.287 | 0.272 | 0.265 | 0.253 | 0.267 | 0.247 | 0.299 | 0.294 | 0.237 | 0.211 |
| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
| 2 | 76.6 | 94.0 | 112.4 | 124.8 | 136.3 | 148.3 | 158.5 | 165.3 | 171.7 | 180.4 | 252.5 | 319.9 | 474.0 | 594.2 |
| 5 | 101.0 | 118.2 | 141.7 | 159.5 | 180.8 | 191.4 | 206.2 | 212.7 | 223.9 | 230.8 | 323.2 | 408.1 | 577.6 | 708.9 |
| 10 | 117.2 | 134.2 | 161.0 | 182.5 | 210.3 | 221.3 | 237.8 | 244.1 | 258.4 | 264.2 | 367.9 | 463.8 | 640.8 | 777.8 |
| 25 | 137.7 | 154.4 | 185.5 | 211.6 | 247.6 | 259.0 | 277.7 | 283.8 | 302.0 | 306.4 | 422.0 | 531.0 | 715.1 | 858.0 |
| 50 | 152.9 | 169.4 | 203.6 | 233.2 | 275.2 | 287.0 | 307.3 | 313.2 | 334.3 | 337.7 | 461.3 | 579.8 | 788.1 | 914.5 |
| 100 | 168.0 | 184.3 | 221.6 | 254.6 | 302.7 | 314.8 | 336.6 | 342.4 | 366.4 | 368.8 | 499.9 | 627.6 | 819.1 | 968.6 |

ESTACION: 2607076 - Florida

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Promedio | 77.5 | 96.0 | 113.0 | 125.5 | 133.2 | 144.5 | 155.5 | 165.1 | 175.0 | 184.6 | 254.2 | 317.5 | 488.1 | 620.3 |
| D estándar | 17.5 | 16.7 | 19.1 | 22.1 | 23.9 | 28.0 | 32.2 | 34.1 | 34.8 | 36.5 | 57.3 | 70.9 | 110.3 | 139.9 |
| C variación | 0.226 | 0.174 | 0.189 | 0.176 | 0.179 | 0.194 | 0.207 | 0.207 | 0.199 | 0.198 | 0.225 | 0.223 | 0.226 | 0.226 |
| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
| 2 | 74.9 | 93.5 | 110.1 | 122.2 | 129.6 | 140.4 | 150.8 | 160.1 | 169.9 | 179.2 | 248.0 | 309.9 | 476.1 | 605.1 |
| 5 | 94.0 | 111.7 | 130.9 | 146.4 | 155.7 | 170.9 | 185.9 | 197.2 | 207.8 | 219.0 | 289.3 | 373.3 | 574.9 | 730.4 |
| 10 | 106.7 | 123.7 | 144.7 | 162.3 | 173.0 | 191.1 | 209.2 | 221.8 | 232.9 | 245.3 | 330.3 | 411.7 | 634.6 | 808.1 |
| 25 | 122.7 | 138.9 | 162.1 | 182.5 | 194.8 | 216.7 | 238.5 | 252.9 | 264.5 | 278.6 | 366.7 | 456.6 | 704.7 | 894.9 |
| 50 | 134.5 | 150.1 | 175.0 | 197.5 | 211.0 | 235.7 | 260.2 | 276.0 | 288.0 | 303.4 | 392.5 | 488.4 | 754.3 | 957.9 |
| 100 | 146.3 | 161.3 | 187.9 | 212.4 | 227.0 | 254.5 | 282.0 | 298.8 | 311.4 | 327.9 | 417.2 | 518.9 | 802.0 | 1018.3 |

ESTACION: 2607061 - La soledad

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Promedio | 116.6 | 127.5 | 150.4 | 167.6 | 181.3 | 196.8 | 211.3 | 223.9 | 234.8 | 243.7 | 344.0 | 430.5 | 657.1 | 817.8 |
| D estándar | 33.2 | 29.3 | 33.7 | 40.3 | 38.3 | 43.1 | 43.8 | 46.5 | 48.5 | 52.2 | 73.0 | 85.1 | 112.5 | 140.6 |
| C variación | 0.285 | 0.230 | 0.224 | 0.240 | 0.211 | 0.219 | 0.207 | 0.208 | 0.207 | 0.214 | 0.212 | 0.198 | 0.171 | 0.172 |
| T retorno | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 |
| 2 | 111.7 | 123.2 | 145.4 | 161.6 | 175.7 | 190.4 | 204.9 | 217.0 | 227.7 | 236.0 | 336.5 | 422.3 | 647.7 | 806.0 |
| 5 | 147.9 | 155.0 | 182.1 | 205.5 | 217.4 | 237.5 | 252.6 | 267.7 | 280.5 | 292.9 | 401.8 | 498.3 | 747.7 | 931.0 |
| 10 | 171.9 | 178.2 | 208.4 | 234.6 | 245.0 | 268.6 | 284.2 | 301.2 | 315.5 | 330.6 | 440.9 | 543.4 | 806.2 | 1004.1 |
| 25 | 202.2 | 202.8 | 237.1 | 271.3 | 279.9 | 307.9 | 324.1 | 343.6 | 359.7 | 378.2 | 486.6 | 595.7 | 873.1 | 1087.8 |
| 50 | 224.7 | 222.6 | 259.9 | 298.5 | 305.8 | 337.1 | 353.7 | 375.1 | 392.4 | 413.5 | 518.8 | 632.4 | 919.6 | 1146.0 |
| 100 | 247.0 | 242.3 | 282.5 | 325.6 | 331.5 | 368.1 | 383.1 | 408.3 | 425.0 | 448.6 | 549.5 | 667.3 | 963.5 | 1201.0 |

Tabla 4.1.5 Precipitaciones máximas acumuladas de 1 hasta 90 días. (Continuación)

Con base en los anteriores valores se seleccionaron los siguientes parámetros para representar la lluvia máxima puntual en la cuenca del río Bolo:

P_{máximos}: 100 mm.

SD_{máximos}: 30 mm.

Las lluvias máximas horarias son un porcentaje de las máximas diarias. De acuerdo con análisis hechos para diferentes lugares del país ese porcentaje varía entre el 10 y el 50% en general. Para la zona de estudio se ha asignado un porcentaje del 40 %.

Combinando la distribución de probabilidades de Gumbel con la ecuación típica de intensidad-duración-frecuencia:

$$i = Cr / (t + 10)^{.51}$$

se deducen las intensidades máximas (i) para diferentes duraciones (t). El coeficiente Cr es función del período de retorno, de los parámetros de las lluvias máximas diarias y de la relación entre la lluvia horaria y la diaria.

En la **Figura 4.1.7** se presentan los parámetros utilizados, las intensidades calculadas para duraciones entre 10 y 180 minutos, con frecuencias entre 2 y 100 años, y las curvas de intensidad-duración frecuencia.

4.1.3.1.5 Lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días.

En la **Tabla 4.1.5** se presentan los resultados del procesamiento de las series de lluvias máximas acumuladas en las 6 estaciones pluviométricas que están distribuidas en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile.

En la cuenca del río Bolo las estaciones representativas de diferentes alturas sobre el nivel del mar son las siguientes:

1000 a 2000 msnm Florida

2000 a 2500 msnm La Soledad

Más de 2500 msnm Bolo Blanco.

Para obtener los valores de la **Tabla 4.1.5** se construyeron las series anuales de lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días. En cada serie se determinaron los estadísticos principales que son el promedio y la desviación estándar.

Aguas abajo de Pradera, en el sitio denominado Bolo Arriba, está operando la estación hidrométrica del mismo nombre. La estación está equipada con una batería de miras que están localizadas en los estribos de un puente. No hay máxímetros ni limnigrafos; las lecturas se toman dos veces al día. El área de drenaje hasta la estación es de 347 km².

Por tratarse de una estación limnimétrica los estimativos de caudales medios no son confiables. La falta de un máxímetro, de otro lado, no permite que haya registros aceptables de los niveles máximos extraordinarios. Además de lo anterior, la cuenca de drenaje de la estación es demasiado grande en comparación con la que hay hasta la cabecera municipal de Pradera.

Por las razones expuestas, los registros de la estación limnimétrica solamente se utilizaron para analizar la variación temporal del caudal en el año. En la **Figura 4.1.8** se presenta el histograma de caudales medios mensuales multianuales registrados en la estación Bolo Arriba.

| Mes | Estación | Pradera |
|-------|----------|---------|
| E | 49 | 27 |
| F | 56 | 31 |
| M | 63 | 35 |
| A | 66 | 37 |
| M | 66 | 37 |
| J | 41 | 23 |
| J | 27 | 15 |
| A | 16 | 09 |
| S | 18 | 10 |
| O | 39 | 22 |
| N | 64 | 35 |
| D | 57 | 32 |
| Anual | 47 | 26 |

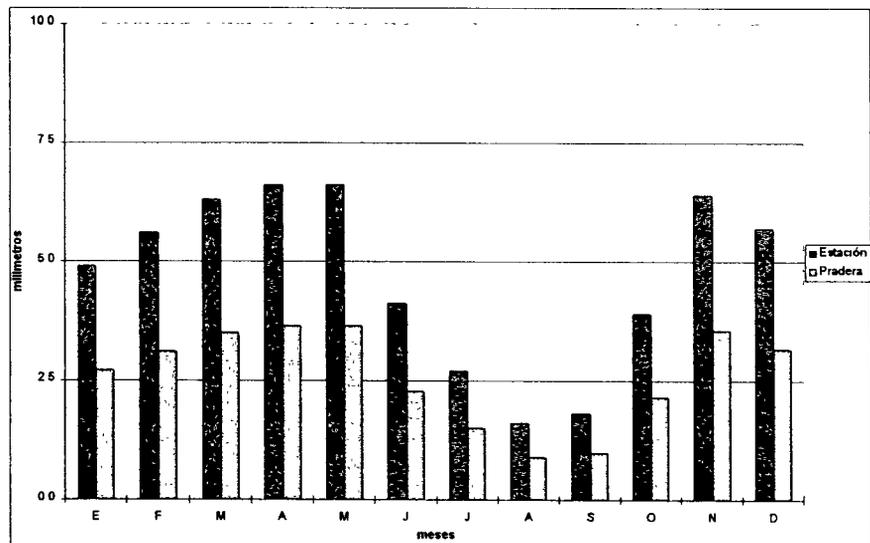


Figura 4.1.8 Caudales medios mensuales, m³/s. Río Bolo.

Para determinar el caudal medio anual del río Bolo en Pradera se dividió la cuenca vertiente en 15 subcuencas, como se aprecia en la **Tabla 4.1.6**.

A cada subcuenca se asignó una lluvia media anual, de acuerdo con la distribución de las isoyetas y luego, mediante un balance sencillo se determinó el rendimiento medio.

La ecuación de balance utilizada fue la siguiente:

$$\text{Caudal} = 0.85 (\text{precipitación} - \text{Evapotranspiración real})$$

El coeficiente 0.85 considera las pérdidas por intersección y percolación profunda. La evapotranspiración real, de acuerdo con la información de las estaciones climatológicas se estima en 950 mm.

Los caudales medios, correspondientes a las subcuencas analizadas se presentan en la **Figura 4.1.8**

El caudal medio anual del río Bolo a su paso por Pradera es del orden de 2.6 m³/s. La distribución mensual multianual se presenta en la **Figura 4.1.8**. El régimen es monomodal; existe un período de caudales altos entre Noviembre y Mayo, con máximos en Abril - Mayo y Noviembre; Los meses más secos son Julio y Agosto.

4.1.3.1.7 Crecientes.

Como los registros hidrométricos no son confiables el análisis de las crecientes se realizó por medio de la aplicación del hidrograma unitario del Soil Conservation Service, SCS.

A cada una de las 15 subcuencas de la **Tabla 4.1.6** se le aplicó el hidrograma individualmente, con las intensidades de la curva de IDF de la **Tabla 4.1.5**. Los hidrogramas particulares se integraron luego mediante la técnica de desfase, traslado y suma de ordenadas hasta el casco urbano de Pradera.

Las ecuaciones utilizadas en el cálculo de los hidrogramas individuales fueron las siguientes:

$$Q_{\text{pico}} = C i t [A / (5.4 t_p)]$$

Los valores utilizados se presentan en la **Tabla 4.1.7**.

C es un coeficiente de atenuación, que depende del tamaño y la pendiente de la cuenca.

i (mm/h) es la intensidad máxima para la duración t y la frecuencia Tr. Se deduce de la **Figura 4.1.7**.

t (minutos) es la duración crítica. Se determina por aproximaciones sucesivas.

t_p (horas) es el tiempo al pico. Equivale a 1.1 t_c.

t_c (horas) es el tiempo de concentración. Se calcula con la fórmula de Kirpich: $t_c = 0.7 (L / \sqrt{S})$ donde L y S son la longitud y la pendiente de la subcuenca respectivamente.

A (km^2) es el área de la subcuenca. Los resultados finales se presentan en la **Tabla 4.1.6**.

Los caudales máximos estimados en la cabecera municipal de Pradera son los siguientes:

Creciente anual: 200 m^3/s .

Creciente de 5 años: 280 m^3/s .

Creciente de 10 años: 330 m^3/s .

Creciente de 25 años: 400 m^3/s .

Creciente de 50 años: 440 m^3/s .

Creciente de 100 años: 490 m^3/s .

Los valores anteriores se refieren a crecientes naturales por aguaceros. Los caudales pueden verse incrementados por aportes de deslizamientos y represamientos aguas arriba, como ha ocurrido anteriormente.

**RIO BOLO, PRADERA
CAUDALES CALCULADOS
SECTOR URBANO DE PRADERA**

| Subcuenca | Area km2 | Precipitación anual, mm | Rendimiento lps/km2 | Qmedio m3/s | Qmx2 m3/s | Qmx5 m3/s | Qmx10 m3/s | Qmx25 m3/s | Qmx50 m3/s | Qmx100 m3/s |
|-----------------|-------------|----------------------------|------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Bolo Azul 1 | 11.9 | 1700 | 20.1 | 0.24 | 32.6 | 45.7 | 54.4 | 65.4 | 73.6 | 81.6 |
| Q. Mendoza | 16.9 | 1700 | 20.1 | 0.34 | 39.5 | 55.4 | 65.9 | 79.2 | 89.1 | 98.9 |
| Bolo Azul 2 | 1.8 | 1600 | 17.4 | 0.03 | 5.3 | 7.4 | 8.8 | 10.5 | 11.8 | 13.1 |
| Q. El Castillo | 12.1 | 1500 | 14.7 | 0.18 | 32.4 | 45.4 | 54 | 64.9 | 73 | 81 |
| Bolo Azul 3 | 1.5 | 1450 | 13.4 | 0.02 | 3.4 | 4.7 | 5.6 | 6.7 | 7.6 | 8.4 |
| Q. El Silencio | 16.7 | 1450 | 13.4 | 0.22 | 20.8 | 29.2 | 34.8 | 41.8 | 47 | 52.1 |
| Bolo Azul 4 | 18.6 | 1450 | 13.4 | 0.25 | 27.4 | 38.5 | 45.8 | 55 | 61.8 | 68.6 |
| Q. Cristalina | 17.8 | 1450 | 13.4 | 0.24 | 50.4 | 70.7 | 84.1 | 101 | 113.6 | 126.1 |
| Río Bolo Blanco | 42.7 | 1400 | 12 | 0.51 | 80.7 | 113.2 | 134.7 | 161.9 | 182 | 202 |
| Bolo 1 | 1.2 | 1400 | 12 | 0.01 | 1.7 | 2.4 | 2.9 | 3.4 | 3.9 | 4.3 |
| Afluente 1 | 8.7 | 1400 | 12 | 0.1 | 29.5 | 41.4 | 49.3 | 59.2 | 66.6 | 73.9 |
| Bolo 2 | 20.3 | 1400 | 12 | 0.24 | 17.6 | 24.7 | 29.4 | 35.4 | 39.8 | 44.2 |
| Bolo 3 | 5.1 | 1400 | 12 | 0.06 | 4.6 | 6.5 | 7.7 | 9.2 | 10.4 | 11.5 |
| Q. La Leona | 13.0 | 1400 | 12 | 0.16 | 21.3 | 29.9 | 35.6 | 42.7 | 48 | 53.3 |
| Bolo 4 | 0.8 | 1350 | 10.7 | 0.01 | 1.2 | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 2.8 | 3.1 |
| Río Bolo | 189.1 | 1470 | 13.9 | 2.61 | 200 | 280 | 330 | 400 | 440 | 490 |

**RIO FRAYLE, FLORIDA
CAUDALES CALCULADOS
SECTOR URBANO DE FLORIDA**

| Subcuenca | Area km2 | Precipitación anual, mm | Rendimiento lps/km2 | Qmedio m3/s | Qmx2 m3/s | Qmx5 m3/s | Qmx10 m3/s | Qmx25 m3/s | Qmx50 m3/s | Qmx100 m3/s |
|---------------|-------------|----------------------------|------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Q. Las Monjas | 33 | 1800 | 22.8 | 0.75 | 33.6 | 47.1 | 56.1 | 67.4 | 75.8 | 84.1 |
| Fraille 1 | 22.4 | 1700 | 20.1 | 0.45 | 67.2 | 94.2 | 112.1 | 134.7 | 151.4 | 168.1 |
| Fraille 2 | 30.8 | 1650 | 18.7 | 0.58 | 28.2 | 39.5 | 47 | 56.5 | 63.5 | 70.5 |
| Santa Bárbara | 88.1 | 1600 | 17.4 | 1.53 | 62.3 | 87.4 | 104 | 125 | 140.5 | 156 |
| Fraille 3 | 11.6 | 1450 | 13.4 | 0.16 | 10.7 | 15 | 17.9 | 21.5 | 24.1 | 26.8 |
| Río Fraille | 185.9 | 1650 | 18.7 | 3.48 | 130 | 180 | 210 | 260 | 290 | 330 |

Tabla 4.1.6 Caudales calculados para el sector urbano de Florida y Pradera.

**RIO BOLO, PRADERA
ANALISIS DE CRECIENTES
SECTOR URBANO DE PRADERA**

| Subcuenca | Area km2 | Precipitación anual, mm | Rendimiento lps/km2 | Longitud m | Pendiente m/m | Tiempo de concentración | Tiempo de desfase | Coefficiente | Duración del aguacero |
|-----------------|-------------|----------------------------|------------------------|---------------|------------------|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| Bolo Azul 1 | 11.9 | 1700 | 20.1 | 6.5 | 0.208 | 27 | 70 | 0.336 | 30 |
| Q. Mendoza | 16.9 | 1700 | 20.1 | 6.8 | 0.195 | 33 | 70 | 0.3116 | 40 |
| Bolo Azul 2 | 1.8 | 1600 | 17.4 | 1.1 | 0.136 | 10 | 60 | 0.264 | 20 |
| Q. El Castillo | 12.1 | 1500 | 14.7 | 6 | 0.233 | 29 | 60 | 0.336 | 30 |
| Bolo Azul 3 | 1.5 | 1450 | 13.4 | 1.6 | 0.094 | 12 | 60 | 0.2112 | 20 |
| Q. El Silencio | 16.7 | 1450 | 13.4 | 6.7 | 0.088 | 40 | 60 | 0.1804 | 50 |
| Bolo Azul 4 | 18.6 | 1450 | 13.4 | 7.5 | 0.100 | 40 | 50 | 0.2132 | 50 |
| Q. Cristalina | 17.8 | 1450 | 13.4 | 7.8 | 0.301 | 33 | 50 | 0.3772 | 40 |
| Rio Bolo Blanco | 42.7 | 1400 | 12 | 11 | 0.210 | 47 | 50 | 0.288 | 50 |
| Bolo 1 | 1.2 | 1400 | 12 | 1.2 | 0.042 | 14 | 40 | 0.1408 | 20 |
| Afuente 1 | 8.7 | 1400 | 12 | 5.1 | 0.294 | 23 | 40 | 0.3956 | 30 |
| Bolo 2 | 20.3 | 1400 | 12 | 7.1 | 0.048 | 50 | 20 | 0.144 | 50 |
| Bolo 3 | 5.1 | 1400 | 12 | 3.8 | 0.016 | 33 | 0 | 0.1204 | 40 |
| Q. La Leona | 13.0 | 1400 | 12 | 8.9 | 0.107 | 33 | 0 | 0.2184 | 40 |
| Bolo 4 | 0.8 | 1350 | 10.7 | 0.3 | 0.040 | 10 | 0 | 0.1408 | 20 |

**RIO FRAILE, FLORIDA
ANALISIS DE CRECIENTES
SECTOR URBANO DE FLORIDA**

| Subcuenca | Area km2 | Precipitación anual, mm | Rendimiento lps/km2 | Longitud m | Pendiente m/m | Tiempo de concentración | Tiempo de desfase | Coefficiente | Duración del aguacero |
|---------------|-------------|----------------------------|------------------------|---------------|------------------|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| Q. Las Monjas | 33 | 1800 | 22.8 | 10.1 | 0.078 | 56 | 60 | 0.1672 | 60 |
| Fraile 1 | 22.4 | 1700 | 20.1 | 4 | 0.226 | 20 | 60 | 0.336 | 30 |
| Fraile 2 | 30.8 | 1650 | 18.7 | 11.5 | 0.062 | 58 | 30 | 0.152 | 60 |
| Santa Bárbara | 88.1 | 1600 | 17.4 | 23.1 | 0.103 | 86 | 30 | 0.1404 | 90 |
| Fraile 3 | 11.6 | 1450 | 13.4 | 8.3 | 0.039 | 41 | 0 | 0.1344 | 50 |

Tabla 4.1.7 Analisis de crecientes para el sector urbano de Pradera y Florida.

4.1.3.2 RIO FRAILE.

4.1.3.2.1 Morfometría.

El río Fraile nace en la parte alta de la Cordillera Central, a la cota 3800 msnm; pertenece a la vertiente oriental del río Cauca y desciende desde su nacimiento hasta la cabecera municipal de Florida en el Valle del Cauca, recorriendo una longitud de 34 km, con pendiente media del 6.5 %. Sus afluentes principales en la zona de estudio son el río Santa Bárbara y las quebradas San Antonio, Los Patos y Las Monjas.

Las quebradas son corrientes de alta pendiente, con régimen torrencial y alta capacidad de transporte de material sólido.

La corriente principal del río Fraile tiene pendientes que varían entre el 15 % en su nacimiento y el 6 % al cabo de 25 km de recorrido; luego la pendiente disminuye paulatinamente hasta llegar al 4 % a su paso por Florida.

El área vertiente de la cuenca del río Fraile hasta la cabecera municipal de Florida es de 186 km².

4.1.3.3 Lluvia media anual.

La lluvia media anual en la cuenca del río Fraile es de 1650 mm; especialmente la precipitación varía entre 1400 mm en Florida y 2000 mm en la parte alta de la cuenca.

La distribución de la lluvia en el año es bimodal. Hay dos períodos de lluvias altas, entre Marzo-Abril y Octubre-Noviembre, y un período de baja precipitación entre Junio-Agosto. No hay períodos críticos de sequía. Históricamente el mes más lluvioso es Noviembre y el más seco Julio.

En la **Figura 4.1.3** se presentan las lluvias medias mensuales multianuales en la cuenca del río Fraile.

4.1.3.3.1 Clima.

La cuenca del río Fraile está comprendida entre 3800 msnm en su nacimiento y 1000 msnm en la parte baja; la temperatura media anual varía entre 10°C y 23.6°C desde la parte alta hasta el municipio de Florida. En la Figura 10 se presenta la variación temporal de temperaturas en la estación Florida-Cenicaña, que es representativa de las condiciones climatológicas de la parte baja de la cuenca. La temperatura media anual es de 23.6°C y las extremas diarias varían entre 13.3°C y 34.5°C.

La evaporación potencial en la parte baja de la cuenca es de 1650 mm anuales. La variación

mensual está comprendida entre 123 y 156 mm; el valor más bajo se presenta en Noviembre y el más alto en Agosto. Los valores registrados en la estación Florida-Cenicaña se observan en la **Figura 4.1.9**

La humedad relativa media es del 78% en la parte baja de la cuenca. La variación mensual está comprendida entre 74% y 81%; los valores más altos se observan en Mayo y Noviembre, y los más bajos en Julio y Agosto. En la **Tabla 4.1.5** se aprecia la variación mensual de la humedad relativa en la estación de Florida.

| Mes | Mínima | Media | Máxima |
|-------|--------|-------|--------|
| E | 15.2 | 23.6 | 33.3 |
| F | 15.0 | 23.8 | 34.4 |
| M | 13.8 | 23.8 | 34.0 |
| A | 15.6 | 23.6 | 32.8 |
| M | 16.1 | 23.5 | 32.8 |
| J | 14.7 | 23.8 | 34.2 |
| J | 13.3 | 23.9 | 34.4 |
| A | 14.3 | 24.1 | 34.5 |
| S | 15.0 | 23.8 | 34.4 |
| O | 15.0 | 23.1 | 33.7 |
| N | 13.3 | 22.9 | 32.1 |
| D | 15.4 | 23.4 | 32.4 |
| Anual | 13.3 | 23.6 | 34.5 |

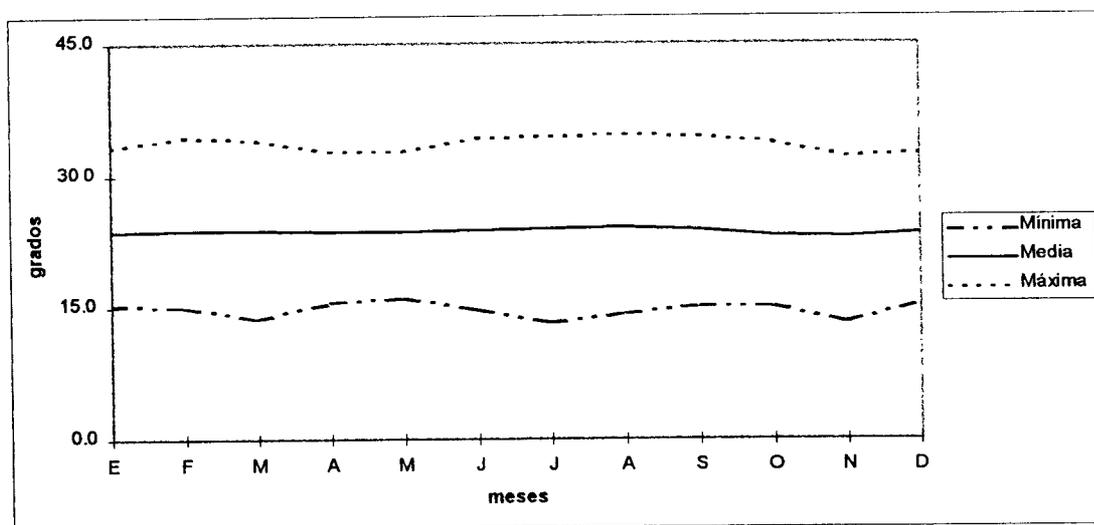


Figura 4.1.9 Temperaturas medias mensuales y extremas absolutas (°C). Estación Cenicaña-Florida

4.1.3.3.2 Lluvias de corta duración. Análisis de Intensidad-duración-frecuencia.

Las lluvias de corta duración, o aguaceros, se definen por medio de la curva de Intensidad-duración-frecuencia.

En la cuenca del río Fraile existen 5 estaciones pluviométricas, distribuidas entre alturas de 1080 y 2400 metros sobre el nivel del mar. Los registros de las estaciones se procesaron para determinar la relación de intensidad-duración-frecuencia, IDF

Se utilizó el método de las curvas generalizadas de IDF, en el cual las lluvias de corta duración se deducen de los parámetros de las precipitaciones máximas en 24 horas.

En la **Tabla 4.1.5** se observan los parámetros de lluvias máximas diarias en las 5 estaciones repartidas sobre el área de estudio. Estos parámetros son el promedio de la serie de máximos (Pmáximos) y la desviación estándar de la serie (SDmáximos); los valores obtenidos son los siguientes:

| Estación | Pmáximos | SDmáximos |
|------------|----------|-----------|
| Los Alpes | 92 | 26 |
| Cajones | 63 | 21 |
| Diana | 80 | 23 |
| Florida | 78 | 18 |
| La Soledad | 117 | 33 |

Con base en los anteriores valores se seleccionaron los siguientes parámetros para representar la lluvia máxima puntual en la cuenca del río Fraile:

Pmáximos: 100 mm.

SDmáximos: 30 mm.

Las lluvias máximas horarias son un porcentaje de las máximas diarias. De acuerdo con análisis hechos en diferentes lugares del país ese porcentaje varía entre el 10 y el 50% en general. Para la zona de estudio se ha asignado un porcentaje del 40 %.

Combinando la distribución de probabilidades de Gumbel con la ecuación típica de intensidad-duración-frecuencia:

$$i = Cr / (t + 10)^{51}$$

se deducen las intensidades máximas (i) para diferentes duraciones (t). El coeficiente Cr es función del período de retorno, de los parámetros de las lluvias máximas diarias y de la relación entre la lluvia horaria y la diaria.

En la **Figura 4.1.7** se presentan los parámetros utilizados, las intensidades calculadas para duraciones entre 10 y 180 minutos, con frecuencias entre 2 y 100 años, y las curvas de intensidad-duración frecuencia.

4.1.3.3.3 Lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días.

En la **Tabla 4.1.5** se presentan los resultados del procesamiento de las series de lluvias máximas acumuladas en las 5 estaciones pluviométricas que están distribuidas en la cuenca del río Fraile.

Las estaciones representativas de diferentes alturas sobre el nivel del mar son las siguientes:

1000 a 2000 msnm Florida

2000 a 2500 msnm La Soledad

Más de 2500 msnm Cajones.

Para obtener los valores de la **Tabla 4.1.5** se construyeron las series anuales de lluvias máximas acumuladas entre 1 y 90 días. En cada serie se determinaron los estadísticos principales que son el promedio y la desviación estándar.

Las lluvias acumuladas para diferentes períodos de retorno, entre 2 y 100 años, se calcularon por medio de la distribución de probabilidades de Gumbel para duraciones menores de 10 días, y con la distribución log-normal para duraciones entre 20 y 90 días.

4.1.3.3.4 Crecientes.

Como los registros hidrométricos no son confiables el análisis de las crecientes se realizó por medio de la aplicación del hidrograma unitario del Soil Conservation Service, SCS.

A cada una de las 5 subcuencas de la **Tabla 4.1.6** se aplicó el hidrograma individualmente, con las intensidades de la curva de IDF de la **Tabla 4.1.5**. Los hidrogramas particulares se integraron luego mediante la técnica de desfase, traslado y suma de ordenadas hasta el casco urbano de Florida.

Las ecuaciones utilizadas en el cálculo de los hidrogramas individuales fueron las siguientes:

$$Q_{pico} = C i t [A / (5.4 t p)]$$

Los valores utilizados se presentan en la **Tabla 4.1.7**.

C es un coeficiente de atenuación, que depende del tamaño y la pendiente de la cuenca.

i (mm/h) es la intensidad máxima para la duración t y la frecuencia Tr. Se deduce de la Figura 4.1.7

t (minutos) es la duración crítica. Se determina por aproximaciones sucesivas.

tp (horas) es el tiempo al pico. Equivale a 1.1 tc.

tc (horas) es el tiempo de concentración. Se calcula con la fórmula de Kirpich: $t_c = 0.7 (L / \sqrt{S})$ donde L y S son la longitud y la pendiente de la subcuenca respectivamente.

A (km²) es el área de la subcuenca.

Los resultados finales se presentan en la **Tabla 4.1.6** Los caudales máximos estimados en la cabecera municipal de Florida son los siguientes:

Creciente anual: 130 m³/s.

Creciente de 5 años: 180 m³/s.

Creciente de 10 años: 210 m³/s.

Creciente de 25 años: 260 m³/s.

Creciente de 50 años: 290 m³/s.

Creciente de 100 años: 330 m³/s.

Los valores anteriores se refieren a crecientes naturales por aguaceros. Los caudales pueden verse incrementados por aportes de deslizamientos y represamientos aguas arriba, como ha ocurrido anteriormente.

4.1.4 RELACION LLUVIA DESLIZAMIENTOS.

El 31 de enero de 1994 después de días de intensa lluvia, se presentaron múltiples deslizamientos cuyo efecto sobre los cauces provocó la generación de avenidas torrenciales afectando la parte plana, donde se ubican las poblaciones de Pradera y Florida. Para lograr un acercamiento al conocimiento de estos eventos extraordinarios, se realizó un estudio de

torrencialidad el cual es complementado en esta parte por un análisis de la pluviosidad o lluvia crítica como agente detonante de los deslizamientos, su duración y período de retorno, a partir de registros históricos de precipitación.

4.1.4.1 Alcance

Los resultados aquí presentados de la relación lluvia-deslizamiento como factor detonante de inestabilidad, son aproximados debido principalmente a las siguientes limitantes: La distribución espacial y edad exacta de los deslizamientos no es precisa; las estaciones pluviométricas están por fuera del área de influencia de los sitios donde se presentan los deslizamientos, por lo cual la información pluviométrica a nivel mensual y diaria es de poca utilidad a los objetivos planteados.

Sin embargo, se obtuvo para el evento del 31 de enero de 1994, una distribución espacial aproximada de la precipitación crítica y la relación entre los movimientos en masa y las lluvias antecedentes al evento, considerando que la falla de un talud se produce cuando el volumen acumulado de lluvias, con una duración específica es tal, que sobrepasa la estabilidad y se produce el desgarre del suelo.

4.1.4.2 Metodología

La metodología adoptada para realizar este estudio se basa en la tesis presentada por Castellanos (1996), la cual esboza como actividades principales las siguientes (ver **Figura 4.1.10**)

4.1.4.2.1 Recopilación de Información

Esta etapa consta de dos partes, la primera consiste en la selección de los deslizamientos e identificación de las fechas de ocurrencia; y la segunda en la recopilación de los registros de precipitación precedentes a los eventos, datos mensuales y diarios, obtenidos de estaciones cercanas a los mismos.

Para asociar la información de precipitación diaria con los deslizamientos se debe realizar previamente el análisis de confiabilidad de los registros históricos de precipitación por cada una de las estaciones.

METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA RELACION LLUVIA-DESPLAZAMIENTO

RECOP. INFORMACION

SELECCIÓN, DATACION Y UBICACIÓN
DE DESPLAZAMIENTOS DISPARADOS
POR LLUVIAS

OBTENCION DE LA INFORMACION
PLUVIOMETRICA A NIVEL ANUAL, MENSUAL
Y DIARIO. ANALISIS DE CONFIABILIDAD.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

ANALISIS MULTIANUAL, MENSUAL MULTIANUAL, MENSUAL DEL AÑO DEL EVENTO Y DIARIO

OBTENCION DE LA LLUVIA ACUMULADA DIARIA PRECEDENTE
AL EVENTO Y OBTENCION DE LOS VALORES
MAXIMOS DE LA LLUVIA ACUMULADA CON DIFERENTES DURACIONES

ANALISIS DE PROBABILIDAD POR MEDIO DE LA DISTRIBUCION GUMBEL Y LOG-
NORMAL DE LAS LLUVIAS MAXIMAS ACUMULADAS PARA ESTABLECER EL
PERIODO DE RETORNO DE UNA LLUVIA CON UNA DURACION ESPECIFICA.

RESULTADOS

DETERMINACION DE LLUVIA CRITICA, DURACION Y PERIODO DE RETORNO

COMPARACION CON INFORMACION
HIDROLOGICA LOCAL

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA LLUVIA CRITICA

Figura 4.1.10 Diagrama metodológico para determinar la relación lluvia-desplazamiento.

4.1.4.2.2 Procesamiento de la Información

La actividad consiste en la elaboración de histogramas de precipitación anual y mensual con los cuales se observa la variación de la precipitación en el tiempo.

La elaboración de las gráficas de lluvias máximas acumuladas y sus promedios para diferentes duraciones junto con la precipitación diaria acumulada antecedente al evento, permiten observar la magnitud de la precipitación que pudo producir el movimiento.

Se realiza el análisis de probabilidad de las lluvias máximas acumuladas mediante el uso de la Distribuciones Gumbel y Log-Normal, con el fin de determinar estadísticamente el periodo de retorno de la lluvia para diferentes duraciones.

4.1.4.2.3 Resultados

Mediante la observación de las gráficas de lluvia acumulada del evento y las lluvias acumuladas máximas y promedios de la serie histórica, se determinan la duración y precipitación crítica.

El período de retorno de la lluvia con una duración crítica específica y una magnitud dada, se obtiene de la curva de precipitación y frecuencia.

Con los resultados anteriores para cada una de las estaciones analizadas y teniendo en cuenta las condiciones hidrológicas locales, más expresamente las isoyetas y la intensidad de la lluvia como productos del estudio hidrológico, se elabora la distribución aproximada de la precipitación crítica para una duración y periodo de retorno establecidos.

4.1.4.3 Relacion lluvia-deslizamiento

Los factores climáticos como precipitación, temperatura, evapotranspiración, humedad relativa, entre otros, influyen en las condiciones de estabilidad de una ladera modificando la estructura y composición de los materiales, y por consiguiente alterando el comportamiento geomecánico. La valoración del clima se realizó principalmente con la precipitación debido que este parámetro es el principal factor detonante de inestabilidad, aunque en ocasiones es sólo un factor contribuyente.

Se seleccionó el evento ocurrido el 31 de enero de 1994 debido a que se encuentra localizado con precisión y cumple con las condiciones mínimas establecidas por el método. En esta fecha se presentaron múltiples deslizamientos de los cuales se cartografiaron 44 en las subcuencas del río Santa Barbara, y las quebradas San Antonio y la Cristalina, pertenecientes a las cuencas de los ríos Fraile y Bolo respectivamente, cuyas características principales se pueden observar en la **Tabla 4.1.8**. Hubo más deslizamientos en otras subcuencas pero sólo fueron cartografiados los mencionados antes.

| No. Deslizamiento | Coordenadas | | Descripción |
|----------------------|-------------|-----------|---|
| | X | Y | |
| 0 | 864.250 | 1'105,925 | Quebrada "Los Patos", hay señas de represamiento en el puente que allí existía causando daños sobre la banca de carretera y en su cauce hacia abajo |
| 1 | 862.200 | 1'105,750 | Taponamiento de la vía, originado por deslizamiento de talud con influencia la Río Santa Barbara Kilómetro 28 +800 mts |
| 2 | 861.750 | 1'104,675 | Reactivación cárcava de San Juanito, cayó al Río Santa Barbara |
| 3 | 861.050 | 1'107,100 | Deslizamientos en finca del Sr Rafael Gueja al frente del predio Risaralda Se presentaron 11 deslizamientos que cayeron al río Santa Barbara |
| 4 | 860.950 | 1'105,675 | |
| 7 | 860.750 | 1'105,750 | |
| 7' | 860.775 | 1'105,900 | |
| 7'' | 860.600 | 1'106,175 | |
| 5 | 861.875 | 1'105,875 | Deslizamiento del talud con influencia sobre la carretera y cayendo a la Q El Tesoro |
| 6 | 862,050 | 1'106,150 | Deslizamientos desde el Km 29 + 900 hasta el Km 32 en el talud y carretera Gran influencia de la Q El Tesoro sobre el Puente, hay indicios de represamiento que causan hacia abajo daños de consideración |
| 6' | 861.875 | 1'106,225 | |
| 8 | 861.300 | 1'106,375 | Deslizamientos en zonas de Potrero y zonas de La Rivera y San Antonio en predios del Sr Raúl Perdomo |
| 8' | 861.250 | 1'106,500 | |
| 8'' | 861.350 | 1'106,650 | |
| 8''' | 860.875 | 1'106,575 | |
| 8'''' | 860.975 | 1'106,750 | |
| 9 | 861.725 | 1'106,750 | Deslizamientos del talud en una longitud aproximada de 1 Km Deslizamiento desde la parte alta, con influencia a la Q La Cristalina |
| 9' | 861.875 | 1'106,975 | |
| 9'' | 861.400 | 1'107,150 | |
| 10 | 862.000 | 1'107,000 | Gran influencia desde el cauce alto obstaculizando la carretera De allí hacia abajo flujos en la Q El Respaldo y en drenajes de la Q San Antonio |
| 10' | 862.000 | 1'107,275 | |
| 11 | 862.200 | 1'107,375 | Deslizamiento desde la parte alta, zona boscosa, al paso de la Q el Chachacal por la carretera hay indicios de represamiento sobre la obra que allí existía causando una avalancha que fue a caer a la Q San Antonio |
| 11' | 862.050 | 1'107,650 | |
| 11'' | 862.375 | 1'107,750 | |
| 12 | 862.750 | 1'107,950 | Desde el Km 32 al 33 + 600 se presentan vanos deslizamientos que caen a la quebrada de la Cristalina, como también indicios de represamiento de esta quebrada en el puente, hubo gran arrastre de material Este deslizamiento desembocó en la Q San Antonio |
| 13 | 863.000 | 1'108,025 | |
| 14 | 862.950 | 1'108,150 | |
| 15 | 862.300 | 1'108,900 | K 35+650 mts Q El Encanto, deslizamientos en ambos márgenes, arrastre de material boscoso con posible represamiento sobre puente, desembocando en la Q San Antonio. |
| 16 | 862.000 | 1'109,000 | K 35 + 650 mts paso de Q San Antonio, sobre la carretera, arrastre de material bosque-suelo, etc. posible represamiento, cayendo al Río Santa Barbara |
| 16' | 862.025 | 1'108,800 | |

Tabla 4.1.8 Inventario de deslizamientos ocurridos el 31 de enero de 1994, cuencas de los ríos Santa Bárbara, Q. San Antonio y La Cristalina. Fuente CVC.

| No. Deslizamiento | Coordenadas | | Descripción |
|----------------------|-------------|-----------|--|
| | X | Y | |
| 17 | 862.000 | 1'108,350 | Desde el K. 36 hasta el K. 38 deslizamientos desde la parte alta de la carretera, con desprendimiento de zona boscosa que afectan la carretera. El material arrastrado llegó a la Q. San Antonio |
| 18 | 861.825 | 1'108,400 | |
| 19 | 861.750 | 1'108,375 | |
| 20 | 861.700 | 1'108,275 | |
| 21 | 861.650 | 1'108,150 | |
| 22 | 861.550 | 1'107,950 | |
| 23 | 861.375 | 1'107,800 | |
| 24 | 861.300 | 1'107,750 | |
| 25 | 861.150 | 1'107,725 | |
| 26 | 861.050 | 1'107,175 | Cárcavas formadas en el borde de la carretera y por escurrimientos de aguas sobre la carretera, afectando la Q. Agua Bonita |
| 27 | 860.825 | 1'107,475 | Paso de la Q. Agua Bonita sobre la carretera, se observan desprendimientos en ambas márgenes y con posible taponamiento de la carretera, el material arrastrado llegó al río Santa Bárbara |
| 28 | 860.775 | 1'107,475 | Deslizamiento de material boscoso y suelo, allí hay una quebrada la cual se desbordó sobre la carretera causando daños en esta y sumándose la Q. Agua Bonita |
| 29 | 860.550 | 1'107,375 | Cárcava formada por aguas de carretera, arrastró zona boscosa y fue a dar a la Q. Agua Bonita |
| 30 | 860.500 | 1'107,725 | Deslizamientos desde la parte alta, con arrastre de material boscoso y suelo, pasando por la carretera profundizándose una cárcava desembocó en el río Santa Bárbara |
| 30' | 860.425 | 1'107,500 | |
| 30" | 860.300 | 1'108,000 | |
| 31 | 860.400 | 1'108,750 | Desde K. 40 hasta K. 41 +356 se observan deslizamientos en la parte alta de la carretera afectando una zona boscosa, el material es transportado hasta la Q. El Guayabal |
| 32 | 860.375 | 1'109,050 | |
| 33 | 860.200 | 1'109,500 | |
| 34 | 860.250 | 1'109,575 | |
| 35 | 859.750 | 1'111,125 | Deslizamiento pequeño, en el cerro los valles al frente del Sr. Luis Jara |
| 36 | 858.850 | 1'110,500 | Deslizamientos desde la parte alta del cerro la vuelta del Diablo, los cuales arrastraron material forestal el cual cayó a la laguna la Fé |
| 36' | 858.800 | 1'110,350 | |
| 37 | 858.750 | 1'109,825 | Deslizamientos con material forestal que cayeron al cauce del río Santa Bárbara |
| 38 | 858.725 | 1'109,750 | |
| 39 | 860.700 | 1'107,850 | Laguna la Fé. En ella se encuentran troncos, lodo pero no presenta represamiento |
| 40 | 867.450 | 1'109,100 | |
| 41 | 867.250 | 1'108,250 | |
| 42 | 866.300 | 1'106,650 | |
| 43 | 866.100 | 1'106,450 | |
| 44 | 868.100 | 1'105,750 | |

Tabla 4.1.8 Inventario de deslizamientos ocurridos el 31 de enero de 1994, cuencas de los ríos Santa Bárbara, Q. San Antonio y La Cristalina. Fuente CVC. (Continuación)

Como complemento se realizó el inventario de las estaciones hidrometeorológicas existentes en las subcuencas donde se localizan los deslizamientos, observando que en dichas zonas, no existen estaciones con registros históricos de precipitación, por lo cual se escogieron 7 estaciones (ver **Tabla 4.1.9**) de un total de 12 existentes en las cuencas de los ríos Bolo, Fraile y en zonas vecinas, las cuales cumplen con las condiciones mínimas para realizar el estudio, aunque su cobertura espacial puede ser considerada como regular.

| Códig | Nombre | Municipio | Elevación (msnm) | oordenada N-W | Período Años | Precipitación Media (mm) |
|-------|-------------|-----------|------------------|---------------|--------------|--------------------------|
| 3E+06 | Chambu | Palmira | 1350 | 03-29 76-13 | 1973-1996 | 1702.8 |
| 3E+06 | Bolo Blanco | Pradera | 2410 | 03-26 76-04 | 1971-1996 | 1425.5 |
| 3E+06 | La Soledad | Florida | 2160 | 03-22 76-10 | 1971-1996 | 1904.3 |
| 3E+06 | La Diana | Florida | 1960 | 03-19 76-11 | 1971-1996 | 1408.8 |
| 3E+06 | Florida | Florida | 1038 | 03-21 76-15 | 1953-1996 | 1392.7 |
| 3E+06 | Los Alpes | Florida | 2380 | 03-16 76-09 | 1971-1996 | 2055.3 |
| 3E+06 | Cajones | Florida | 2370 | 03-14 76-07 | 1973-1996 | 1501.1 |

Tabla 4.1.9 Estaciones pluviométricas.

Como ilustración del procedimiento realizado en cada una de las estaciones se explica a continuación el procesamiento de la información pluviométrica en la estación CAJONES Código 2606020 perteneciente al IDEAM. En primer lugar, se realizaron histogramas multianuales, mensuales y diarios observando que el año en el que ocurrió el evento presenta una precipitación anual cerca del promedio multianual, y que el fenómeno del 31 de enero de 1994 sucedió en un período de lluvias moderadas y los meses precedentes corresponden al período lluvioso (**Figuras 4.1.11, 4.1.12 y 4.1.13**).

Se obtuvo la lluvia acumulada para una duración de 400 días (aproximadamente el año antecedente, **Figura 4.1.14**) y se identificaron las lluvias máximas acumuladas para las duraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 60 y 90 días; las cuales se compararon con la lluvia acumulada del evento (**Figura 4.1.15**). Se observa que la curva del evento se acerca al promedio de las lluvias máximas en duraciones de 2 y 5 días, siendo la primera la duración crítica.

Los registros de lluvias acumuladas por año se ajustaron por medio de la Distribución Gumbel para las duraciones hasta 10 días, y por la Distribución Log-Normal para las de 20, 30, 60 y 90 días, con el fin de calcular estadísticamente el período de retorno de la lluvia con duración crítica de dos días, que para el caso es de 2 años (ver **Figura 4.1.16**), con precipitación crítica de 72 mm.

Como resultado del análisis de las 8 estaciones pluviométricas se dividió la zona de estudio en 4 sectores, cada uno de los cuales presenta características similares de precipitación crítica, duración y período de retorno de la misma, además del comportamiento anual de la precipitación e intensidad de la lluvia: (**Tabla 4.1.10 y Mapa 14**).

| Sector | Precipitación Crítica (mm) | Duración (Días) | Período de Retorno | Grado de Intensidad | Estación Representativa |
|--------|----------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 72 | 2 | 2 | Alta Media | CAJONES |
| 2 | 55 | 2 | 2 | Baja | BOLO BLANCO |
| 3 | 530 | 73 | 2 | Media | LA DIANA |
| 4 | 600 | 90 | 2 | Media | CHAMBU |

Tabla 4.1.10 Distribución espacial de la precipitación crítica.

4.1.4.3.1 Categorías de precipitación crítica.

Alta.

Corresponde a una franja de dirección N-S que atraviesa la parte central de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile y la alta de esta última (**Mapa 14**). Se caracteriza por presentar una lluvia anual entre 2000 y 1500 mm, precipitación crítica de 72 mm aproximadamente, con duración de 2 días y período de retorno de dos años. Este sector se considera el de mayor probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa debido a que la precipitación crítica en una duración corta alcanza el promedio de los máximos, sin que esta condición necesariamente coincida con un evento extraordinario de lluvias. Igualmente, las características topográficas y las propiedades intrínsecas del suelo inciden en la estabilidad de las laderas. La estación representativa de este sector es CAJONES

**LLUVIA TOTAL ANUAL (1976-1995)
ESTACION CAJONES**

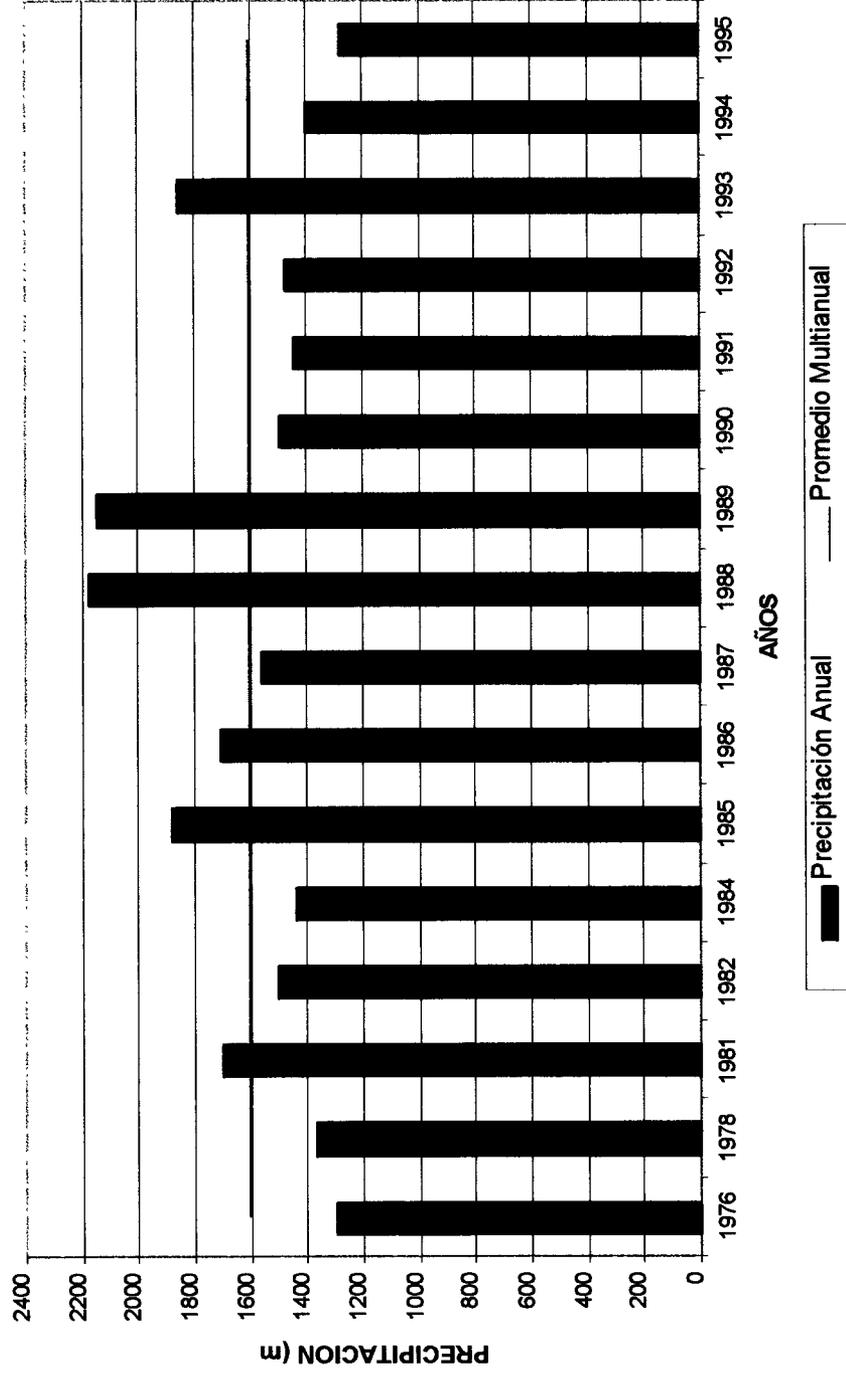


Figura 4.1.11 Lluvia total anual (1976-1995). Estación Cajones.

**LLUVIAS MEDIAS MENSUALES (1973-1995)
ESTACION CAJONES**

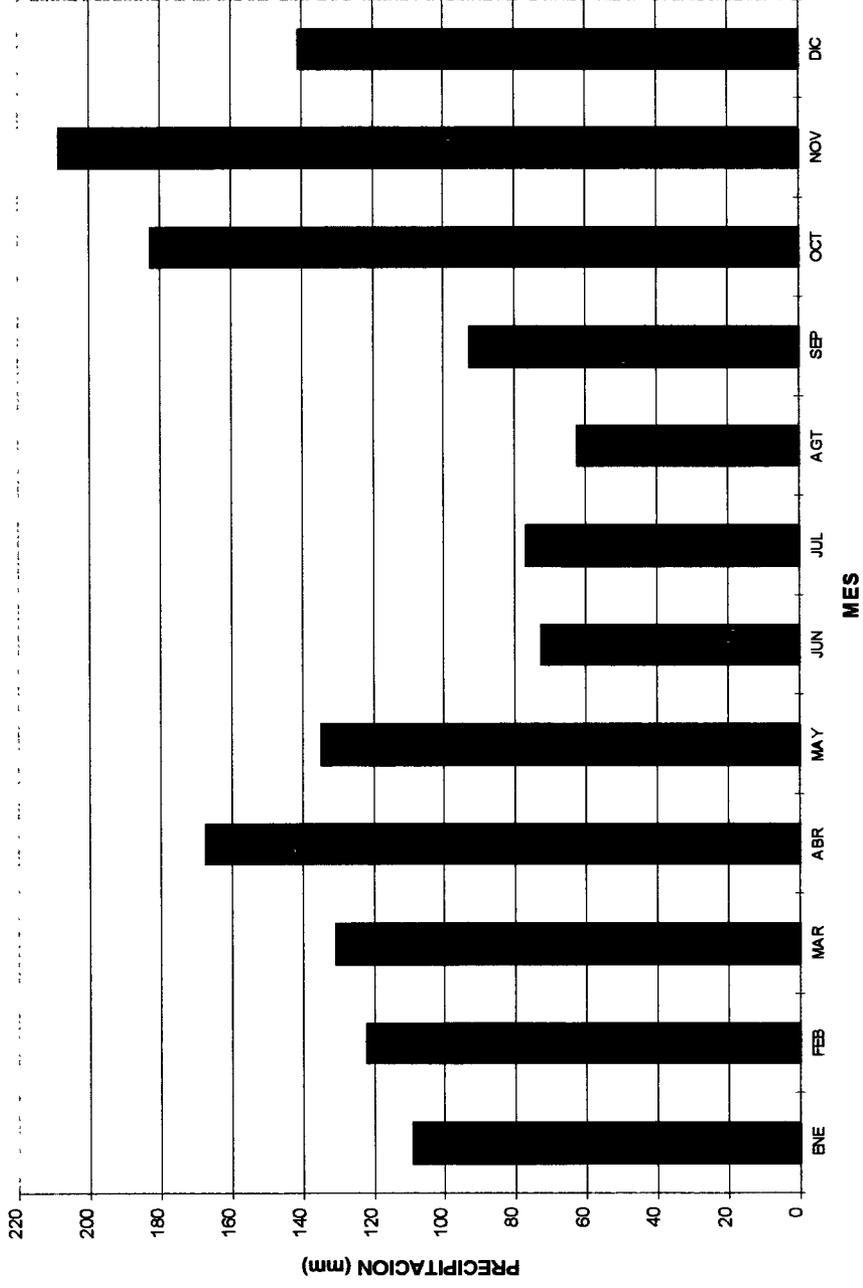


Figura 4.1.12 Lluvias medias mensuales (1973-1995). Estación Cajones.

**PRECIPITACION MENSUAL (1993 - 1994)
ESTACION CAJONES**

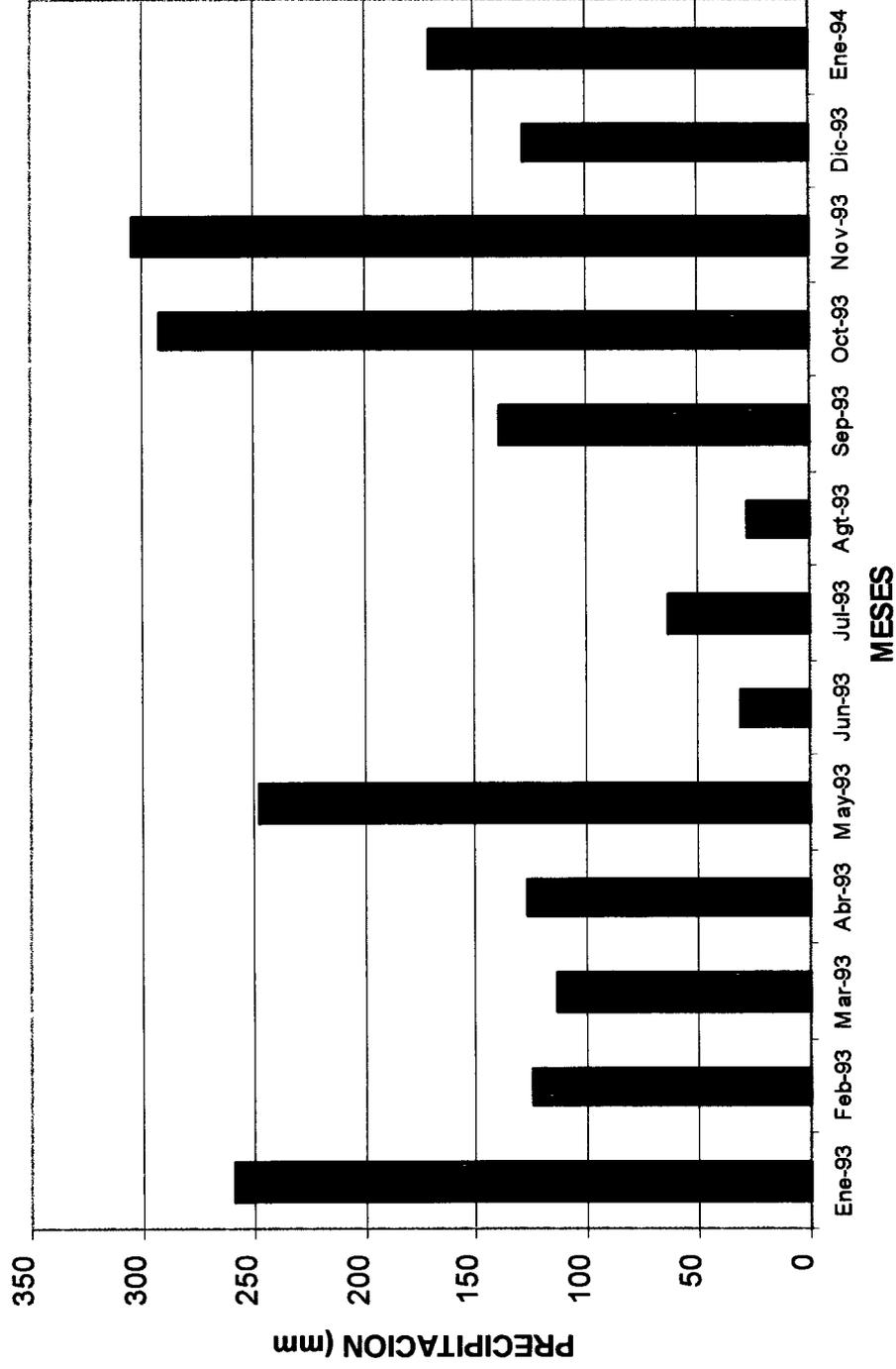


Figura 4.1.13 Precipitación mensual (1993-1994). Estación Cajones.

**PRECIPITACION TOTAL ACUMULADA
ESTACION CAJONES**

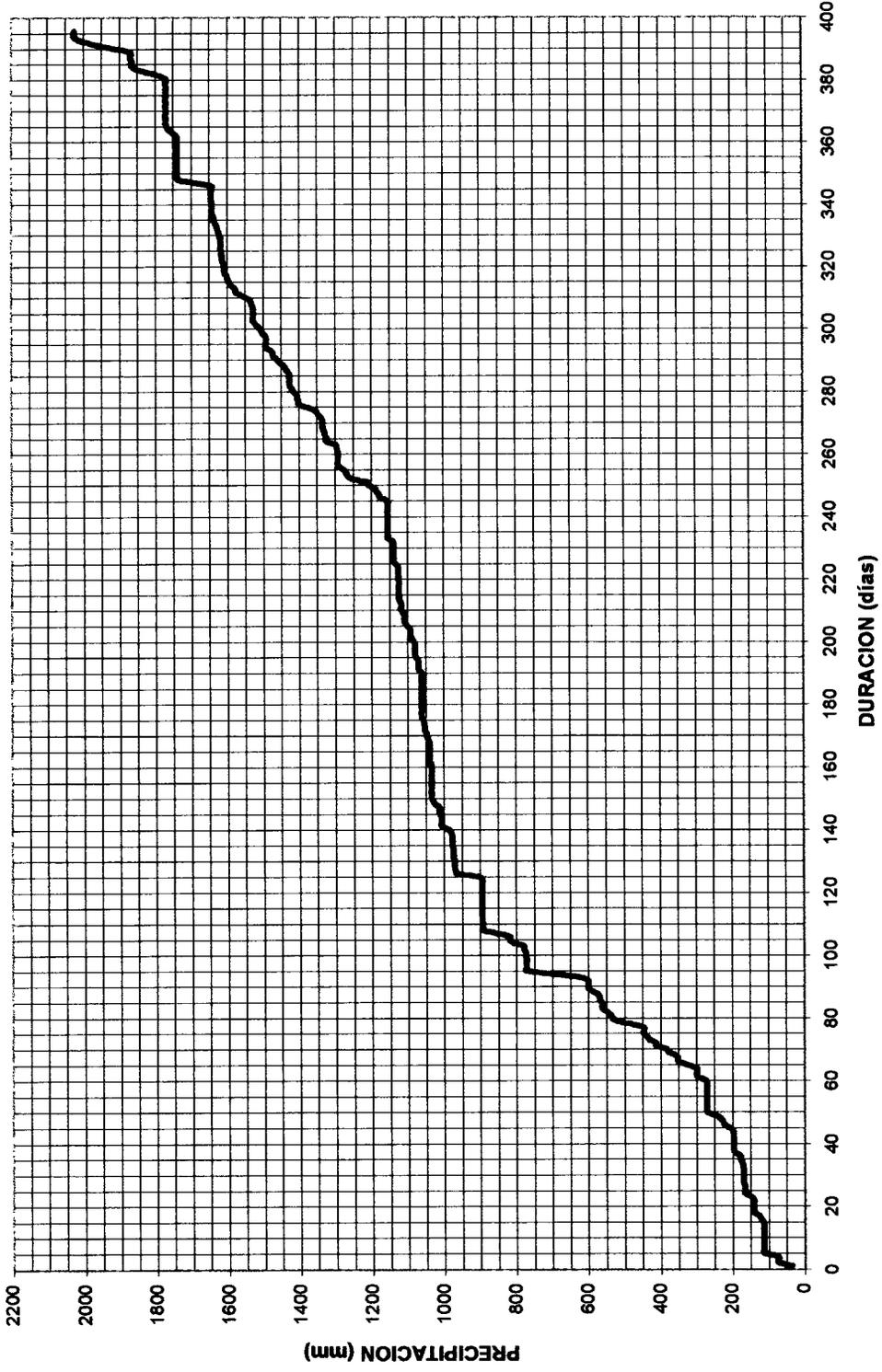


Figura 4.1.14 Precipitación total acumulada Estación Cajones.

**VALORES EXTREMOS DE LLUVIA ACUMULADA
ESTACION CAJONES**

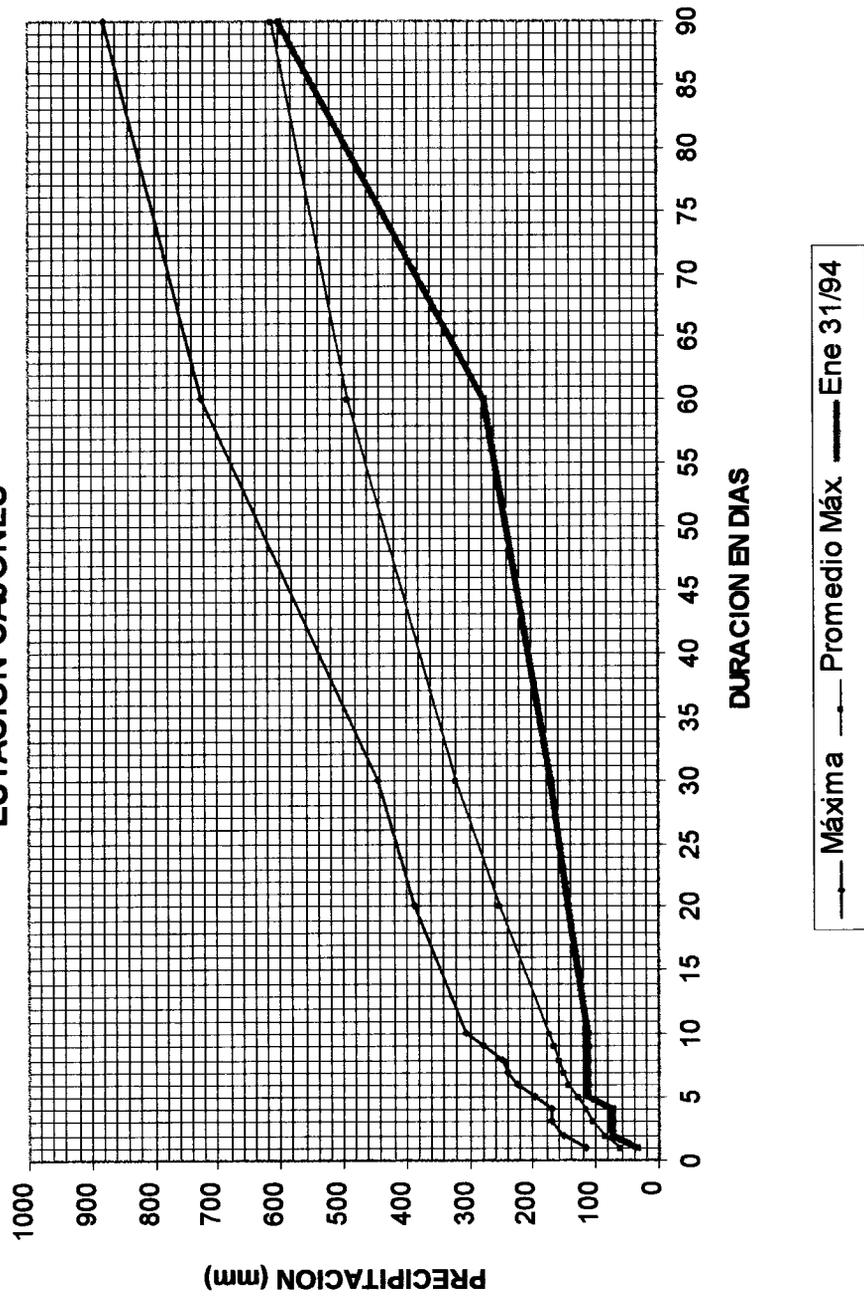


Figura 4.1.15 Valores extremos de lluvia acumulada. Estación Cajones.

**CURVA DE PRECIPITACION Y FRECUENCIA
ESTACION CAJONES**

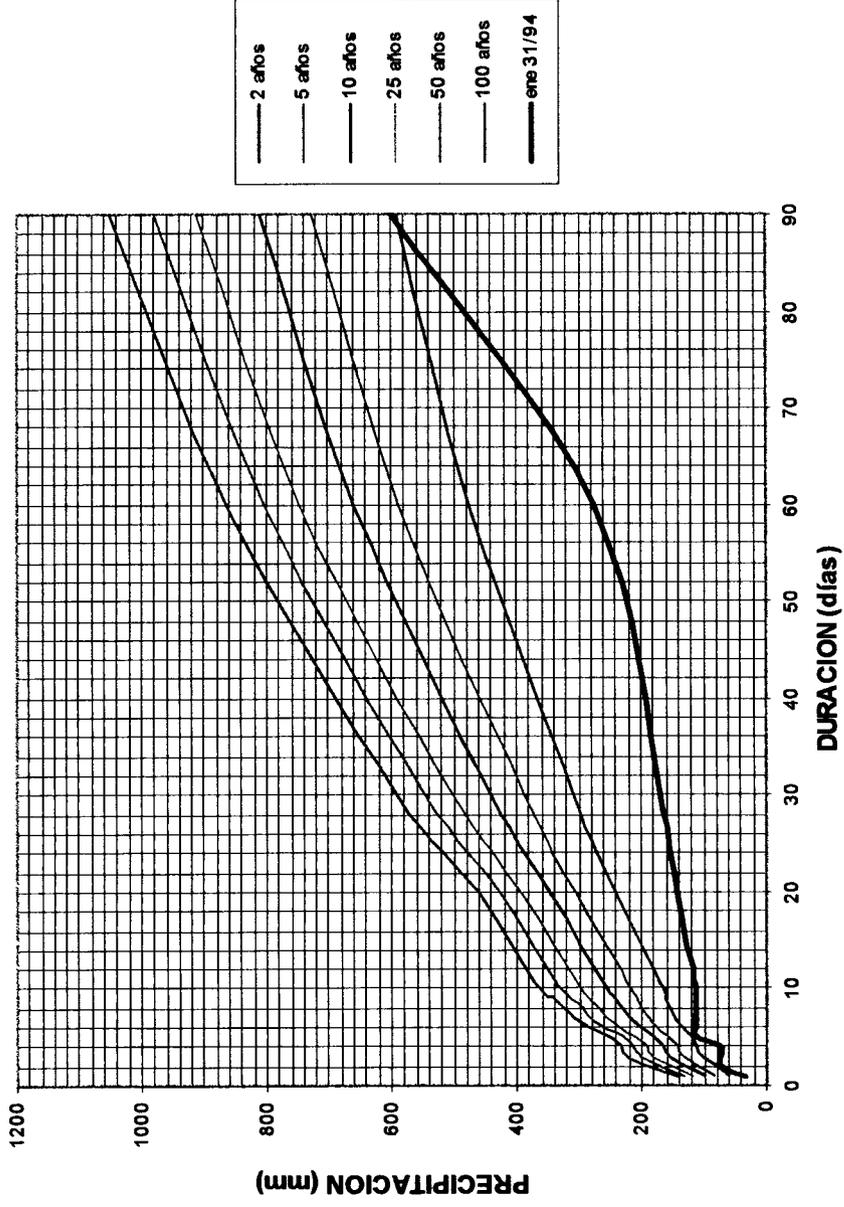


Figura 4.1.16 Curva de precipitación y frecuencia. Estación Cajones.

Media Alta.

Se encuentra al nororiente de la zona, en la parte alta de la cuenca del río Bolo. Se caracteriza por presentar una lluvia anual entre 1600 y 1400 mm, la cual es considerada una intensidad baja para la zona. La precipitación crítica es de 55 mm aproximadamente con duración de 2 días y período de retorno de dos años. Este sector se considera el de probabilidad media de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa debido a que la precipitación crítica en una duración corta alcanza el promedio de los máximos, sin que esta condición necesariamente coincida con un evento extraordinario de lluvias. Sin embargo, la baja intensidad de la precipitación es un factor que aminora el efecto de la lluvia sobre las laderas en comparación con las condiciones que se presentan en el sector de precipitación crítica alta. Igualmente, las características topográficas y las propiedades intrínsecas del suelo inciden en la estabilidad de los taludes. La estación representativa de este sector es BOLO BLANCO.

Media Baja.

Se encuentra al suroccidente de la zona, en la parte baja de la cuenca del río Fraile. Se caracteriza por presentar una lluvia anual entre 2000 y 1400 mm, intensidad media para la zona. La precipitación crítica de 530 mm aproximadamente con duración de 73 días y período de retorno de dos años. Este sector se considera con probabilidad baja de ocurrencia de procesos de remoción en masa debido a que para alcanzar el valor de la lluvia crítica se necesita un lapso prolongado de tiempo; condición que ligada con las características propias del suelo y la topografía no representa una zona problema. La estación representativa de este sector es LA DIANA.

Baja.

Se localiza al noroccidente de la zona, en la parte baja de la cuenca del río Bolo. Se caracteriza por presentar una lluvia anual entre 2000 y 1400 mm, intensidad media para la zona de estudio, precipitación crítica de 600 mm aproximadamente con duración de 90 días y período de retorno de dos años. Este sector se considera con probabilidad baja de ocurrencia de procesos de remoción en masa, debido a que para alcanzar el valor de la lluvia crítica se necesita un lapso prolongado de tiempo, condición que ligada con las características propias del suelo y la topografía no representa una zona problema. Se diferencia del sector de categoría media baja, por los valores de precipitación y duración críticos; es decir se requerirían periodos de lluvia prolongados de 90 días o más para generar procesos de remoción en masa. La estación representativa de este sector es CHAMBU.

4.2 SISMICIDAD REGIONAL Y LOCAL

Los eventos sísmicos representan uno de los agentes detonantes más importantes de los Procesos de Remoción en Masa (PRM), por esta razón, el objetivo de este estudio es presentar una Zonificación de la Amenaza Sísmica de las Cuencas de los ríos Bolo y Fraile, la cual hará parte del Modelo de Zonificación de la Amenaza Relativa por PRM en la región de estudio. Para ello, se realizó un inventario de los eventos sísmicos y su relación con la tectónica regional. Además, se efectuaron análisis de recurrencia de magnitudes y de atenuación de aceleraciones mediante la utilización de programas de computador especializados en la Evaluación de la Amenaza Sísmica.

4.2.1 INFORMACION EXISTENTE

A continuación se relacionan, entre otros, los documentos y estudios más importantes que se consultaron, con el ánimo de tener la información necesaria para llevar a cabo los objetivos propuestos:

Estudio “Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán, Ingeominas, 1992”.

Estudio “Evaluación de Amenaza Sísmica de Colombia, Asociación de Ingeniería Sísmica, Universidad de los Andes e Ingeominas, 1996.

Estudio “Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, Ingeominas y Universidad de los Andes, 1996”.

Base de Datos “Red Sismológica Nacional de Colombia, Ingeominas, Santafé de Bogotá”.

Base de Datos “Observatorio Sismológico del Suroccidente, OSSO, Cali”.

Informes internos varios del INGEOMINAS, Santafé de Bogotá.

Plancha Geológica 300-Cali, escala 1:100.000, INGEOMINAS, 1985.

Planchas Geológicas de los Departamentos del Cauca y Valle, INGEOMINAS.

4.2.2 INVENTARIO DE EVENTOS SISMICOS

Para obtener un inventario representativo de eventos, fue necesario consultar los catálogos de diferentes centros sismológicos como:

4.2.2.1 Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), del INGEOMINAS.

Se consultó el catálogo de registros históricos e instrumentales a nivel nacional, que cubre

el periodo desde 1566 a junio de 1995, incluyendo nuevos datos de redes tanto nacionales como internacionales. En este catálogo se realizó una labor de **Homogeneización de Magnitudes** con el fin de evitar errores en el manejo de la información, dicha labor permitió calcular todos los registros en una misma unidad de medida, en particular, magnitudes de superficie “Ms”.

4.2.2.2 Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO), Universidad del Valle.

Proporcionó por intermedio de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), un catálogo de registros sísmicos instrumentales correspondientes a una ventana que incluye los municipios de Pradera, Florida y áreas subyacentes, que cubren el periodo desde octubre de 1987 a marzo de 1997. Debido a que la magnitud registrada es calculada a partir de la duración de la señal o coda (magnitud de duración, M_D), se realizó una homogeneización a magnitudes “ m_b ” y “Ms” según las propuestas y utilizadas en el catálogo de la RSNC:

$$m_b = 0.6 M_D + 1.1 \quad (\text{Dimaté C., Perdomo J., 1996})$$

$$M_s = m_b - 1.3 \quad \text{para } m_b \leq 4.3 \quad (\text{Geller, 1976})$$

4.2.2.3 National Earthquake Information Center (NEIC).

Se consultó el catálogo internacional a partir de julio de 1991 hasta abril de 1995, con el fin de complementar y corroborar las ecuaciones de homogeneización de M_D a m_b mencionadas anteriormente. Cabe anotar que este catálogo internacional fue utilizado para realizar los análisis de homogeneización de magnitudes que incluye el catálogo nacional de la RSNC practicado por el Ingeominas.

De la información anterior se escogieron los sismos que cumplieron las siguientes condiciones:

1. Distancia epicentral máxima (respecto al centro de la zona de estudio) de 50 Km y Ms mínima de 0.0 sobre catálogo RSNC (**Tabla.4.2.1**).
2. Distancia epicentral máxima de 100 Km y Ms mínima de 0.0 sobre catálogo RSNC (**Tabla.4.2.2**).
3. Distancia epicentral máxima de 100 Km y Ms mínima de 5.0 sobre catálogo RSNC (**Tabla 4.2.3**).
4. Distancia epicentral máxima de 100 Km y Ms mínima de 0.0 sobre catálogos RSNC y OSSO.

TABLA 4.2.1

INGEOMINAS - INGENIERIA GEOAMBIENTAL
 INVENTARIO DE SISMOS DESDE 1566 HASTA JUNIO/1995

(HOMOGENEIZADO)

| PROYECTO | | Zonificación de Amenaza por F.R.M. de las Cuenclas de los Rios Bolo y Frayle | | RADIO | | 50 Km | | FECHA | | MAY/97 | | | | | | | |
|----------|-----------|--|------|---------|-----|------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|------------|-----|---------|----------|-----------|-------------|------------|
| SITIO | | Municipios de Pradera y Floride (Valle del Cauca) | | MAG MIN | | 0 0 | | LONGITUD | | 76 13 W | | | | | | | |
| | | | | | | | | LATTITUD | | 3 38 N | | | | | | | |
| DATO No. | SISMO No. | Region Sismica | AÑO | MES | DIA | HORA | LATTITUD GRADOS | LONGITUD GRADOS | PROFUND. Km | MAGNIT. Ms | MAGNIT. Mb | INT | Esc.INT | Fenomeno | TIPO SIS. | D.EPICE. Km | D.FOCAL Km |
| 1 | 25 | 103 | 1766 | 7 | 9 | 21:00:00.0 | 3.60 | -76.30 | | 6.3 | | 8 | K | XXXXXD | P | 30.37 | 30.37 |
| 2 | 26 | 103 | 1766 | 7 | 16 | 13:30:00.0 | 3.70 | -76.30 | | 3.5 | | 4 | M | XXXXXX | A | 39.76 | 39.76 |
| 3 | 27 | 103 | 1767 | 2 | 7 | 04:15:00.0 | 3.70 | -76.30 | | 3.5 | | 4 | M | XXXXXX | P | 39.76 | 39.76 |
| 4 | 272 | 103 | 1906 | 2 | 3 | 08:42:00.0 | 3.50 | -76.20 | | 4.0 | | 4 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 14.93 |
| 5 | 273 | 103 | 1906 | 2 | 17 | 00:00:00.0 | 3.50 | -76.20 | | 3.0 | | 4 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 14.93 |
| 6 | 381 | 103 | 1944 | 11 | 8 | 04:57:42.5 | 3.20 | -76.00 | | 3.5 | | 4 | M | XXXXXX | P | 25.19 | 25.19 |
| 7 | 645 | 103 | 1959 | 10 | 31 | 05:01:31.0 | 3.00 | -76.00 | | 4.0 | | 5 | M | XXXXXX | P | 45.10 | 45.10 |
| 8 | 1096 | 103 | 1967 | 2 | 16 | 23:49:08.8 | 3.40 | -75.80 | 196.0 | 3.0 | 4.3 | 5 | M | XXXXXX | P | 37.08 | 199.48 |
| 9 | 1242 | 103 | 1969 | 7 | 15 | 03:13:28.6 | 3.50 | -76.20 | 168.0 | 3.0 | 4.3 | 5 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 168.66 |
| 10 | 1773 | 103 | 1975 | 3 | 31 | 01:42:36.3 | 3.20 | -75.90 | 83.0 | 2.7 | 4.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 32.97 | 89.31 |
| 11 | 1867 | 103 | 1976 | 7 | 6 | 06:48:54.7 | 3.40 | -76.40 | 141.0 | 3.0 | 4.3 | 5 | M | XXXXXX | P | 29.69 | 144.09 |
| 12 | 2671 | 103 | 1984 | 1 | 25 | 18:46:25.4 | 3.40 | -76.50 | 65.0 | 3.5 | 4.6 | | | XXXXXX | P | 40.78 | 76.73 |
| 13 | 2803 | 103 | 1986 | 3 | 27 | 06:05:33.4 | 3.50 | -76.50 | 146.0 | 3.5 | 4.6 | | | | P | 42.75 | 152.13 |
| 14 | 2972 | 103 | 1988 | 3 | 11 | 08:57:52.5 | 3.50 | -75.80 | 39.0 | 2.4 | 3.7 | | | | P | 39.24 | 55.32 |
| 15 | 3032 | 103 | 1988 | 6 | 18 | 19:49:49.3 | 3.80 | -76.20 | 106.0 | 2.2 | 3.5 | | | | P | 46.89 | 115.91 |
| 16 | 3053 | 103 | 1988 | 7 | 30 | 06:35:03.5 | 3.40 | -76.20 | 89.0 | 2.2 | 3.5 | | | | P | 7.64 | 89.33 |
| 17 | 3107 | 103 | 1988 | 11 | 7 | 16:43:52.0 | 3.80 | -76.10 | 44.0 | 2.4 | 3.7 | | | | P | 46.44 | 63.98 |
| 18 | 3272 | 103 | 1989 | 6 | 22 | 14:06:00.5 | 3.70 | -75.90 | 26.0 | 2.2 | 3.5 | | | | P | 43.71 | 50.85 |
| 19 | 3439 | 103 | 1991 | 3 | 6 | 23:07:58.2 | 3.40 | -75.90 | 175.0 | 3.0 | 4.3 | | | | P | 25.99 | 176.92 |
| 20 | 3491 | 103 | 1991 | 10 | 4 | 20:45:50.3 | 3.10 | -76.40 | 153.0 | 3.5 | 4.6 | | | | P | 43.23 | 158.99 |
| 21 | 3550 | 103 | 1992 | 4 | 8 | 05:30:04.2 | 3.20 | -76.40 | 60.0 | 2.9 | 4.2 | | | | P | 35.96 | 69.95 |

TABLA 4.2.2

INGEOMINAS - INGENIERIA GEOAMBIENTAL
 INVENTARIO DE SISMOS DESDE 1566 HASTA JUNIO/1995

(HOMOGENEIZADO)

| PROYECTO-SITIO | | Zonificación de Amenaza por F.R.M. de las Cuencas de los Ríos Bolo y Frayle Municipios de Pradera y Florida (Valle del Cauca) | | | | | | | | RADIO MAG MIN | 100 Km 0.0 | FECHA. LONGITUD LATITUD | MAY/97 76.13 W 3.38 N | | | |
|----------------|-----------|---|------|-----|-----|------------|----------------|-----------------|-------------|------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------|----------|------------|------------|
| DATO No. | SISMO No. | Region Sísmica | AÑO | MES | DÍA | HORA | LATITUD GRADOS | LONGITUD GRADOS | PROFUND. Km | MAGNIT. Ms | INT | Esc.INT | Fenomeno | TPO SIS. | D.EPICE Km | D.FOCAL Km |
| 1 | 25 | 103 | 1766 | 7 | 9 | 21:00:00.0 | 3.60 | -76.30 | | 6.3 | 8 | K | XXXXXD | P | 30.37 | 30.37 |
| 2 | 26 | 103 | 1766 | 7 | 16 | 13:30:00.0 | 3.70 | -76.30 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | A | 39.76 | 39.76 |
| 3 | 27 | 103 | 1767 | 2 | 7 | 04:15:00.0 | 3.70 | -76.30 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 39.76 | 39.76 |
| 4 | 58 | 103 | 1816 | 11 | 29 | 02:00:00.0 | 3.00 | -75.40 | | 4.5 | 7 | M | XXXXXX | P | 91.94 | 91.94 |
| 5 | 59 | 103 | 1816 | 11 | 29 | 19:00:00.0 | 3.00 | -75.40 | | 4.5 | 5 | M | XXXXXX | A | 91.94 | 91.94 |
| 6 | 63 | 103 | 1820 | 7 | 8 | 00:00:00.0 | 3.00 | -76.50 | | 4.5 | 7 | M | XXXXXX | P | 58.94 | 58.94 |
| 7 | 272 | 103 | 1906 | 2 | 3 | 08:42:00.0 | 3.50 | -76.20 | | 4.0 | 4 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 14.93 |
| 8 | 273 | 103 | 1906 | 2 | 17 | 00:00:00.0 | 3.50 | -76.20 | | 3.0 | 4 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 14.93 |
| 9 | 332 | 103 | 1935 | 10 | 27 | 22:05:05.0 | 4.00 | -76.00 | 150.0 | 5.5 | 7 | M | XXXXXX | P | 70.10 | 165.57 |
| 10 | 381 | 103 | 1944 | 11 | 8 | 04:57:42.5 | 3.20 | -76.00 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 25.19 | 25.19 |
| 11 | 390 | 103 | 1946 | 3 | 29 | 09:19:08.1 | 2.70 | -76.50 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | A | 86.17 | 86.17 |
| 12 | 391 | 103 | 1946 | 3 | 29 | 15:02:04.8 | 2.70 | -76.50 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | A | 86.17 | 86.17 |
| 13 | 392 | 103 | 1946 | 3 | 29 | 17:34:29.8 | 2.70 | -76.50 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | A | 86.17 | 86.17 |
| 14 | 403 | 103 | 1946 | 4 | 13 | 21:25:21.2 | 2.50 | -76.30 | | 3.0 | 4 | M | XXXXXX | A | 99.88 | 99.88 |
| 15 | 404 | 103 | 1946 | 4 | 16 | 14:50:47.6 | 2.50 | -76.30 | | 3.0 | 4 | M | XXXXXX | A | 99.88 | 99.88 |
| 16 | 406 | 103 | 1946 | 4 | 27 | 20:36:46.2 | 2.50 | -76.30 | | 3.0 | 4 | M | XXXXXX | A | 99.88 | 99.88 |
| 17 | 407 | 103 | 1946 | 5 | 2 | 10:33:38.2 | 2.50 | -76.30 | | 3.0 | 4 | M | XXXXXX | A | 99.88 | 99.88 |
| 18 | 411 | 103 | 1947 | 4 | 6 | 22:16:46.0 | 4.00 | -75.50 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 98.22 | 98.22 |
| 19 | 416 | 103 | 1947 | 9 | 22 | 22:59:13.6 | 3.60 | -76.60 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 57.17 | 57.17 |
| 20 | 432 | 103 | 1949 | 7 | 9 | 22:06:08.4 | 4.20 | -76.50 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 99.47 | 99.47 |
| 21 | 540 | 103 | 1957 | 5 | 24 | 02:37:50.0 | 3.70 | -76.80 | 60.0 | 6.7 | 8 | M | XXXXXC | P | 82.01 | 101.61 |
| 22 | 541 | 103 | 1957 | 5 | 31 | 21:57:48.0 | 3.70 | -76.80 | 62.0 | 4.0 | 5 | M | XXXXXX | A | 82.01 | 102.81 |
| 23 | 625 | 103 | 1959 | 7 | 23 | 03:48:12.0 | 2.70 | -76.20 | 60.0 | 4.5 | 6 | M | XXXXXX | P | 76.29 | 97.05 |
| 24 | 630 | 103 | 1959 | 8 | 7 | 21:52:00.0 | 2.80 | -76.20 | | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 65.24 | 65.24 |
| 25 | 645 | 103 | 1959 | 10 | 31 | 05:01:31.0 | 3.00 | -76.00 | | 4.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 45.10 | 45.10 |
| 26 | 677 | 103 | 1960 | 4 | 2 | 15:00:36.0 | 3.00 | -76.50 | | 4.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 58.94 | 58.94 |
| 27 | 736 | 103 | 1961 | 5 | 8 | 19:13:08.2 | 2.80 | -76.20 | 71.0 | 3.5 | 4 | M | XXXXXX | P | 65.24 | 96.42 |
| 28 | 783 | 103 | 1962 | 10 | 4 | 22:47:46.3 | 4.20 | -75.80 | 166.0 | 4.5 | 5 | M | XXXXXX | P | 98.01 | 192.77 |
| 29 | 831 | 103 | 1963 | 8 | 15 | 00:47:05.0 | 2.80 | -76.10 | | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 64.92 | 72.83 |
| 30 | 832 | 103 | 1963 | 8 | 20 | 13:19:50.3 | 4.10 | -76.50 | 50.0 | 3.3 | 5 | M | XXXXXX | P | 89.45 | 102.47 |
| 31 | 1096 | 103 | 1967 | 2 | 16 | 23:49:08.8 | 3.40 | -75.80 | 196.0 | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 37.08 | 199.48 |
| 32 | 1101 | 103 | 1967 | 2 | 25 | 17:06:34.0 | 2.50 | -76.20 | 118.0 | 2.7 | 5 | M | XXXXXX | P | 98.43 | 153.66 |
| 33 | 1218 | 103 | 1968 | 12 | 4 | 13:23:09.0 | 3.90 | -75.90 | 96.0 | 2.8 | 5 | M | XXXXXX | P | 62.99 | 114.82 |
| 34 | 1229 | 103 | 1969 | 3 | 2 | 12:44:12.3 | 3.80 | -75.50 | 213.0 | 2.9 | 5 | M | XXXXXX | P | 84.23 | 229.05 |
| 35 | 1242 | 103 | 1969 | 7 | 15 | 03:13:28.6 | 3.50 | -76.20 | 168.0 | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 14.93 | 168.66 |
| 36 | 1583 | 103 | 1974 | 2 | 3 | 20:16:25.3 | 3.00 | -76.60 | 158.0 | 3.2 | 5 | M | XXXXXX | P | 67.10 | 171.66 |
| 37 | 1708 | 103 | 1974 | 7 | 27 | 01:31:58.4 | 3.90 | -76.60 | 130.0 | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 77.36 | 151.28 |
| 38 | 1749 | 103 | 1974 | 12 | 8 | 14:54:36.1 | 3.00 | -75.60 | 80.0 | 3.5 | 5 | M | XXXXXX | P | 72.98 | 108.29 |
| 39 | 1773 | 103 | 1975 | 3 | 31 | 01:42:36.3 | 3.20 | -75.90 | 83.0 | 2.7 | 5 | M | XXXXXX | P | 32.97 | 89.31 |
| 40 | 1867 | 103 | 1976 | 7 | 6 | 06:48:54.7 | 3.40 | -76.40 | 141.0 | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 29.69 | 144.09 |
| 41 | 2005 | 103 | 1977 | 4 | 9 | 13:41:12.3 | 3.20 | -76.60 | 100.0 | 3.0 | 5 | M | XXXXXX | P | 55.71 | 114.47 |
| 42 | 2135 | 103 | 1979 | 3 | 27 | 09:09:17.9 | 4.10 | -76.10 | 126.0 | 3.3 | 5 | M | XXXXXX | P | 79.72 | 149.10 |
| 43 | 2473 | 103 | 1981 | 8 | 5 | 12:58:28.0 | 3.90 | -76.40 | 62.0 | 4.2 | | | XXXXXX | P | 64.60 | 89.54 |
| 44 | 2534 | 103 | 1982 | 2 | 13 | 01:09:22.2 | 3.90 | -76.40 | 151.0 | 3.2 | | | XXXXXX | P | 64.60 | 164.24 |
| 45 | 2671 | 103 | 1984 | 1 | 25 | 18:46:25.4 | 3.40 | -76.50 | 65.0 | 3.5 | | | XXXXXX | P | 40.78 | 76.73 |
| 46 | 2704 | 103 | 1984 | 7 | 11 | 17:22:26.2 | 3.80 | -76.90 | 64.0 | 3.9 | | | XXXXXX | P | 96.95 | 116.17 |
| 47 | 2724 | 103 | 1984 | 10 | 26 | 16:12:47.2 | 2.90 | -76.30 | 163.0 | 3.3 | | | XXXXXX | P | 56.81 | 172.62 |
| 48 | 2802 | 103 | 1986 | 3 | 27 | 04:04:55.2 | 3.90 | -76.20 | 135.0 | 2.8 | | | | P | 57.88 | 146.89 |
| 49 | 2803 | 103 | 1986 | 3 | 27 | 06:05:33.4 | 3.50 | -76.50 | 146.0 | 3.5 | | | | P | 42.75 | 152.13 |
| 50 | 2968 | 103 | 1988 | 3 | 6 | 23:58:03.0 | 4.20 | -75.80 | 181.0 | 2.2 | | | | P | 98.01 | 205.83 |
| 51 | 2970 | 103 | 1988 | 3 | 9 | 05:33:29.7 | 3.20 | -76.90 | 28.0 | 2.3 | | | | P | 87.59 | 91.95 |
| 52 | 2972 | 103 | 1988 | 3 | 11 | 08:57:52.5 | 3.50 | -75.80 | 39.0 | 2.4 | | | | P | 39.24 | 55.32 |
| 53 | 3003 | 103 | 1988 | 4 | 19 | 04:10:45.9 | 3.60 | -77.00 | 32.0 | 2.3 | | | | P | 99.26 | 104.29 |
| 54 | 3032 | 103 | 1988 | 6 | 18 | 19:49:49.3 | 3.80 | -76.20 | 106.0 | 2.2 | | | | P | 46.89 | 115.91 |
| 55 | 3053 | 103 | 1988 | 7 | 30 | 06:35:03.5 | 3.40 | -76.20 | 89.0 | 2.2 | | | | P | 7.64 | 89.33 |
| 56 | 3093 | 103 | 1988 | 10 | 17 | 01:55:49.2 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.5 | | | | P | 59.29 | 63.24 |
| 57 | 3107 | 103 | 1988 | 11 | 7 | 16:43:52.0 | 3.80 | -76.10 | 44.0 | 2.4 | | | | P | 46.44 | 63.98 |
| 58 | 3108 | 103 | 1988 | 11 | 10 | 15:42:21.4 | 3.90 | -75.40 | 33.0 | 3.5 | | | | P | 99.67 | 104.99 |
| 59 | 3119 | 103 | 1988 | 12 | 7 | 06:37:35.6 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.3 | | | | P | 59.29 | 63.24 |
| 60 | 3206 | 103 | 1989 | 3 | 8 | 16:21:24.9 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.8 | | | | P | 59.29 | 63.24 |
| 61 | 3213 | 103 | 1989 | 3 | 19 | 14:21:15.7 | 3.90 | -76.10 | 44.0 | 2.4 | | | | P | 57.53 | 72.42 |
| 62 | 3231 | 103 | 1989 | 4 | 3 | 13:21:04.4 | 2.80 | -75.90 | 24.0 | 2.3 | | | | P | 69.81 | 73.82 |
| 63 | 3240 | 103 | 1989 | 4 | 20 | 06:36:26.4 | 3.70 | -76.90 | 39.0 | 2.2 | | | | P | 92.17 | 100.08 |
| 64 | 3242 | 103 | 1989 | 4 | 22 | 11:28:02.3 | 3.80 | -76.80 | 51.0 | 2.5 | | | | P | 67.35 | 101.15 |
| 65 | 3243 | 103 | 1989 | 4 | 23 | 12:42:35.2 | 4.10 | -76.00 | 10.0 | 2.2 | | | | P | 81.00 | 81.61 |
| 66 | 3245 | 103 | 1989 | 4 | 25 | 12:16:55.5 | 4.20 | -76.00 | 141.0 | 2.4 | | | | P | 91.94 | 168.33 |
| 67 | 3272 | 103 | 1989 | 6 | 22 | 14:06:00.5 | 3.70 | -75.90 | 26.0 | 2.2 | | | | P | 43.71 | 50.85 |

TABLA 4.2.2

INGEOMINAS - INGENIERIA GEOAMBIENTAL
INVENTARIO DE SISMOS DESDE 1566 HASTA JUNIO/1995

(HOMOGENEZADO)

| PROYECTO: | | Zonificación de Amenaza por F R M de las Cuencas de los Ríos Bolo y Freyle | | | | | | | | RADIO: | | FECHA | | MAY/87 | | |
|-----------|-----------|--|------|-----|-----|------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-----|----------|----------|-----------|------------|------------|
| SITIO | | Municipios de Pradera y Florida (Valle del Cauca) | | | | | | | | 100 Km | | LONGITUD | | 76 13 W | | |
| | | | | | | | | | | MAG MIN | | LATITUD | | 3.38 N | | |
| DATO No. | SISMO No. | Region Sismica | AÑO | MES | DIA | HORA | LATITUD GRADOS | LONGITUD GRADOS | PROFUND. Km | MAGNIT. Ms | INT | Esc. INT | Fenomeno | TIPO SIS. | D.EPICE Km | D.FOCAL Km |
| 68 | 3282 | 103 | 1989 | 6 | 28 | 05:04:40.4 | 3.90 | -75.80 | 22.0 | 2.6 | | | | P | 68.32 | 71.77 |
| 69 | 3297 | 103 | 1989 | 8 | 31 | 16:02:10.4 | 3.90 | -76.00 | 131.0 | 3.3 | | | | P | 59.29 | 143.79 |
| 70 | 3339 | 103 | 1990 | 4 | 13 | 15:25:04.4 | 3.90 | -76.30 | 168.0 | 3.5 | | | | P | 60.32 | 178.50 |
| 71 | 3363 | 103 | 1990 | 10 | 23 | 09:13:04.4 | 3.10 | -75.30 | 33.0 | 2.8 | | | | P | 97.80 | 103.22 |
| 72 | 3439 | 103 | 1991 | 3 | 6 | 23:07:58.2 | 3.40 | -75.90 | 175.0 | 3.0 | | | | P | 25.99 | 176.92 |
| 73 | 3491 | 103 | 1991 | 10 | 4 | 20:45:50.3 | 3.10 | -76.40 | 153.0 | 3.5 | | | | P | 43.23 | 158.99 |
| 74 | 3507 | 103 | 1991 | 11 | 13 | 13:21:47.9 | 3.00 | -76.40 | 149.0 | 3.9 | | | | P | 51.88 | 157.78 |
| 75 | 3550 | 103 | 1992 | 4 | 8 | 05:30:04.2 | 3.20 | -76.40 | 60.0 | 2.9 | | | | P | 35.96 | 69.95 |
| 76 | 4068 | 103 | 1994 | 6 | 6 | 20:47:39.9 | 2.90 | -76.10 | 1.0 | 6.6 | | | | P | 53.83 | 53.84 |
| 77 | 4070 | 103 | 1994 | 6 | 8 | 08:55:00.7 | 2.70 | -75.90 | 42.0 | 3.2 | | | | P | 80.23 | 90.56 |
| 78 | 4105 | 103 | 1994 | 8 | 4 | 02:50:48.6 | 2.70 | -76.10 | 0.0 | 3.2 | | | | P | 76.02 | 76.02 |
| 79 | 4116 | 103 | 1994 | 8 | 29 | 07:43:55.0 | 2.70 | -76.10 | 6.0 | 3.2 | | | | P | 76.02 | 76.25 |
| 80 | 4172 | 103 | 1994 | 11 | 16 | 03:57:10.2 | 3.50 | -75.40 | 0.0 | 2.6 | | | | P | 82.51 | 82.51 |

TABLA 4.2.3

INGEOMINAS - INGENIERIA GEOAMBIENTAL
INVENTARIO DE SISMOS DESDE 1566 HASTA JUNIO/1995

(HOMOGENEIZADO)

| PROYECTO | | Zonificación de Amenaza por F R M de las Cuencas de los Rios Bolo y Frayle | | | | | | | | | | RADIO | | FECHA | | MAY/97 | |
|----------|-------|--|------|-----|----|------------|---------|----------|----------|---------|-----|----------|----------|-----------|----------|---------|--|
| SITIO | | Municipios de Pradera y Florida (Valle del Cauca) | | | | | | | | | | MAG MIN. | | LONGITUD | | 76 13 W | |
| | | | | | | | | | | | | 5 0 | | LATTITUD | | 3 38 N | |
| DATO | SISMO | Region | AÑO | MES | DA | HORA | LATITUD | LONGITUD | PROFUND. | MAGNIT. | INT | Esc.INT | Fenomeno | TIPO SIS. | D.EPICE. | D.FOCAL | |
| No | No. | Sismica | | | | | GRADOS | GRADOS | Km | Ms | | | | | Km | Km | |
| 1 | 25 | 103 | 1766 | 7 | 9 | 21 00 00 0 | 3 60 | -76 30 | | 6 3 | 8 | K | XXXXXD | P | 30 37 | 30 37 | |
| 2 | 332 | 103 | 1935 | 10 | 27 | 22 05 05 0 | 4 00 | -76 00 | 150 0 | 5 5 | 7 | M | XXXXXX | P | 70 10 | 165 57 | |
| 3 | 540 | 103 | 1957 | 5 | 24 | 02 37 50 0 | 3 70 | -76 80 | 60 0 | 6 7 | 8 | M | XXXXXC | P | 82 01 | 101 61 | |
| 4 | 4068 | 103 | 1994 | 6 | 6 | 20 47 39 9 | 2 90 | -76 10 | 1 0 | 6 6 | | | | P | 53.83 | 53 84 | |

Cabe anotar que el centro de la zona de estudio (CE), se ubicó en el punto de coordenadas geográficas:

Latitud: 3° 23' N 3.38° N

Longitud: 76° 08' W 76.13° W

En total se obtuvieron para cada una de las condiciones mencionadas 21, 80, 4 y 445 eventos sísmicos, entre los cuales sobresale el **Sismo de Páez** ocurrido el pasado 6 de junio de 1994 y ubicado a una distancia epicentral de 53.8 Km respecto a CE, alcanzó una magnitud $M_s = 6.6$, una intensidad epicentral $I_o = XI$ grados en la escala MSK y una profundidad hipocentral de 1 Km. En la **Figura 4.2.1** se muestran las curvas de isosistas y los grados de intensidad asignados, de la cual podemos afirmar que el Sismo de Páez, al igual que la mayoría de los sismos que ocurren en la región de los Andes Colombianos, han tenido una buena propagación de las ondas sísmicas en dirección SW-NE, lo cual coincide con la existencia, en esta dirección, de la mayoría de las fallas geológicas en Colombia, las que pueden servir de canales o guías de ondas.

4.2.3 FUENTES SIMOGENICAS

4.2.3.1 FUENTES SIMOGENICAS A NIVEL REGIONAL

Definiendo una zona de influencia de 200 Km de radio alrededor de CE y con base en el “Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 1996)”, se consideraron los rasgos tectónicos más importantes que caracterizan el comportamiento sísmico de la zona de estudio, los cuales se presentan en la **Figura 4.2.2** A continuación se describe cada uno de ellos.

4.2.3.1.1 Zona de Subducción de la Placa de Nazca y de Benioff

La sismicidad asociada al plano de Bernioff, contacto entre la Placa Suramericana y la Placa de Nazca, es conocida como sismicidad de subducción. La traza del plano de subducción tiene una orientación aproximadamente paralela a la línea de costa, distintos autores coinciden en postular que la Placa de Nazca se hunde dentro del manto bajo las Cordilleras Occidental y Central con un ángulo promedio de 35° hacia el este, lo que se manifiesta en los fenómenos de vulcanismo que se presentan en la Cordillera Central.

Según estudios realizados, la Placa Oceánica de Nazca presenta distintos segmentos separados probablemente por zonas de fractura dentro del manto litosférico. Uno de estos es el segmento del Cauca (**Figura 4.2.3**) que corresponde a la porción de la placa oceánica que subduce bajo territorio colombiano el cual está limitado al sur con el Segmento del Ecuador, el cual se sitúa bajo el centro y sur de Ecuador.

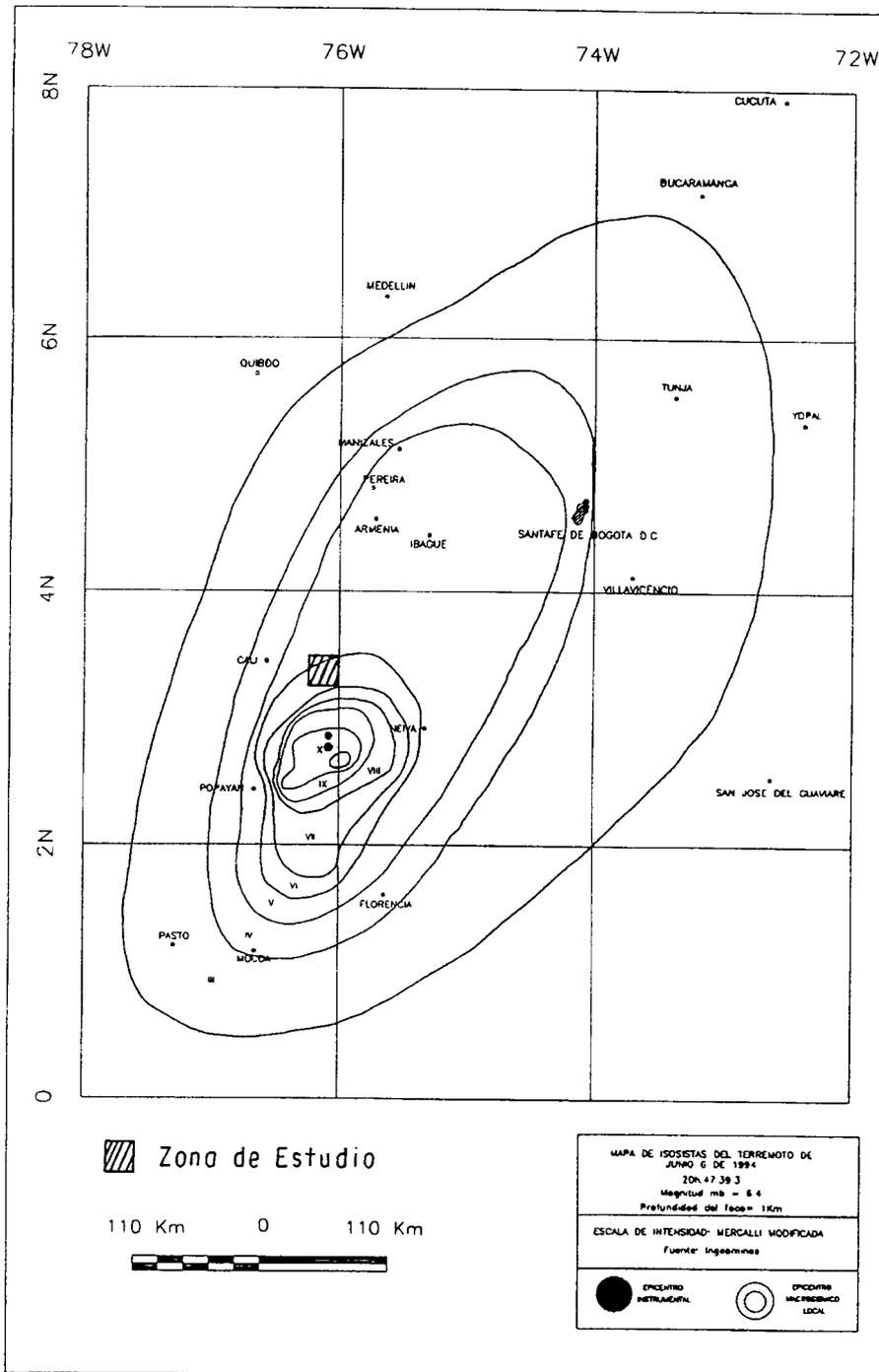


FIGURA 4.2.1
MAPA DE ISOSISTAS
SISMO DE PAEZ

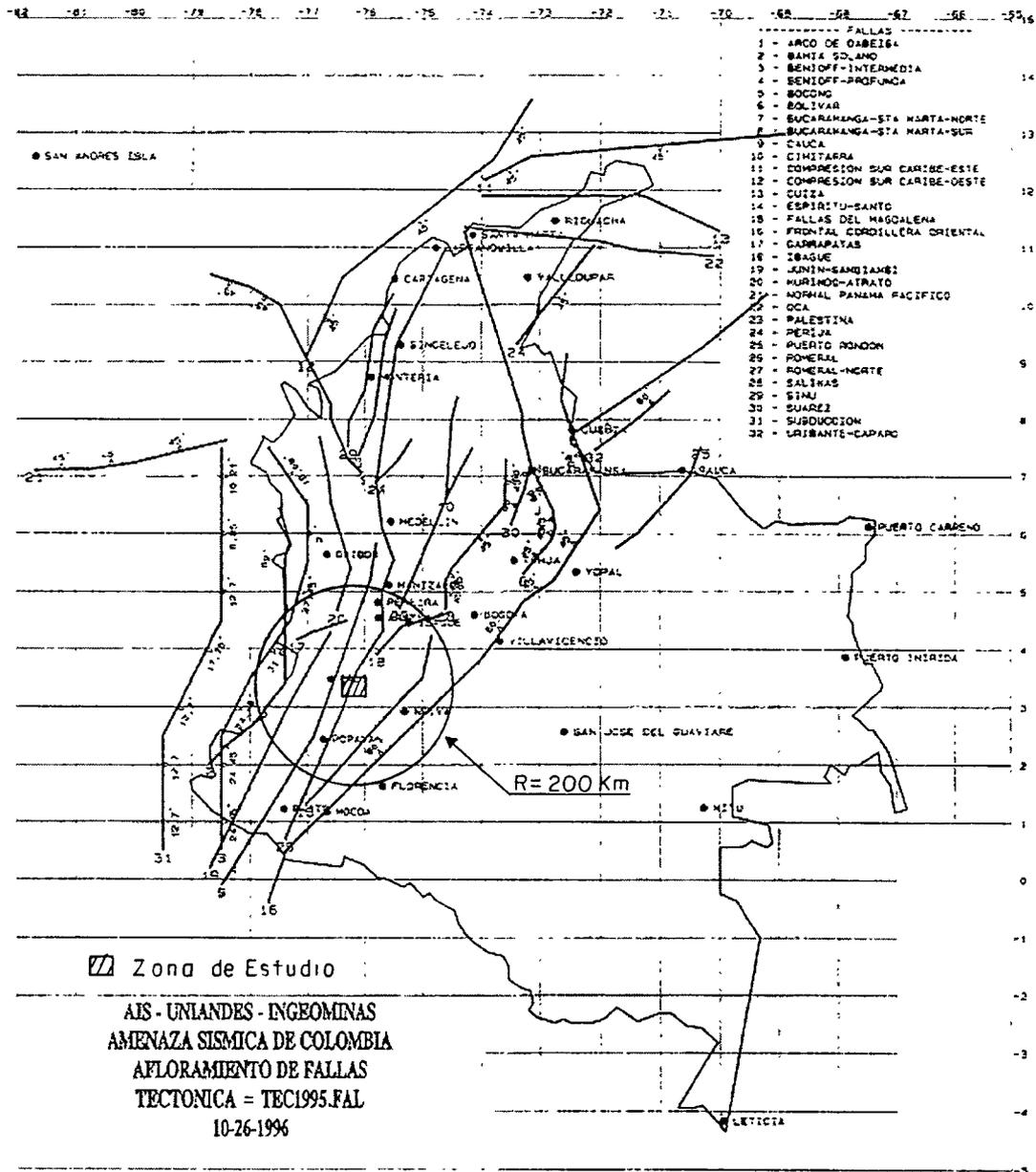


FIGURA 4.2.2
FUENTES SISMOGENICAS A NIVEL REGIONAL
ZONA DE INFLUENCIA R = 200 Km
(Tomado de AIS,1996)

En el Segmento del Cauca (**Figura 4.2.3**) se han originado sismos de diversas magnitudes asociados con distintos procesos de deformación inherentes a la subducción. En primer lugar existe una sismicidad cuyos epicentros están localizados mar adentro, asociada con el movimiento a lo largo de fallas normales generadas por la flexión de la placa oceánica (Sismo de Tumaco, 1906). En segundo lugar se tienen fallas inversas y de rumbo a lo largo de la zona de contacto entre las placas oceánica y continental (Zona de Benioff), el más reciente gran sismo ocurrido en este segmento fue el del 12 de diciembre de 1979 con magnitud Ms entre 7.7 y 7.9, el cual produjo grandes daños y cerca de 500 víctimas entre muertos y desaparecidos en el suroccidente del país como consecuencia del gran maremoto que lo acompañó.

El Segmento del Cauca (**Figura 4.2.3**) constituye probablemente la fuente sismogénica de más alta capacidad de destrucción en el país, un análisis de la placa subducida permite estimar que la magnitud última posible en la escala Ms para el tramo con profundidad hasta de 130 Km puede ser del orden de 8.0 (Subducción y Benioff Intermedia), mientras que para el tramo con profundidades desde 120 - 130 hasta 700 Km, la magnitud última posible puede llegar a 7.5 en la escala Ms.

4.2.3.1.2 Falla Bahía Solano

La falla Bahía Solano queda localizada en el extremo occidental del país, a lo largo del Océano Pacífico, desde Panamá hasta los límites entre Colombia y Ecuador, ésta es del tipo inverso de bajo ángulo. La información de los registros sísmicos asociables a la actividad de la falla Bahía Solano no son suficientes para calibrar sus parámetros de sismicidad; no obstante su posición muy cercana a la subducción, su longitud y los sismos de Bahía Solano a comienzos de 1970, permiten asignarle una magnitud última posible de 7.0 en la escala Ms.

4.2.3.1.3 Falla Cauca

En el Valle del Cauca su alineación se infiere por la trayectoria del río Cauca. Unos pocos epicentros de magnitud modesta y foco de poca profundidad quedan localizados prácticamente sobre el alineamiento de este sistema de fallamiento que se prolonga desde el sur del país hasta el Departamento de Caldas en una longitud de más de 400 Km. La falla Cauca ha sido catalogada del tipo normal con un buzamiento fuerte hacia el oeste. Su geometría, posición y tipo permiten asignarle una magnitud última posible de 7.0 en la escala Ms.

4.2.3.1.4 Falla Romeral

Es la estructura tectónica de mayor importancia en el país ya que lo atraviesa en su totalidad de norte a sur, por ende, ha jugado un papel fundamental en la historia geológica de Colombia. Se le pueden atribuir los más importantes sismos de la Colonia (1766, 1736 y

eventualmente 1566), algunos del siglo pasado (1878 y 1855) y algunos de los más importantes de este siglo. El sismo que destruyó la ciudad de Popayán el 31 de Marzo de 1983 se debió a la actividad de la falla Rosas-Julumito que hace parte del sistema Romeral. La expresión de la falla Romeral indica un sentido de movimiento variable, la falla presenta en el tramo central una componente de movimiento en sentido inverso, los estudios realizados en Popayán con motivo del sismo mencionado indican que en esa zona el movimiento actual de la falla es de tipo inverso dextral.

La profundidad media de los sismos asociables los muestran bastantes superficiales; los parámetros de sismicidad, el tipo de fallamiento y su posición entre la subducción y la falla frontal de la Cordillera Oriental, indican que la magnitud última posible para esta falla es del orden de 7.6 en la escala Ms.

4.2.3.1.5 Fallas del Magdalena

Este sistema, considerado hasta ahora de relativa poca importancia en la sismicidad regional, ocupa el borde occidental del valle del Magdalena en el Departamento del Huila. Las fallas principales son las de La Plata y Chusma. Su actividad se ha establecido utilizando estudios geomorfológicos, de campo y de fotointerpretación y se confirma con la sismicidad, pues varios focos de poca profundidad se le pueden asignar, como por ejemplo algunos sismos históricos de intensidad intermedia (1805, 1816, 1824 y 1942). La magnitud última posible asociada con esta falla se ha estimado en 7.0 en la escala Ms.

4.2.3.1.6 Falla Frontal de la Cordillera Oriental

Es un sistema de fallas de orientación general SW-NE que recorre el flanco oriental de la Cordillera Oriental y que se prolonga hasta el Golfo de Guayaquil, el cual conforma uno de los sistemas más activos de los Andes del Norte, los dos grandes sismos ocurridos en 1827 en el Huila y en 1834 en Nariño sirven de apoyo a esta hipótesis.

Existen numerosos sismos de todo tipo de magnitud y de profundidades focales del orden de 50 a 60 Km, asociables a su actividad, además, el tipo de fallamiento, su longitud y su posición permiten asignar a esta falla una magnitud última posible de 8.0 en la escala Ms. La falla presenta distintos segmentos dispuestos en relevo, lo cual sugiere una componente de movimiento de rumbo en sentido lateral derecho, la longitud media de los segmentos mayores oscila entre 60 y 80 Km, representando fuentes sismogénicas de alta capacidad destructora.

4.2.3.1.7 Falla Ibagué

Esta falla de dirección aproximada EW se extiende desde el flanco oriental de la Cordillera Central hasta el flanco occidental de la Cordillera Oriental, cruzando el valle del Magdalena. Tiene un movimiento de rumbo lateral derecho, su plano de falla es subvertical

y las rupturas superficiales afectan el Abanico de Ibagué, lo cual permite catalogarla como activa.

4.2.3.1.8 Falla Garrapatas

Se extiende desde la costa Pacífica hasta el flanco oriental de la Cordillera Occidental formando parte de la zona de deformación de Isthmina, posee un movimiento de rumbo lateral derecho, su zona de falla está caracterizada por rocas oceánicas intensamente deformadas.

4.2.3.2 FUENTES SISMOGENICAS A NIVEL LOCAL

Similarmente al caso anterior, se tomó una zona de influencia de 100 Km de radio alrededor de CE, se procedió con base tanto en el “Estudio de Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán (INGEOMINAS, 1992) como en la Geología, a definir los rasgos que en cercanías de las cuencas en estudio influyen severamente en la sismicidad que se presenta en las mismas. Las fuentes cercanas a considerar en la evaluación de Amenaza Sísmica Local son:

- Falla Calima.
- Sistema de Fallas de Romeral.
- Falla del Cauca.
- Falla Ibagué - Cucuana.
- Fallas del Magdalena (Chusma - Plata).
- Zona de Benioff (Intermedia y Profunda).

En la **Figura 4.2.3** se presentan las fuentes sismogénicas mencionadas anteriormente dentro de las zonas de influencia de 100 km (análisis local) y 200 km (análisis regional).

La ubicación de los eventos sísmicos que cumplen la condición 4^a mencionada anteriormente (distancia de 100 km y M_s mínima =0), se presenta en la **Figura 4.2.4**, en ella se superponen los trazados aproximados de las fuentes de actividad reconocida en la región para una zona de influencia de 100 km (análisis local), con el fin de observar con claridad la relación falla - evento. Además se muestra en la **Figura 4.2.5** un corte W-E, en el cual se aprecian las profundidades hipocentrales de los eventos.

**ZONA DE INFLUENCIA LOCAL
CUARTA CONDICION (R<=100Km - Ms>=0.0)**

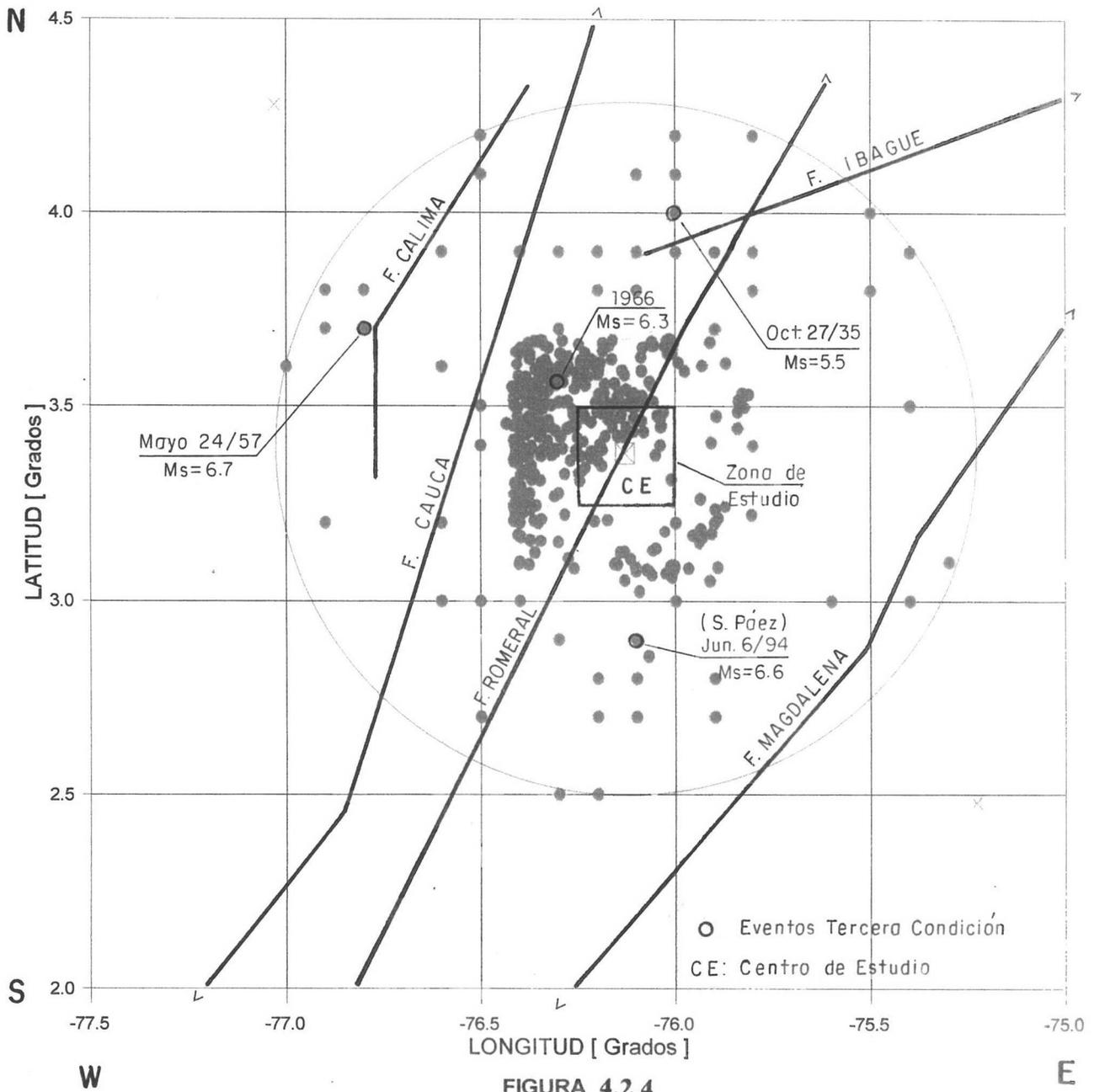


FIGURA 4.2.4

CORTE W - E vs PROFUNDIDAD
CUARTA CONDICION (R<=100Km - Ms>=0.0)

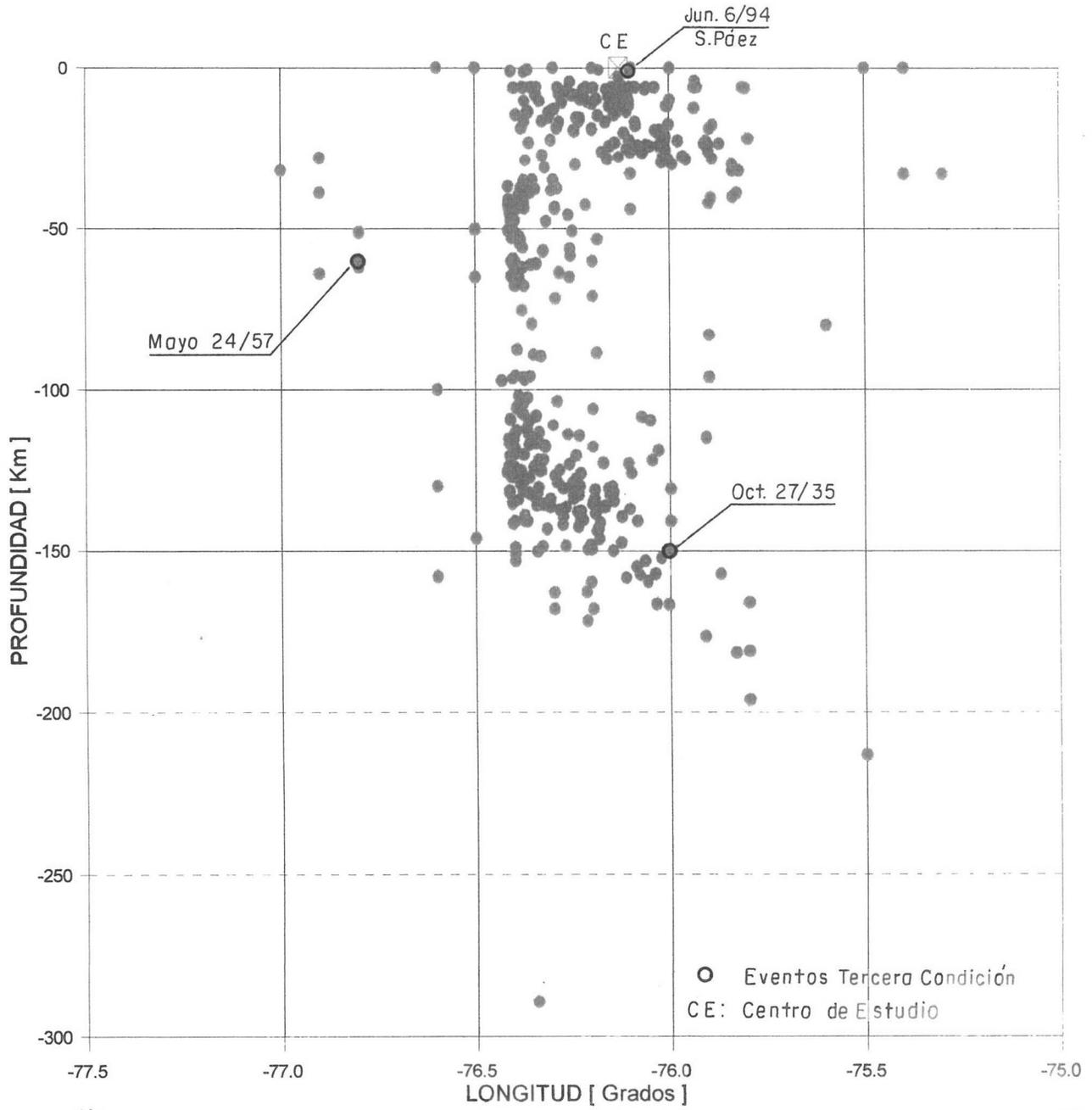


FIGURA 4.2.5

4.2.4 RECURRENCIA DE MAGNITUDES

4.2.4.1 A NIVEL REGIONAL

Con base en AIS (1996), se presentan en las **Tablas 4.2.4 y 4.2.5** los parámetros de los modelos de recurrencia para cada fuente en un lapso de tiempo de la información sísmica 1957-1995 (periodo en el cual existe una red sísmica suficientemente densa para poder calcular la profundidad del sismo), y para las dos magnitudes mínimas utilizadas ($M_s=3$ y $M_s=4$). Como información adicional se presenta gráficamente los resultados de recurrencia de magnitudes en escala semilogarítmica, para tres lapsos de tiempo de información sísmica (**Figuras 4.2.3 a 4.2.15**):

1566 - 1995 (Primer sismo histórico)

1922 - 1995 (Llegada del primer sismógrafo al país)

1957 - 1995 (En referencia)

4.2.4.2 A NIVEL LOCAL

4.2.4.2.1 Asignación de Eventos a las Fuentes Sismogénicas

El análisis de asignación de eventos es único y depende de la tectónica considerada en la zona de influencia, de la información sísmica utilizada (inventario o catálogo) y del ancho del corredor de asignación.

En estudios de amenaza y riesgo sísmico desarrollados en el país, la tarea de asignar los eventos a las diferentes fuentes sísmicas ubicadas dentro de la zona de influencia se hacía de manera manual, lo cual presentaba importantes inconvenientes con respecto a tiempo de dedicación y a errores de asignación. Por lo tanto se vio en la necesidad de desarrollar programas que hicieran esta tarea de una manera automática y confiable, entre tales programas se destaca el realizado por la AIS sobre lenguaje QuickBasic 4.5 llamado "TIRO.BAS", el cual realiza un proceso de "tiro al blanco" que asigna los diferentes sismos a las fallas propuestas; recientemente INGEOMINAS desarrolló el programa "ASIGFALL" sobre Pascal, el cual por medio de la definición de corredores de falla asigna los eventos consignados en un catálogo a unas fallas.

A partir del inventario de 445 eventos sísmicos obtenido para la 4a. condición y utilizando el programa "ASIGFALL", se procedió a la labor de asignación de dichos eventos a las fallas que se relacionan en la **Tabla 4.2.6** Después de varios intentos buscando que la mayoría de los eventos fuesen asignados a las fuentes sismogénicas ya definidas, se llegó a los resultados que se presentan en la **Tabla 4.2.7**.

TABLA 4.2.4
Parámetros de las regresiones para $M_s \geq 3$ - Corredor 60 Km - Ventana 1957-1995

| FALLA | Mmín | Mmáx | FRECUENCIA (Sismos/año) | BETA | PROFUNDIDAD PROMEDIO (Km) |
|-----------------------------|------|------|----------------------------|---------|------------------------------|
| Subducción | 3.0 | 8.6 | 16.18421 | 1.39382 | 25.8 |
| Benioff-Intermedia | 3.0 | 8.0 | 1.97368 | 0.9458 | 72.4 |
| Benioff-Profunda | 3.0 | 7.5 | 17.44737 | 1.64348 | 165.1 |
| Bahía Solano | 3.0 | 7.5 | 1.34211 | 0.98867 | 27.9 |
| Cauca | 3.0 | 7.0 | 0.34211 | 1.70972 | 23.8 |
| Romeral | 3.0 | 7.6 | 0.81579 | 1.03798 | 28.1 |
| Fallas del Magdalena | 3.0 | 7.0 | 0.39474 | 1.85244 | 18.8 |
| Frontal Cordillera Oriental | 3.0 | 8.0 | 2.65789 | 0.98874 | 21.4 |
| Garrapatas | 3.0 | 6.5 | 0.10526 | 2.12383 | 30.4 |
| Ibagué | 3.0 | 6.5 | 0.39474 | 2.69796 | 31.1 |

Tomado de AIS, 1996

TABLA 4.2.5
Parámetros de las regresiones para $M_s \geq 4$ - Corredor 60 Km - Ventana 1957-1995

| FALLA | Mmin | Mmax | FRECUENCIA (Sismos /año) | BETA | PROFUNDIDAD PROMEDIO (Km) |
|-----------------------------|------|------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| Subducción | 4.0 | 8.6 | 7.89474 | 1.44831 | 25.8 |
| Benioff-Intermedia | 4.0 | 8.0 | 0.76316 | 0.86795 | 72.4 |
| Benioff-Profunda | 4.0 | 7.5 | 6.44737 | 1.68113 | 165.1 |
| Bahía Solano | 4.0 | 7.5 | 0.60526 | 0.95461 | 27.9 |
| Cauca | 4.0 | 7.0 | 0.13158 | 2.54780 | 26.3 |
| Romeral | 4.0 | 7.6 | 0.21053 | 0.73626 | 28.1 |
| Fallas del Magdalena | 4.0 | 7.0 | 0.07895 | 2.24413 | 18.8 |
| Frontal Cordillera Oriental | 4.0 | 8.0 | 1.15789 | 0.97052 | 21.4 |
| Garrapatas | 3.0 | 6.5 | 0.10526 | 2.12383 | 30.4 |
| Ibagué | 3.0 | 6.5 | 0.39474 | 2.69796 | 31.1 |

Tomado de AIS, 1996

SUBDUCCION

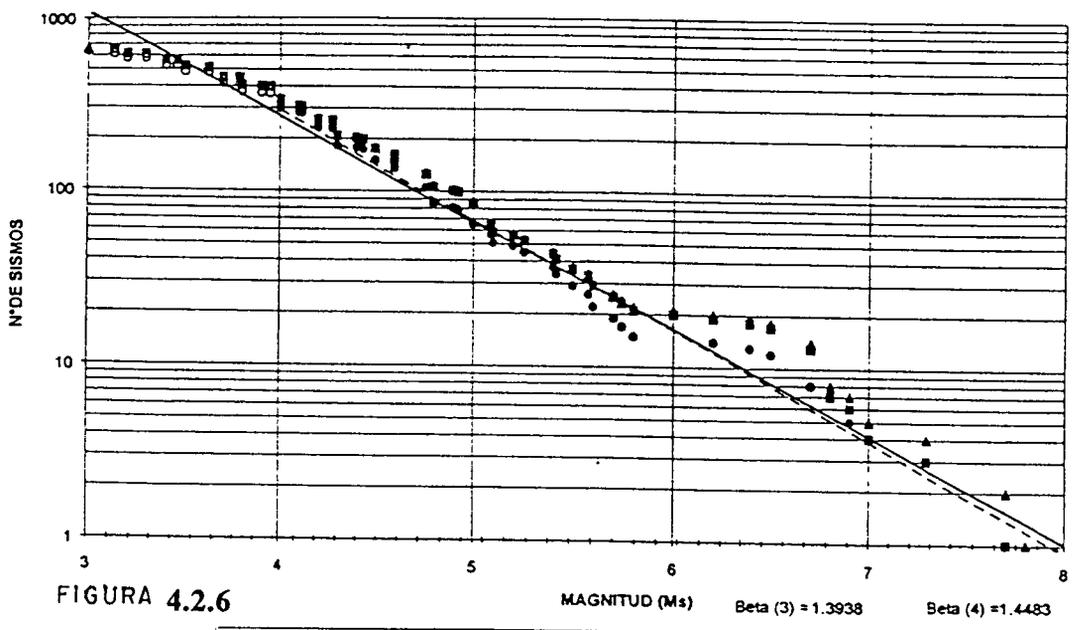


FIGURA 4.2.6

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| △ 1566-1995 Mmin3 | ▲ 1566-1995 Mmin4 | □ 1922-1995 Mmin3 | ■ 1922-1995 Mmin4 |
| ○ 1957-1995 Mmin3 | ● 1957-1995 Mmin4 | — REGR. Mmin3 | - - REGR. Mmin4 |

BENIOFF-INTERMEDIA

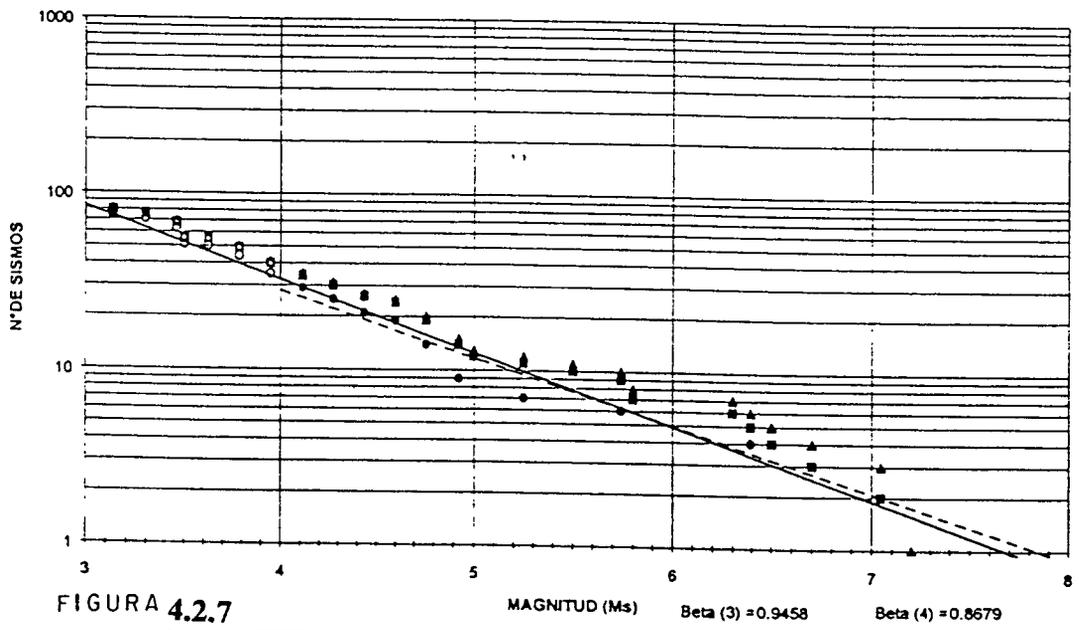
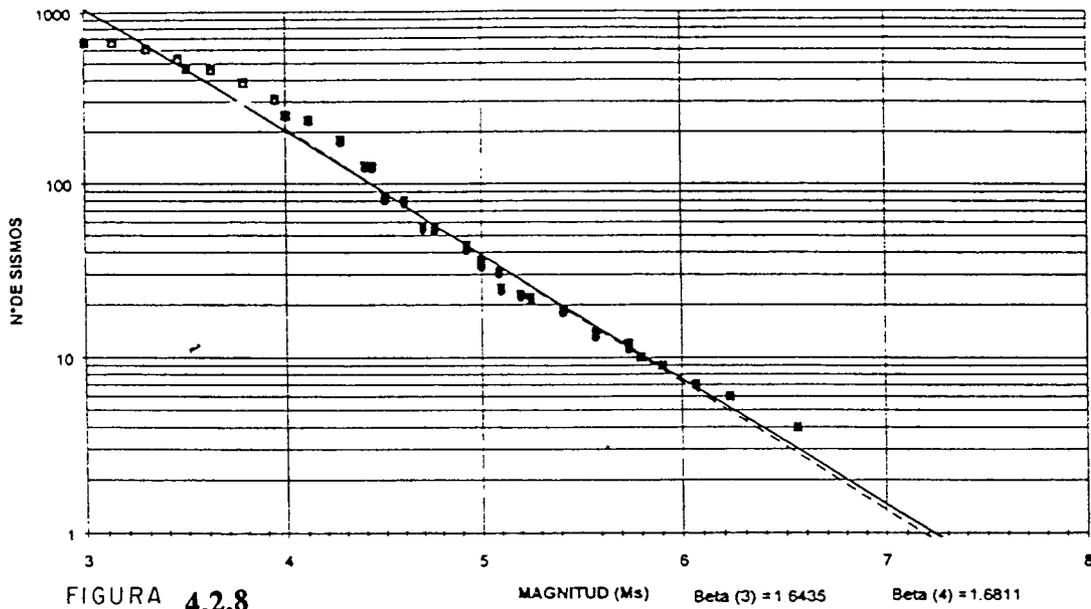


FIGURA 4.2.7

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| △ 1566-1995 Mmin3 | ▲ 1566-1995 Mmin4 | □ 1922-1995 Mmin3 | ■ 1922-1995 Mmin4 |
| ○ 1957-1995 Mmin3 | ● 1957-1995 Mmin4 | — REGR. Mmin3 | - - REGR. Mmin4 |

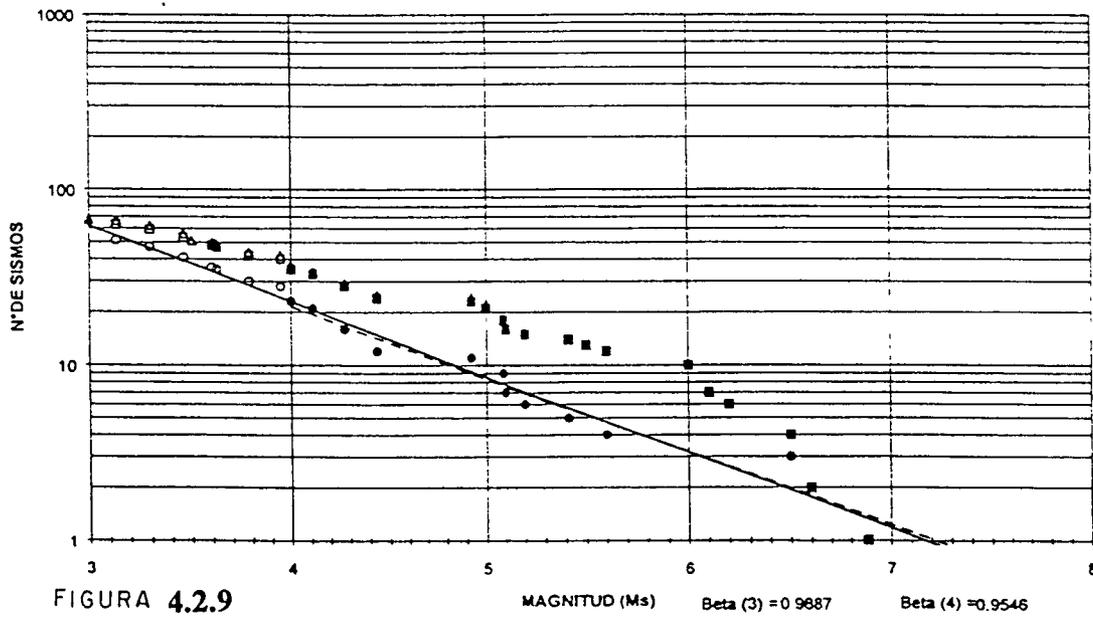
(Tomado de AIS, 1996)

BENIOFF-PROFUNDA



| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ▲ 1566-1995 Mmin3 | ▲ 1566-1995 Mmin4 | □ 1922-1995 Mmin3 | ■ 1922-1995 Mmin4 |
| ○ 1957-1995 Mmin3 | ● 1957-1995 Mmin4 | — REGR. Mmin3 | — REGR. Mmin4 |

BAHIA SOLANO



| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ▲ 1566-1995 Mmin3 | ▲ 1566-1995 Mmin4 | □ 1922-1995 Mmin3 | ■ 1922-1995 Mmin4 |
| ○ 1957-1995 Mmin3 | ● 1957-1995 Mmin4 | — REGR. Mmin3 | — REGR. Mmin4 |

(Tomado de AIS, 1996)

CAUCA

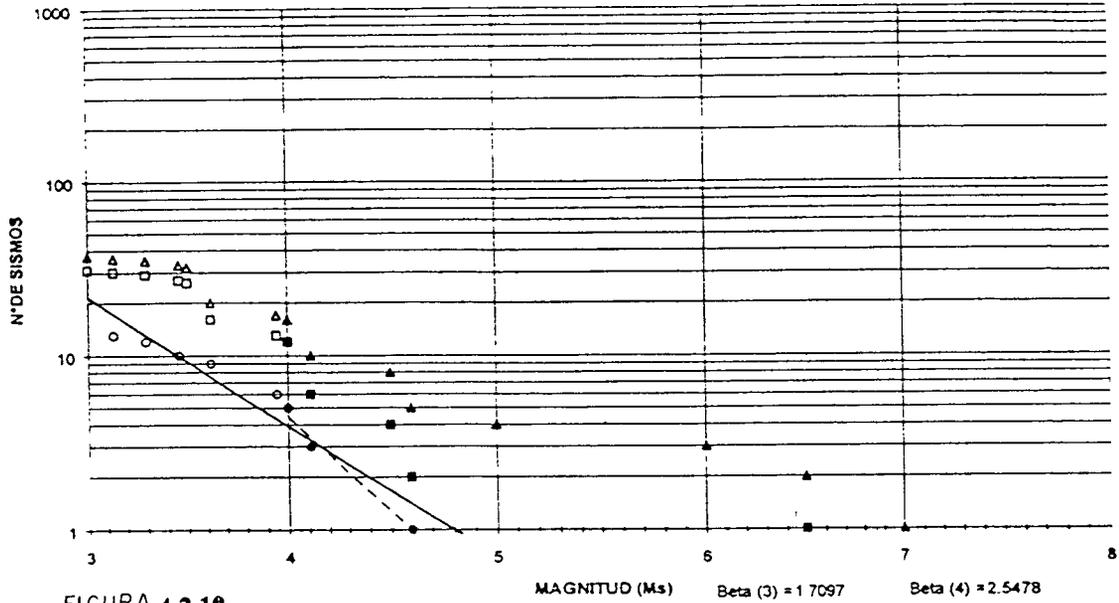
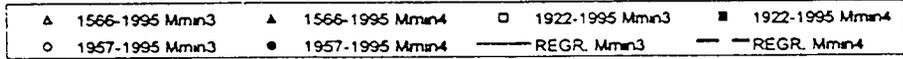


FIGURA 4.2.10



ROMERAL

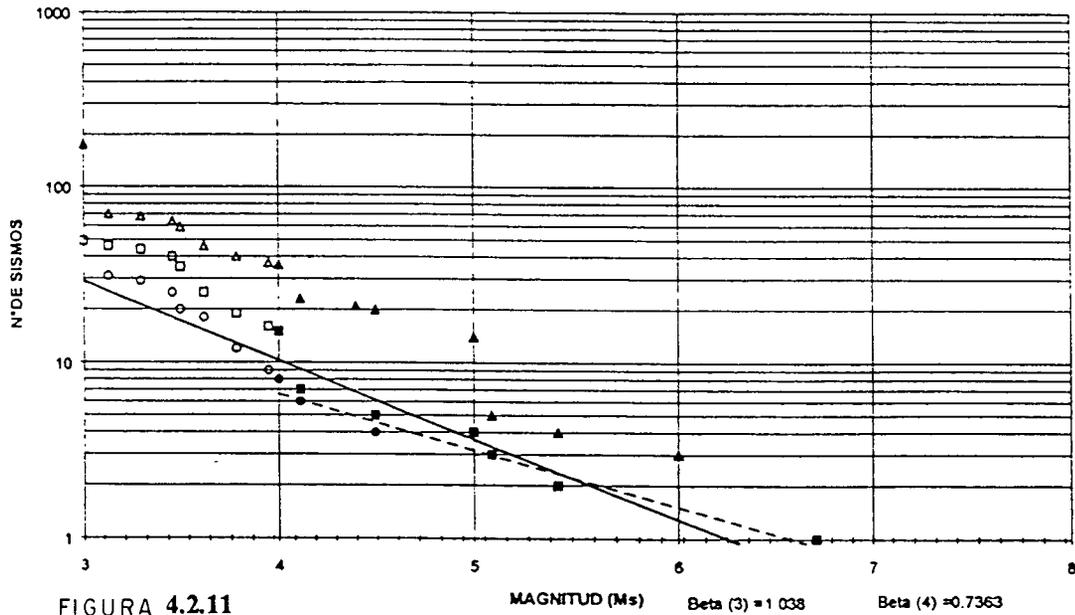
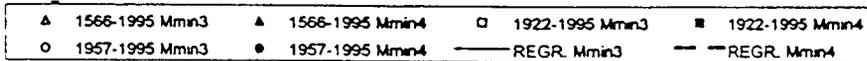
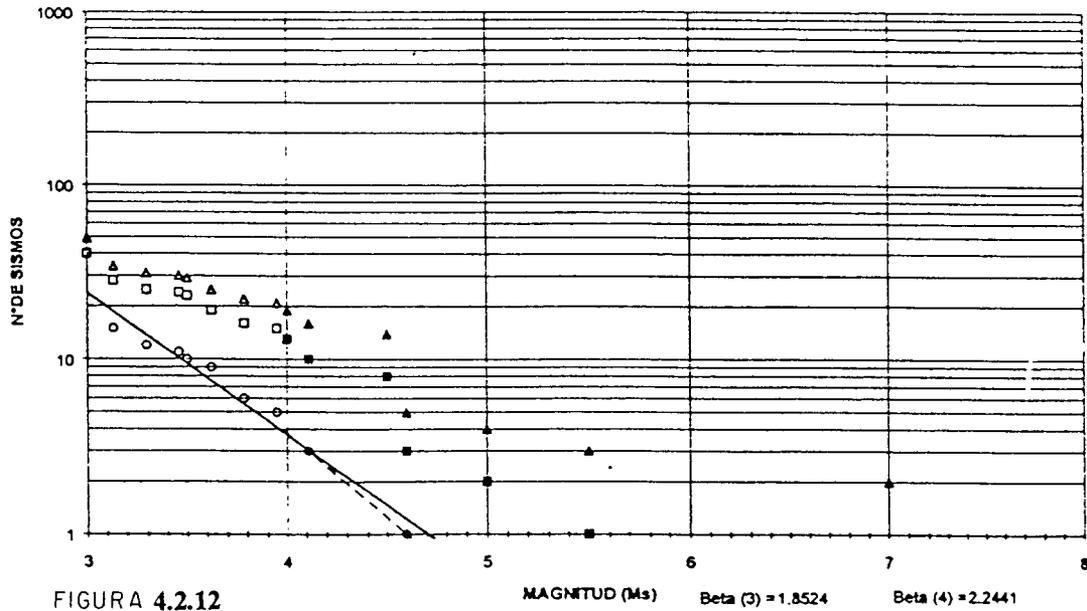


FIGURA 4.2.11

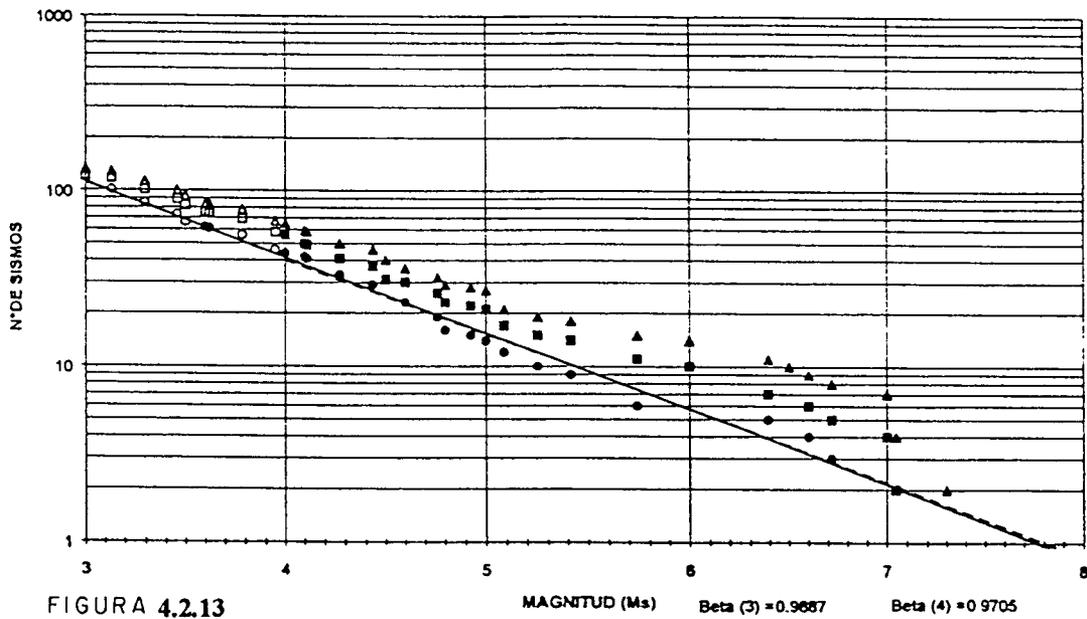


(Tomado de AIS, 1996)

FALLAS DEL MAGDALENA



FRONTAL CORDILLERA ORIENTAL



(Tomado de AIS, 1996)

GARRAPATAS

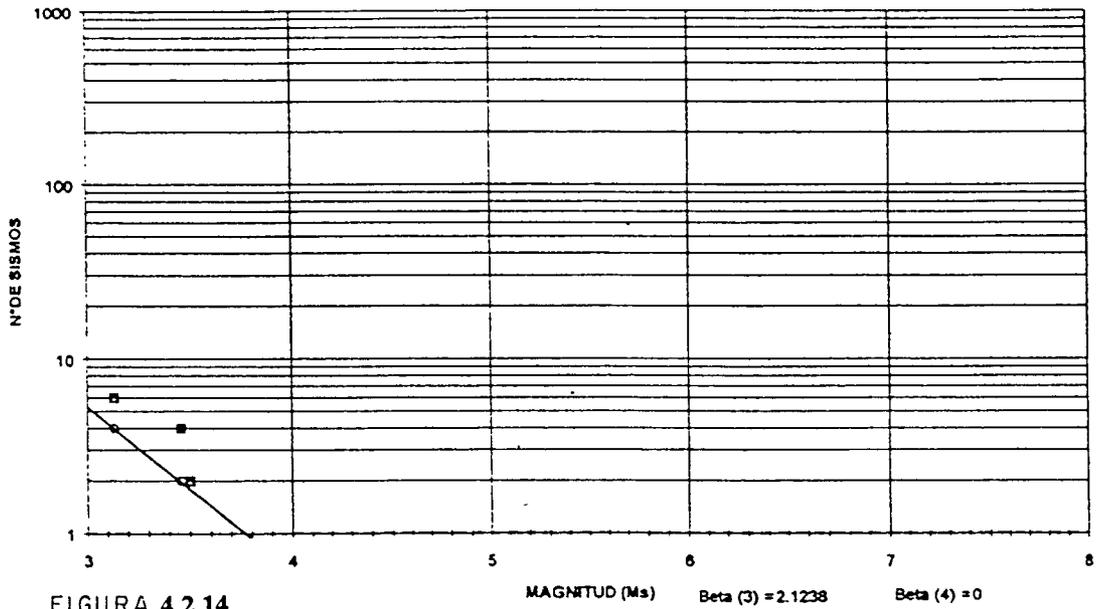
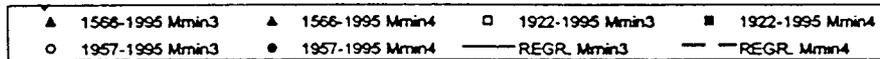


FIGURA 4.2.14



IBAGUE

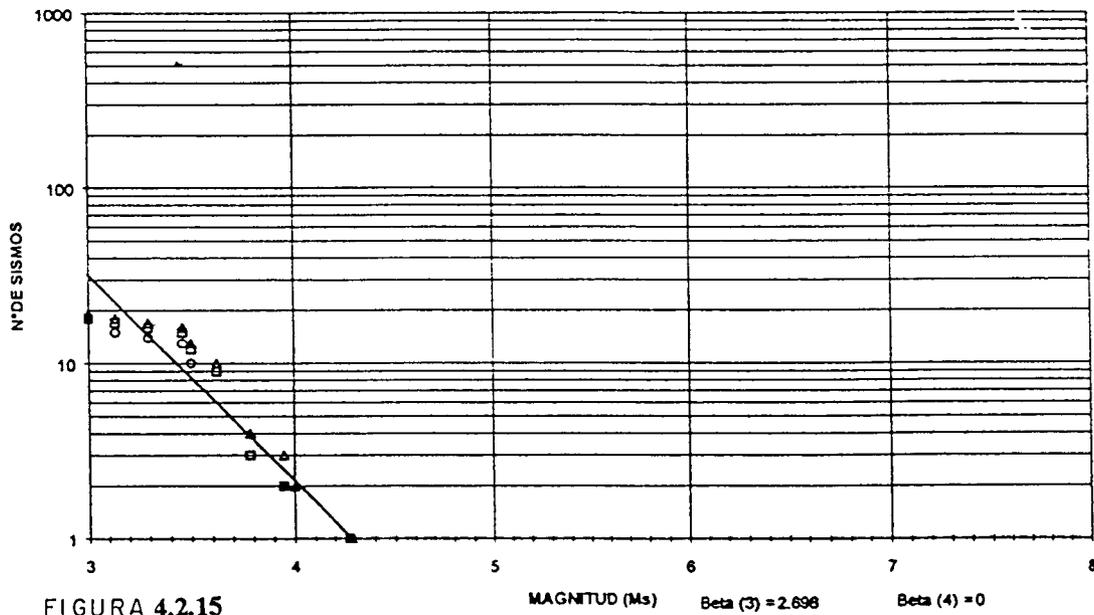
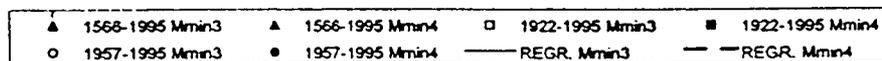


FIGURA 4.2.15



(Tomado de AIS, 1996)

TABLA 4.2.6 FUENTES SISMICAS PARA ASIGNACION DE EVENTOS

| FUENTE No | NOMBRE | ANCHO CORREDOR (Km) | | PROFUNDIDAD (Km) |
|-----------|------------------------------|---------------------|---------|------------------|
| | | IZQUIERDO | DERECHO | |
| 1 | Falla Calima | 12 | 12 | 0 - 60 |
| 2 | Falla del Cauca | 15 | 25 | 0 - 60 |
| 3 | Sistema de Fallas de Romeral | 20 | 35 | 0 - 60 |
| 4 | Falla Ibagué - Cucuana | 14 | 14 | 0 - 60 |
| 5 | Fallas del Magdalena | 30 | 14 | 0 - 60 |
| 6 | Fuente Subducción | 30 | 30 | 0 - 40 |
| 7 | Fuente Benioff Intermedia | 30 | 30 | 40 - 150 |
| 8 | Fuente Benioff Profunda | 30 | 30 | 150 - 400 |

TABLA 4.2.7**EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES**

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|--------|---------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 490709 | 4.20 | -76.50 | 0.0 | 3.5 | 20 | 2 | 1 |
| 881017 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.5 | 88 | 1 | 1 |
| 881207 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.3 | 93 | 1 | 1 |
| 890308 | 3.80 | -75.80 | 22.0 | 2.6 | 98 | 1 | 1 |
| 890423 | 4.10 | -76.00 | 10.0 | 2.2 | 107 | 2 | 1 |
| 890622 | 3.70 | -75.90 | 26.0 | 2.2 | 114 | 1 | 1 |
| 890628 | 3.90 | -75.80 | 22.0 | 2.6 | 115 | 2 | 1 |
| 901023 | 3.10 | -75.30 | 33.0 | 2.8 | 180 | 2 | 1 |
| 871019 | 3.26 | -75.94 | 12.4 | 1.1 | 51 | 1 | 1 |
| 871021 | 3.23 | -75.90 | 18.8 | 0.8 | 52 | 2 | 1 |
| 871103 | 3.61 | -75.87 | 23.4 | 1.1 | 53 | 1 | 1 |
| 871116 | 3.27 | -76.31 | 15.5 | 1.4 | 56 | 1 | 1 |
| 871120 | 3.17 | -75.96 | 28.5 | 1.4 | 58 | 2 | 1 |
| 871121 | 3.60 | -76.33 | 16.5 | 1.0 | 59 | 1 | 1 |
| 871202 | 3.51 | -76.30 | 12.8 | 1.2 | 60 | 2 | 1 |
| 880229 | 3.58 | -76.13 | 8.5 | 1.1 | 67 | 2 | 1 |
| 880327 | 3.61 | -76.22 | 6.8 | 1.1 | 73 | 2 | 1 |
| 890605 | 3.55 | -76.37 | 10.4 | 0.4 | 111 | 2 | 1 |
| 890726 | 3.60 | -76.30 | 13.2 | 0.8 | 118 | 1 | 1 |
| 890730 | 3.43 | -76.08 | 24.1 | 2.6 | 119 | 2 | 1 |
| 890730 | 3.44 | -76.11 | 25.2 | 1.8 | 120 | 2 | 1 |
| 891112 | 3.37 | -76.25 | 19.9 | 0.9 | 134 | 2 | 1 |
| 900106 | 3.50 | -76.11 | 10.5 | 1.0 | 139 | 1 | 1 |
| 900109 | 3.48 | -76.14 | 11.4 | | 140 | 2 | 1 |
| 900109 | 3.50 | -76.11 | 10.1 | | 142 | 1 | 1 |
| 900109 | 3.50 | -76.10 | 11.9 | | 143 | 2 | 1 |
| 900110 | 3.50 | -76.11 | 8.5 | | 144 | 1 | 1 |
| 900326 | 3.43 | -76.40 | 14.6 | 0.4 | 154 | 2 | 1 |
| 900526 | 3.51 | -76.28 | 9.5 | | 164 | 2 | 1 |
| 900629 | 3.36 | -76.20 | 11.3 | | 167 | 2 | 1 |
| 900721 | 3.33 | -76.29 | 7.8 | 0.1 | 171 | 1 | 1 |
| 900809 | 3.64 | -76.23 | 16.7 | | 173 | 1 | 1 |
| 900816 | 3.45 | -76.37 | 13.3 | 0.2 | 174 | 2 | 1 |
| 900914 | 3.67 | -76.34 | 8.3 | | 176 | 1 | 1 |
| 900921 | 3.17 | -75.91 | 22.7 | | 177 | 2 | 1 |
| 901014 | 3.37 | -76.22 | 8.1 | | 179 | 1 | 1 |
| 901116 | 3.47 | -76.14 | 14.8 | | 181 | 2 | 1 |
| 901211 | 3.33 | -76.25 | 8.4 | 0.8 | 183 | 1 | 1 |
| 910101 | 3.59 | -76.35 | 6.3 | 0.9 | 185 | 2 | 1 |
| 910106 | 3.57 | -76.35 | 6.3 | 0.4 | 186 | 1 | 1 |
| 910122 | 3.59 | -76.33 | 10.3 | 0.7 | 187 | 1 | 1 |
| 910426 | 3.58 | -76.31 | 13.8 | 0.8 | 200 | 1 | 1 |
| 910516 | 3.20 | -76.21 | 10.6 | 0.9 | 206 | 1 | 1 |
| 910702 | 3.61 | -76.29 | 6.1 | 0.7 | 215 | 2 | 1 |
| 920115 | 3.34 | -76.23 | 15.7 | 0.7 | 239 | 2 | 1 |
| 920117 | 3.34 | -76.24 | 15.6 | 0.7 | 240 | 2 | 1 |
| 920207 | 3.39 | -76.19 | 9.8 | 0.6 | 242 | 1 | 1 |

TABLA 4.2.7
EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|-----------------|---------|----------|-------|--------|-------|---------------------|----------------|
| 920505 | 3.56 | -76.31 | 14.2 | 0.9 | 244 | 2 | 1 |
| 920508 | 3.48 | -75.84 | 29.9 | 1.4 | 245 | 1 | 1 |
| 920805 | 3.66 | -76.01 | 11.8 | 0.2 | 247 | 1 | 1 |
| 920806 | 3.61 | -76.28 | 17.0 | 0.2 | 248 | 1 | 1 |
| 920820 | 3.47 | -76.38 | 6.0 | 0.3 | 249 | 1 | 1 |
| 930416 | 3.51 | -76.11 | 9.5 | 0.8 | 257 | 1 | 1 |
| 930423 | 3.57 | -76.23 | 9.7 | 0.7 | 259 | 1 | 1 |
| 930425 | 3.65 | -76.03 | 20.1 | 0.2 | 261 | 1 | 1 |
| 930523 | 3.54 | -76.34 | 6.1 | 0.8 | 264 | 1 | 1 |
| 930610 | 3.62 | -76.16 | 17.0 | 0.2 | 271 | 1 | 1 |
| 930825 | 3.54 | -76.40 | 6.2 | 0.4 | 283 | 2 | 1 |
| 940121 | 3.48 | -76.26 | 7.1 | | 289 | 1 | 1 |
| 940317 | 3.51 | -76.36 | 13.7 | 1.2 | 298 | 2 | 1 |
| 940408 | 3.42 | -76.13 | 12.7 | 1.0 | 303 | 2 | 1 |
| 940801 | 3.45 | -76.04 | 19.3 | 0.8 | 309 | 2 | 1 |
| 941011 | 3.31 | -76.25 | 19.4 | 1.2 | 320 | 2 | 1 |
| 941025 | 3.67 | -76.06 | 24.4 | 1.2 | 323 | 1 | 1 |
| 941211 | 3.05 | -75.91 | 23.6 | 2.3 | 328 | 2 | 1 |
| 950125 | 3.52 | -76.37 | 16.8 | 0.9 | 334 | 2 | 1 |
| 950207 | 3.36 | -76.20 | 18.9 | | 337 | 2 | 1 |
| 950610 | 3.55 | -76.36 | 6.0 | 1.3 | 348 | 1 | 1 |
| 950615 | 3.08 | -75.97 | 27.6 | 1.5 | 349 | 2 | 1 |
| 950929 | 3.59 | -76.14 | 13.9 | 0.3 | 362 | 1 | 1 |
| 951011 | 3.66 | -76.02 | 23.7 | 0.4 | 364 | 1 | 1 |
| 951208 | 3.51 | -76.18 | 14.8 | 0.3 | 369 | 2 | 1 |
| 951220 | 3.50 | -76.11 | 13.6 | 0.4 | 370 | 2 | 1 |
| 960113 | 3.60 | -76.29 | 18.8 | 0.4 | 371 | 1 | 1 |
| 960131 | 3.18 | -76.03 | 24.1 | 0.8 | 372 | 2 | 1 |
| 960131 | 3.21 | -75.89 | 17.9 | 1.0 | 373 | 2 | 1 |
| 960210 | 3.53 | -76.09 | 18.2 | 0.8 | 374 | 1 | 1 |
| 960304 | 3.21 | -76.17 | 26.1 | 0.8 | 377 | 2 | 1 |
| 960321 | 3.51 | -76.15 | 12.1 | 0.4 | 380 | 2 | 1 |
| 960730 | 3.31 | -76.01 | 25.3 | 0.9 | 395 | 2 | 1 |
| 960807 | 3.63 | -76.09 | 17.0 | 0.5 | 397 | 1 | 1 |
| 960814 | 3.66 | -76.02 | 19.3 | 0.8 | 398 | 1 | 1 |
| 961205 | 3.45 | -76.13 | 12.5 | 1.1 | 418 | 2 | 1 |
| 961211 | 3.09 | -75.89 | 28.0 | 1.2 | 420 | 2 | 1 |
| 970103 | 3.51 | -76.38 | 18.8 | 0.2 | 427 | 2 | 1 |
| 970115 | 3.13 | -76.05 | 24.3 | 1.3 | 433 | 2 | 1 |
| 970213 | 3.59 | -75.98 | 22.7 | 0.3 | 439 | 1 | 1 |
| 970322 | 3.44 | -76.31 | 22.4 | 1.8 | 443 | 2 | 1 |
| SUBTOTAL | | | | | | FALLA CALIMA | 88 (75) |
| 1766 | 3.70 | -76.30 | 0.0 | 3.5 | 2 | 2 | 2 |
| 1767 | 3.70 | -76.30 | 0.0 | 3.5 | 3 | 2 | 2 |
| 470922 | 3.60 | -76.60 | 0.0 | 3.5 | 19 | 2 | 2 |
| 890403 | 2.80 | -75.90 | 24.0 | 2.3 | 104 | 2 | 2 |
| 880611 | 3.45 | -76.16 | 6.6 | 0.8 | 78 | 2 | 2 |

TABLA 4.2.7

EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|-----------------|---------|----------|-------|--------|-------|------------------------|----------------|
| 880621 | 3.09 | -76.10 | 22.4 | 1.2 | 80 | 2 | 2 |
| 880825 | 3.66 | -76.06 | 6.1 | 1.5 | 84 | 2 | 2 |
| 880918 | 3.55 | -76.06 | 6.5 | 0.9 | 85 | 2 | 2 |
| 881220 | 3.53 | -76.20 | 6.3 | 1.1 | 94 | 2 | 2 |
| 890707 | 3.62 | -76.37 | 1.1 | 0.4 | 116 | 2 | 2 |
| 890725 | 3.64 | -76.41 | 0.9 | 0.5 | 117 | 2 | 2 |
| 891002 | 3.52 | -76.15 | 6.2 | 0.4 | 130 | 2 | 2 |
| 891010 | 3.11 | -76.12 | 20.2 | 0.8 | 131 | 2 | 2 |
| 900106 | 3.50 | -76.11 | 6.5 | 0.9 | 138 | 2 | 2 |
| 900109 | 3.50 | -76.12 | 5.9 | | 141 | 2 | 2 |
| 900111 | 3.51 | -76.11 | 6.4 | | 145 | 2 | 2 |
| 900113 | 3.51 | -76.12 | 6.2 | | 147 | 2 | 2 |
| 900115 | 3.50 | -76.13 | 5.8 | | 148 | 2 | 2 |
| 900119 | 3.50 | -76.12 | 6.1 | | 149 | 2 | 2 |
| 901013 | 3.37 | -76.21 | 6.1 | | 178 | 2 | 2 |
| 910703 | 3.09 | -76.15 | 6.1 | 0.9 | 216 | 2 | 2 |
| 911125 | 3.47 | -76.11 | 7.1 | 0.5 | 232 | 2 | 2 |
| 940825 | 3.11 | -76.28 | 10.9 | 0.5 | 313 | 2 | 2 |
| 940828 | 3.08 | -76.01 | 12.0 | 0.9 | 314 | 2 | 2 |
| 941009 | 3.39 | -76.25 | 4.4 | 0.8 | 318 | 2 | 2 |
| 941016 | 3.09 | -76.01 | 23.2 | 1.4 | 322 | 2 | 2 |
| 950610 | 3.55 | -76.37 | 0.6 | 1.2 | 347 | 2 | 2 |
| 950926 | 3.10 | -76.16 | 8.9 | 0.6 | 361 | 2 | 2 |
| 951204 | 3.09 | -76.00 | 17.6 | 0.6 | 368 | 2 | 2 |
| 961128 | 3.06 | -76.01 | 21.4 | 1.1 | 413 | 2 | 2 |
| 970101 | 3.07 | -76.02 | 24.0 | 0.9 | 426 | 2 | 2 |
| 970109 | 3.13 | -76.06 | 24.0 | 1.2 | 429 | 2 | 2 |
| SUBTOTAL | | | | | | FALLA DEL CAUCA | 32 (24) |
| 1820 | 3.00 | -76.50 | 0.0 | 4.5 | 6 | 2 | 3 |
| 1906 | 3.50 | -76.20 | 0.0 | 4.0 | 7 | 2 | 3 |
| 1906 | 3.50 | -76.20 | 0.0 | 3.0 | 8 | 2 | 3 |
| 441108 | 3.20 | -76.00 | 0.0 | 3.5 | 10 | 2 | 3 |
| 460329 | 2.70 | -76.50 | 0.0 | 3.5 | 11 | 2 | 3 |
| 460329 | 2.70 | -76.50 | 0.0 | 3.5 | 12 | 2 | 3 |
| 460329 | 2.70 | -76.50 | 0.0 | 3.5 | 13 | 2 | 3 |
| 460413 | 2.50 | -76.30 | 0.0 | 3.0 | 14 | 1 | 3 |
| 460416 | 2.50 | -76.30 | 0.0 | 3.0 | 15 | 1 | 3 |
| 460427 | 2.50 | -76.30 | 0.0 | 3.0 | 16 | 1 | 3 |
| 460502 | 2.50 | -76.30 | 0.0 | 3.0 | 17 | 1 | 3 |
| 590807 | 2.80 | -76.20 | 0.0 | 3.5 | 24 | 2 | 3 |
| 591031 | 3.00 | -76.00 | 0.0 | 4.0 | 25 | 2 | 3 |
| 600402 | 3.00 | -76.50 | 0.0 | 4.0 | 26 | 2 | 3 |
| 940606 | 2.90 | -76.10 | 1.0 | 6.6 | 307 | 2 | 3 |
| 940829 | 2.70 | -76.10 | 6.0 | 3.2 | 315 | 1 | 3 |
| 871110 | 3.42 | -76.18 | 0.7 | 0.6 | 54 | 2 | 3 |
| 890611 | 3.18 | -75.94 | 4.0 | | 112 | 2 | 3 |
| 920726 | 3.13 | -76.13 | 2.9 | 1.3 | 246 | 2 | 3 |

TABLA 4.2.7
EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|---|---------|----------|-------|--------|-------|-------|----------------|
| 930820 | 3.22 | -75.81 | 6.3 | 0.8 | 282 | 2 | 3 |
| 940121 | 3.16 | -75.93 | 6.1 | 1.3 | 290 | 2 | 3 |
| 940122 | 3.15 | -75.94 | 6.1 | 1.0 | 291 | 2 | 3 |
| 950302 | 3.56 | -76.37 | 28.8 | 0.8 | 338 | 2 | 3 |
| SUBTOTAL SISTEMA DE FALLAS DEL ROMERAL | | | | | | | 23 (19) |
| 470406 | 4.00 | -75.50 | 0.0 | 3.5 | 18 | 1 | 4 |
| 880704 | 3.60 | -75.93 | 6.1 | 1.5 | 81 | 1 | 4 |
| 911208 | 3.46 | -76.09 | 6.1 | 0.8 | 235 | 1 | 4 |
| 911210 | 3.46 | -76.09 | 6.1 | 0.7 | 236 | 1 | 4 |
| 930915 | 3.53 | -75.81 | 6.1 | 0.8 | 284 | 1 | 4 |
| 950206 | 3.47 | -76.04 | 6.1 | 1.5 | 336 | 1 | 4 |
| SUBTOTAL FALLA IBAGUE - CUCUANA | | | | | | | 6 (6) |
| 1816 | 3.00 | -75.40 | 0.0 | 4.5 | 4 | 1 | 5 |
| 1816 | 3.00 | -75.40 | 0.0 | 4.5 | 5 | 1 | 5 |
| 940804 | 2.70 | -76.10 | 0.0 | 3.2 | 310 | 1 | 5 |
| 941116 | 3.50 | -75.40 | 0.0 | 2.6 | 325 | 3 | 5 |
| SUBTOTAL FALLAS DEL MAGDALENA | | | | | | | 4 (2) |
| 670225 | 2.50 | -76.20 | 118.0 | 2.7 | 32 | 1 | 7 |
| 740727 | 3.90 | -76.60 | 130.0 | 3.0 | 37 | 2 | 7 |
| 760706 | 3.40 | -76.40 | 141.0 | 3.0 | 40 | 2 | 7 |
| 770409 | 3.20 | -76.60 | 100.0 | 3.0 | 41 | 2 | 7 |
| 840711 | 3.80 | -76.90 | 64.0 | 3.9 | 46 | 2 | 7 |
| 860327 | 3.90 | -76.20 | 135.0 | 2.8 | 48 | 2 | 7 |
| 860327 | 3.50 | -76.50 | 146.0 | 3.5 | 49 | 2 | 7 |
| 880618 | 3.80 | -76.20 | 106.0 | 2.2 | 79 | 2 | 7 |
| 890831 | 3.90 | -76.00 | 131.0 | 3.3 | 124 | 2 | 7 |
| 911113 | 3.00 | -76.40 | 149.0 | 3.9 | 231 | 2 | 7 |
| 871112 | 3.59 | -76.19 | 135.6 | 0.7 | 55 | 2 | 7 |
| 880122 | 3.10 | -76.40 | 127.2 | 1.1 | 65 | 2 | 7 |
| 880318 | 3.56 | -76.16 | 132.3 | 1.2 | 71 | 2 | 7 |
| 880321 | 3.60 | -76.23 | 130.1 | 1.0 | 72 | 2 | 7 |
| 880410 | 3.27 | -76.38 | 140.7 | 2.0 | 74 | 2 | 7 |
| 880508 | 3.66 | -76.25 | 134.0 | 1.4 | 76 | 2 | 7 |
| 880516 | 3.58 | -76.20 | 135.6 | 0.9 | 77 | 2 | 7 |
| 880725 | 3.15 | -76.35 | 117.0 | 1.0 | 82 | 2 | 7 |
| 881009 | 3.36 | -76.27 | 148.6 | 1.6 | 87 | 2 | 7 |
| 890105 | 3.65 | -76.09 | 141.0 | 1.6 | 95 | 2 | 7 |
| 890121 | 3.44 | -76.28 | 142.3 | 0.9 | 96 | 2 | 7 |
| 890121 | 3.38 | -76.31 | 134.2 | 1.3 | 97 | 2 | 7 |
| 890305 | 3.60 | -76.28 | 139.5 | 1.0 | 99 | 2 | 7 |
| 890309 | 3.45 | -76.42 | 124.0 | 1.0 | 100 | 2 | 7 |
| 890320 | 3.57 | -76.23 | 140.5 | 1.1 | 102 | 2 | 7 |
| 890331 | 3.63 | -76.28 | 130.8 | 1.2 | 103 | 2 | 7 |
| 890521 | 3.58 | -76.25 | 132.4 | 1.0 | 110 | 2 | 7 |
| 890621 | 3.52 | -76.41 | 132.1 | 0.8 | 113 | 2 | 7 |
| 890814 | 3.56 | -76.18 | 141.4 | | 121 | 2 | 7 |

TABLA 4.2.7

EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|--------|---------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 890830 | 3.59 | -76.31 | 135.5 | 0.9 | 123 | 2 | 7 |
| 890909 | 3.64 | -76.38 | 128.6 | 0.8 | 125 | 2 | 7 |
| 890922 | 3.52 | -76.10 | 137.2 | 1.0 | 127 | 2 | 7 |
| 890930 | 3.51 | -76.15 | 130.2 | 1.0 | 128 | 2 | 7 |
| 891001 | 3.50 | -76.40 | 114.2 | 1.1 | 129 | 2 | 7 |
| 891230 | 3.54 | -76.13 | 139.5 | 1.0 | 136 | 2 | 7 |
| 900101 | 3.41 | -76.33 | 148.7 | 1.0 | 137 | 2 | 7 |
| 900223 | 3.46 | -76.43 | 97.3 | 0.7 | 150 | 2 | 7 |
| 900224 | 3.39 | -76.29 | 128.8 | | 151 | 2 | 7 |
| 900316 | 3.67 | -76.36 | 109.8 | | 153 | 2 | 7 |
| 900403 | 3.45 | -76.38 | 131.5 | | 155 | 2 | 7 |
| 900415 | 3.39 | -76.39 | 134.3 | | 158 | 2 | 7 |
| 900420 | 3.43 | -76.38 | 125.4 | 0.5 | 159 | 2 | 7 |
| 900420 | 3.51 | -76.38 | 139.2 | | 160 | 2 | 7 |
| 900509 | 3.52 | -76.42 | 131.5 | | 161 | 2 | 7 |
| 900521 | 3.50 | -76.32 | 143.3 | | 163 | 2 | 7 |
| 900615 | 3.51 | -76.19 | 143.3 | | 166 | 2 | 7 |
| 900717 | 3.61 | -76.24 | 120.7 | | 168 | 2 | 7 |
| 900717 | 3.57 | -76.34 | 113.3 | | 169 | 2 | 7 |
| 900717 | 3.54 | -76.14 | 134.7 | 0.9 | 170 | 2 | 7 |
| 900730 | 3.65 | -76.40 | 95.6 | | 172 | 2 | 7 |
| 900908 | 3.50 | -76.42 | 115.2 | | 175 | 2 | 7 |
| 901126 | 3.54 | -76.37 | 132.2 | | 182 | 2 | 7 |
| 910205 | 3.48 | -76.24 | 132.8 | 1.2 | 188 | 2 | 7 |
| 910208 | 3.53 | -76.11 | 123.1 | 1.1 | 189 | 2 | 7 |
| 910211 | 3.52 | -76.34 | 130.5 | 1.5 | 190 | 2 | 7 |
| 910226 | 3.51 | -76.28 | 125.1 | 0.8 | 191 | 2 | 7 |
| 910227 | 3.46 | -76.26 | 123.4 | 1.2 | 192 | 2 | 7 |
| 910404 | 3.48 | -76.05 | 122.1 | 1.1 | 196 | 2 | 7 |
| 910515 | 3.49 | -76.03 | 118.9 | 1.1 | 205 | 2 | 7 |
| 910524 | 3.35 | -76.37 | 112.0 | 1.0 | 207 | 2 | 7 |
| 910527 | 3.39 | -76.34 | 121.9 | | 208 | 2 | 7 |
| 910604 | 3.67 | -76.29 | 103.6 | | 211 | 2 | 7 |
| 910707 | 3.49 | -76.26 | 114.0 | 1.0 | 217 | 2 | 7 |
| 910708 | 3.39 | -76.37 | 102.5 | | 218 | 2 | 7 |
| 910709 | 3.40 | -76.41 | 109.1 | | 219 | 2 | 7 |
| 910821 | 3.38 | -76.39 | 101.8 | 0.9 | 222 | 2 | 7 |
| 910922 | 3.63 | -76.23 | 114.3 | 1.0 | 223 | 2 | 7 |
| 911018 | 3.45 | -76.32 | 117.8 | 0.7 | 226 | 2 | 7 |
| 911028 | 3.58 | -76.33 | 125.2 | 0.9 | 228 | 2 | 7 |
| 911030 | 3.49 | -76.17 | 136.3 | 1.0 | 229 | 2 | 7 |
| 911207 | 3.53 | -76.15 | 132.2 | 1.1 | 234 | 2 | 7 |
| 911218 | 3.64 | -76.30 | 126.9 | 1.1 | 237 | 2 | 7 |
| 911218 | 3.47 | -76.41 | 96.5 | 0.9 | 238 | 2 | 7 |
| 920130 | 3.20 | -76.41 | 141.6 | | 241 | 2 | 7 |
| 920820 | 3.46 | -76.16 | 130.8 | | 250 | 2 | 7 |
| 930128 | 3.55 | -76.23 | 137.9 | | 252 | 2 | 7 |

TABLA 4.2.7**EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES**

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|--------|---------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 930401 | 3.49 | -76.20 | 131.4 | 0.7 | 254 | 2 | 7 |
| 930420 | 3.47 | -76.17 | 123.0 | 0.4 | 258 | 2 | 7 |
| 930424 | 3.58 | -76.24 | 138.0 | | 260 | 2 | 7 |
| 930528 | 3.57 | -76.33 | 135.7 | 0.5 | 267 | 2 | 7 |
| 930531 | 3.49 | -76.36 | 117.1 | | 268 | 2 | 7 |
| 930603 | 3.61 | -76.19 | 134.0 | 0.5 | 270 | 2 | 7 |
| 930712 | 3.56 | -76.25 | 129.3 | 0.8 | 272 | 2 | 7 |
| 930713 | 3.43 | -76.35 | 124.2 | 0.7 | 273 | 2 | 7 |
| 930805 | 3.65 | -76.33 | 117.3 | 0.5 | 280 | 2 | 7 |
| 930820 | 3.61 | -76.21 | 149.6 | | 281 | 2 | 7 |
| 940112 | 3.64 | -76.38 | 96.9 | 1.0 | 286 | 2 | 7 |
| 940113 | 3.53 | -76.39 | 125.3 | 1.0 | 288 | 2 | 7 |
| 940128 | 3.58 | -76.40 | 124.1 | 1.1 | 292 | 2 | 7 |
| 940202 | 3.43 | -76.39 | 105.2 | 0.7 | 294 | 2 | 7 |
| 940401 | 3.55 | -76.40 | 125.3 | 0.8 | 300 | 2 | 7 |
| 940420 | 3.64 | -76.19 | 143.0 | 1.9 | 304 | 2 | 7 |
| 941008 | 3.17 | -76.40 | 115.3 | 1.3 | 317 | 2 | 7 |
| 941115 | 3.57 | -76.24 | 127.9 | 1.5 | 324 | 2 | 7 |
| 941208 | 3.44 | -76.34 | 136.0 | 0.9 | 327 | 2 | 7 |
| 950120 | 3.57 | -76.23 | 140.9 | 1.2 | 333 | 2 | 7 |
| 950304 | 3.64 | -76.40 | 118.2 | 1.0 | 339 | 2 | 7 |
| 950523 | 3.37 | -76.41 | 120.7 | 1.5 | 342 | 2 | 7 |
| 950717 | 3.15 | -76.37 | 128.1 | 1.5 | 353 | 2 | 7 |
| 950825 | 3.60 | -76.36 | 95.8 | 0.5 | 358 | 2 | 7 |
| 950830 | 3.58 | -76.33 | 135.5 | 1.9 | 360 | 2 | 7 |
| 951006 | 3.43 | -76.40 | 112.9 | 0.7 | 363 | 2 | 7 |
| 951017 | 3.40 | -76.33 | 121.9 | 0.7 | 365 | 2 | 7 |
| 951120 | 3.32 | -76.36 | 114.3 | 0.8 | 366 | 2 | 7 |
| 951201 | 3.49 | -76.20 | 149.6 | 0.5 | 367 | 2 | 7 |
| 960319 | 3.54 | -76.13 | 147.6 | 1.0 | 379 | 2 | 7 |
| 960406 | 3.53 | -76.18 | 146.3 | 0.9 | 381 | 2 | 7 |
| 960413 | 3.16 | -76.40 | 119.8 | 1.0 | 382 | 2 | 7 |
| 960508 | 3.41 | -76.24 | 142.7 | 0.8 | 384 | 2 | 7 |
| 960509 | 3.37 | -76.34 | 123.6 | 0.8 | 386 | 2 | 7 |
| 960531 | 3.56 | -76.36 | 132.9 | 1.5 | 387 | 2 | 7 |
| 960619 | 3.22 | -76.29 | 137.6 | 0.9 | 388 | 2 | 7 |
| 960716 | 3.48 | -76.19 | 144.1 | 0.9 | 391 | 2 | 7 |
| 960723 | 3.36 | -76.41 | 116.7 | 0.9 | 393 | 2 | 7 |
| 960730 | 3.40 | -76.19 | 138.6 | 0.9 | 394 | 2 | 7 |
| 960805 | 3.51 | -76.38 | 107.2 | 0.7 | 396 | 2 | 7 |
| 960818 | 3.29 | -76.40 | 125.6 | 0.8 | 399 | 2 | 7 |
| 960824 | 3.51 | -76.18 | 136.6 | 0.7 | 400 | 2 | 7 |
| 960902 | 3.43 | -76.15 | 150.0 | 1.1 | 401 | 2 | 7 |
| 960916 | 3.40 | -76.37 | 141.0 | 0.9 | 404 | 2 | 7 |
| 961023 | 3.37 | -76.21 | 148.1 | 1.3 | 408 | 2 | 7 |
| 961120 | 3.53 | -76.34 | 115.6 | 1.0 | 411 | 2 | 7 |
| 961130 | 3.61 | -76.41 | 135.2 | 1.2 | 416 | 2 | 7 |

TABLA 4.2.7

EVENTOS SISMICOS ASOCIADOS A LAS FUENTES

| DATE | LATITUD | LONGITUD | DEPTH | MAG.Ms | ORDEN | TRAMO | FALLA |
|---|---------|----------|-------|--------|-------|----------------------------------|------------------|
| 961207 | 3.66 | -76.34 | 125.4 | 0.9 | 419 | 2 | 7 |
| 961219 | 3.51 | -76.38 | 96.3 | 0.8 | 422 | 2 | 7 |
| 961221 | 3.37 | -76.38 | 120.1 | 1.0 | 423 | 2 | 7 |
| 961222 | 3.55 | -76.42 | 125.7 | 0.9 | 424 | 2 | 7 |
| 961224 | 3.48 | -76.36 | 127.4 | 0.9 | 425 | 2 | 7 |
| 970106 | 3.45 | -76.27 | 136.6 | 1.0 | 428 | 2 | 7 |
| 970109 | 3.47 | -76.23 | 126.2 | 0.9 | 430 | 2 | 7 |
| 970115 | 3.57 | -76.39 | 129.6 | 1.1 | 432 | 2 | 7 |
| 970131 | 3.39 | -76.31 | 136.3 | 0.8 | 436 | 2 | 7 |
| 970203 | 3.60 | -76.20 | 135.2 | 0.9 | 437 | 2 | 7 |
| 970206 | 3.54 | -76.41 | 127.0 | 0.7 | 438 | 2 | 7 |
| 970319 | 3.46 | -76.34 | 132.1 | 0.9 | 441 | 2 | 7 |
| 970326 | 3.66 | -76.38 | 104.4 | 0.8 | 445 | 2 | 7 |
| SUBTOTAL | | | | | | FUENTE BENIOFF INTERMEDIA | 136 (112) |
| TOTAL SISMOS ASIGNADOS | | | | | | | 289 (238) |
| TOTAL SISMOS CON POSIBLE ASIGNACION | | | | | | | 150 (139) |
| TOTAL SISMOS NO ASIGNADOS | | | | | | | 6 |
| TOTAL DE SISMOS PARA ANALISIS - RADIO 100 Km | | | | | | | 445 (377) |

(#) = No. SISMOS ANALIZADOS (PERIODO 1944 - 1997)

NOTAS:

- Los sismos asignados tienen en cuenta el ancho del corredor de influencia y el buzamiento de la falla.
- Los sismos con posible asignación tienen en cuenta sólomente el ancho del corredor de influencia de la falla.
- Los sismos no asignados no cumplen con ninguna de las dos condiciones anteriormente mencionadas.

La caracterización geométrica de los corredores (ancho y profundidad) para cada una de las fallas consideradas se relacionan también en la **Tabla 4.2.6**

4.2.4.2.2 Análisis de Completitud

Este análisis se hace con el fin de detectar el periodo de muestreo representativo dentro del catálogo de sismos para diferentes intervalos de magnitud. El procedimiento se realiza con base en el Método de Step, por medio del cual se puede determinar la rata de ocurrencia anual de eventos sísmicos para cada intervalo de magnitud, y poder lograr posteriormente modelos de recurrencia más confiables y acertados.

La historia de los sismos ocurridos en el periodo comprendido entre los años de 1944 y 1997 (4ª condición), se relacionan de manera acumulativa cada dos años y para diferentes intervalos de magnitud en la **Tabla 4.2.8**, dichos resultados se visualizan y se manejan más eficientemente de forma gráfica, tal y como se presenta en la **Figura 4.2.16**.

De acuerdo a este análisis las magnitudes mayores o iguales a 4.0 presentan un muestreo no continuo, lo cual constituye un grado de dificultad que se reflejará en la confiabilidad de los modelos de recurrencia obtenidos posteriormente.

4.2.4.2.3 Recurrencia

Utilizando los resultados del análisis de completitud y ordenados por su magnitud en secuencia creciente a partir de la magnitud mínima, se realizó un análisis de recurrencia que logra una síntesis de la sismicidad dentro del área de influencia. A partir de un proceso discreto, se obtiene una función continua que permite generar el número de sismos anuales para cualquier valor de M_s , así:

$$\text{Log } N = A - B * M_s$$

donde:

M_s = Magnitud evaluada para ondas superficiales

A = Parámetro de Tasa Sísmica

B = Parámetro de Tasa Sísmica que indica la distribución de la muestra de magnitudes

N = Número de sismos anuales que igualan o superan el nivel de referencia M_s .

ANALISIS DE COMPLETITUD METODO STEP

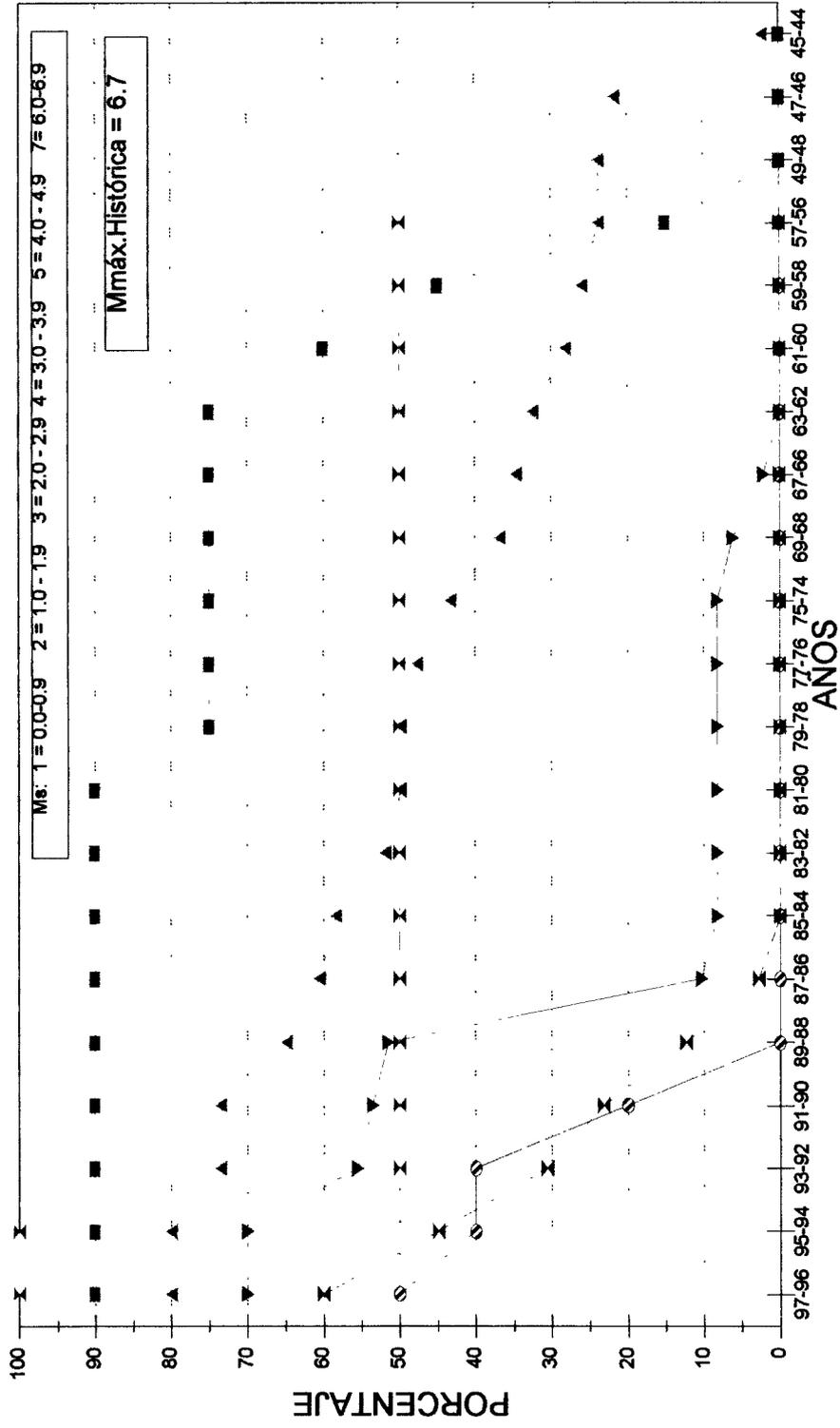


Figura 4.2.16

○ 1 × 2 ▼ 3 ▲ 4 ■ 5 x 7

TABLA 4.2.8 ANALISIS DE COMPLETITUD (METODO DE STEP)

| Número de sismos acumulados | | AÑO | | | | | | | | | | | | | | 1996/1997 | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Rango Ms | Intervalo Ms | 1944/1948 | 1948/1947 | 1948/1949 | 1956/1957 | 1958/1959 | 1960/1961 | 1962/1963 | 1966/1967 | 1968/1969 | 1974/1975 | 1976/1977 | 1978/1979 | 1980/1981 | 1982/1983 | 1984/1985 | 1986/1987 | 1988/1989 | 1990/1991 | 1992/1993 | 1994/1995 | 1996/1997 |
| 0.0 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| 1.0 | 1.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 61 | 115 | 152 | 223 | 298 |
| 2.0 | 2.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 23 | 20 | 20 | 27 | 34 | 34 |
| 3.0 | 3.9 | 1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 | 20 | 22 | 23 | 23 | 23 | 24 | 27 | 28 | 30 | 34 | 34 | 37 | 37 |
| 4.0 | 4.9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 5.0 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |

| Número de sismos normalizados | | AÑO | | | | | | | | | | | | | | 1996/1997 | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Rango Ms | Intervalo Ms | 1944/1948 | 1948/1947 | 1948/1949 | 1956/1957 | 1958/1959 | 1960/1961 | 1962/1963 | 1966/1967 | 1968/1969 | 1974/1975 | 1976/1977 | 1978/1979 | 1980/1981 | 1982/1983 | 1984/1985 | 1986/1987 | 1988/1989 | 1990/1991 | 1992/1993 | 1994/1995 | 1996/1997 |
| 0.0 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 40 | 40 | 50 |
| 1.0 | 1.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | 23 | 31 | 45 | 60 |
| 2.0 | 2.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 51 | 54 | 56 | 70 | 70 |
| 3.0 | 3.9 | 2 | 22 | 24 | 26 | 28 | 32 | 35 | 37 | 43 | 48 | 50 | 50 | 50 | 52 | 58 | 61 | 65 | 74 | 74 | 80 | 80 |
| 4.0 | 4.9 | 0 | 0 | 0 | 15 | 45 | 60 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| 5.0 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

Aplicando dicho procedimiento se obtuvo un modelo de recurrencia de magnitudes a nivel local, la cual proporciona una visión general de la sismicidad en las Cuencas de los Ríos Bolo y Frayle, es decir:

Para la 4ª condición (**Tabla 4.2.9** y **Figura 4.2.17**):

$$\text{Log } N = 2.052 - 0.550 M_s$$

El anterior resultado comprueba la importante incidencia de los sismos de gran magnitud en este sector del país, sin embargo, indica la predominancia de sismos con magnitudes pequeñas a moderadas.

De la misma manera y teniendo en cuenta los análisis de asignación y completitud anteriormente explicados, se obtuvieron modelos de recurrencia particulares para cada una de las fuentes sismogénicas consideradas a nivel local, los cuales proporcionan los parámetros de tasa sísmica (N_u , β) que se tendrán en cuenta para la evaluación de la amenaza, es decir:

$N_u = A * \text{Ln}10 =$ Número de sismos anuales promedio

$\beta = B * \text{Ln}10 =$ Distribución de la muestra de magnitudes

Los modelos de recurrencia obtenidos para cada una de las fuentes se presentan en las **Tablas 4.2.10 a 4.2.18**, y en las **Figuras 4.2.18 a 4.2.23**, además en la **Tabla 4.2.19** se presenta un gran resumen con la caracterización sismogénica de cada una de las fuentes consideradas para la posterior evaluación de la amenaza.

4.2.5 ATENUACION DE ACELERACIONES

Para evaluar los valores de la aceleración máxima esperada en las Cuencas de los Ríos Bolo y Frayle, debido a eventos sísmicos originados en los sistemas tectónicos ya mencionados, se empleó la ecuación de atenuación de Donovan¹, la cual ha dado buenos resultados en estudios anteriormente realizados a nivel nacional, inclusive en el de la AIS, 1996. Cabe notar el hecho de que debemos recurrir a ecuaciones desarrolladas en otros países, mientras que se obtengan resultados de la Red Sismológica Nacional, labor que se encuentra en desarrollo.

TABLA 4.2.9

**ANALISIS DE COMPLETITUD
Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ K
SITIO CENTRAL DE ESTUDIO**

| Ms | Rango Ms | N anual | N($M \geq Ms$) anual |
|----|-----------|---------|------------------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 0.625 | 30.233 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 24.833 | 29.608 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 3.000 | 4.775 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 1.100 | 1.775 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0.625 | 0.675 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0.020 | 0.050 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0.030 | 0.030 |
| | | | |

Regression Output:

| | |
|---------------------|---------------|
| Constant | 2.052 |
| Std Err of Y Est | 0.258 |
| R Squared | 0.962 |
| No. of Observations | 7 |
| Degrees of Freedom | 5 |
| | |
| X Coefficient(s) | -0.550 |
| Std Err of Coef. | 0.049 |

RECURRENCIA DE MAGNITUDES BASADA EN COMPLETITUD

A = 2.052
B = 0.550
Nu = 4.725
Beta = 1.266

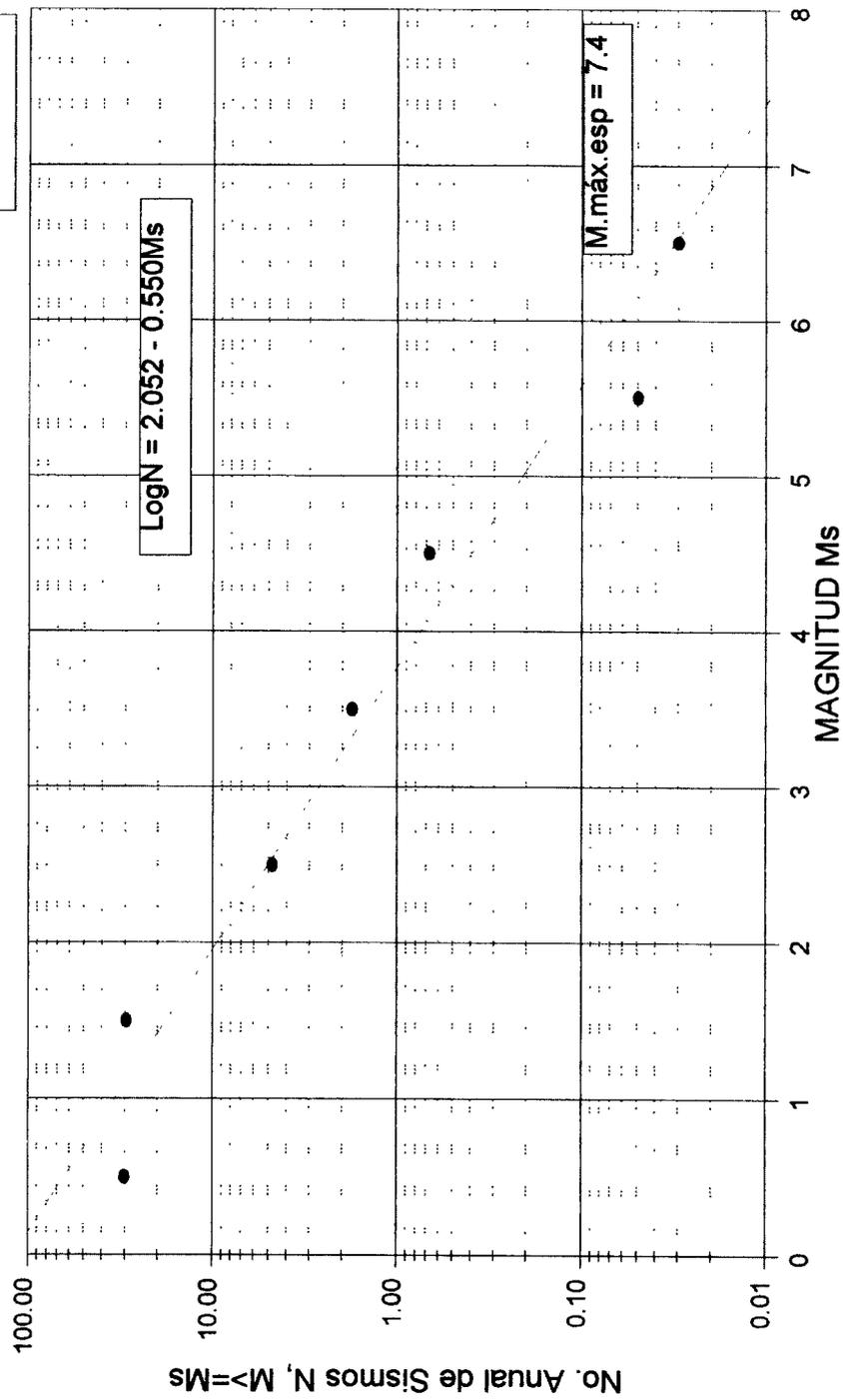


Figura 4.2.17

TABLA 4.2.10
SISMOS ASIGNADOS
Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
FALLA CALIMA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M>=Ms) |
|----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 44 | 75 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 21 | 31 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 9 | 10 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 1 | 1 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0 | 0 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 75.000 | 1.8751 | PROFUND. prom. | 16.35 | B = 0.612 |
| 1.5 | 31.000 | 1.4914 | No. DE SISMOS | 75 | $\beta = 1.408$ |
| 2.5 | 10.000 | 1.0000 | Ms Max. | 3.50 | Nu. estim. = 1.190 |
| 3.5 | 1.000 | 0.0000 | Ms Min. | 0.05 | Ms max. esp. 3.785 |
| | | | Ms Prom. | 1.03 | Nu = sismos / año |

Regression Output:

| | |
|---------------------|--------|
| Constant | 2.315 |
| Std Err of Y Est | 0.227 |
| R Squared | 0.948 |
| No. of Observations | 4 |
| Degrees of Freedom | 2 |
| X Coefficient(s) | -0.612 |
| Std Err of Coef. | 0.101 |

TABLA 4.2.11
SISMOS ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA CAUCA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M) \geq Ms) |
|----|-----------|---------------|-----------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 15 | 24 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 7 | 9 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 1 | 2 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 1 | 1 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0 | 0 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 24.000 | 1.3802 | PROFUND. prom. | 11.13 | B = 0.479 |
| 1.5 | 9.000 | 0.9542 | No. DE SISMOS | 24 | β = 1.104 |
| 2.5 | 2.000 | 0.3010 | Ms Max. | 3.50 | Nu. estim. = 0.381 |
| 3.5 | 1.000 | 0.0000 | Ms Min. | 0.36 | Ms max. esp. 3.374 |
| | | | Ms Prom. | 1.03 | Nu = sismos / año |

Regression Output:

Constant 1.6176
 Std Err of Y Est 0.1017
 R Squared 0.9823
 No. of Observations 4
 Degrees of Freedom 2
 X Coefficient(s) -0.4794
 Std Err of Coef 0.0455

TABLA 4.2.12
SISMOS ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA ROMERAL

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M>=Ms) |
|----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 3 | 19 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 3 | 16 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 0 | 13 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 10 | 13 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 2 | 3 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 1 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 1 | 1 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|---------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 19.000 | 1.2788 | PROFUND. prom | 3.05 | B = 0.217 |
| 1.5 | 16.000 | 1.2041 | No. DE SISMOS | 19 | $\beta = 0.500$ |
| 3.5 | 13.000 | 1.1139 | Ms Max. | 6.60 | Nu. estim. = 0.302 |
| 4.5 | 3.000 | 0.4771 | Ms Min. | 0.57 | Ms max. esp. 7.051 |
| 6.5 | 1.000 | 0.000 | Ms Prom. | 2.79 | Nu = sismos / ano |

Regression Output:

Constant 1.532
 Std Err of Y Est 0.230
 R Squared 0.872
 No. of Observations 5
 Degrees of Freedom 3

 X Coefficient(s) -0.217
 Std Err of Coef. 0.048

TABLA 4.2.13
SISMOS ASIGNADOS
Frecuencia de Magnitudes para R<=100 Km
FALLA IBAGUE

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M)>=Ms) |
|----|-----------|---------------|-----------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 3 | 6 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 2 | 3 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 0 | 1 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 1 | 1 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0 | 0 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 6.000 | 0.7782 | PROFUND. prom. | 5.08 | B = 0.256 |
| 1.5 | 3.000 | 0.4771 | No. DE SISMOS | 6 | β = 0.590 |
| 3.5 | 1.000 | 0.0000 | Ms Max. | 3.50 | Nu. estim. = 0.095 |
| | | | Ms Min. | 0.69 | Ms max. esp. 3.465 |
| | | | Ms Prom. | 1.45 | Nu = sismos / ano |

Regression Output:

Constant 0.889
Std Err of Y Est 0.033
R Squared 0.996
No. of Observations 3
Degrees of Freedom 1
X Coefficient(s) -0.256
Std Err of Coef 0.015

TABLA 4.2.14
SISMOS ASIGNADOS
Frecuencia de Magnitudes para R<=100 Km
FALLA MAGDALENA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M>=Ms) |
|----|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 0 | 2 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 0 | 2 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 1 | 2 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 1 | 1 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0 | 0 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|---------------|---------|---------------------|
| 2.5 | 2.000 | 0.3010 | PROFUND. prom | 0.00 | B = 0.301 |
| 3.5 | 1.000 | 0.0000 | No. DE SISMOS | 2 | β = 0.693 |
| | | | Ms Max. | 3.2 | Nu. estim. = 0.032 |
| | | | Ms Min. | 2.6 | Ms max. esp. 3.500 |
| | | | Ms Prom. | 2.9 | Nu = sismos / año |

Regression Output:

Constant 1.0536
Std Err of Y Est 1.0000
R Squared 2
No. of Observations 0
Degrees of Freedom -0.301
X Coefficient(s)
Std Err of Coef.

TABLA 4.2.15
SISMOS ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA BENIOFF INTERMEDIA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M) >= Ms) |
|----|-----------|---------------|-------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 60 | 112 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 41 | 52 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 4 | 11 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 7 | 7 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 0 | 0 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | ESTADISTICAS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 112.000 | 2.0492 | PROFUND. prom. | 127.19 | B = 0.429 |
| 1.5 | 52.000 | 1.7160 | No. DE SISMOS | 112 | $\beta = 0.987$ |
| 2.5 | 11.000 | 1.0414 | Ms Max. | 3.90 | Nu. estim. = 1.778 |
| 3.5 | 7.000 | 0.8451 | Ms Min. | 0.38 | Ms max. esp. 5.296 |
| | | | Ms Prom. | 1.18 | Nu = sismos / ano |

Regression Output:

| | |
|---------------------|---------|
| Constant | 2.2703 |
| Std Err of Y Est | 0.1384 |
| R Squared | 0.9600 |
| No. of Observations | 4 |
| Degrees of Freedom | 2 |
| X Coefficient(s) | -0.4287 |
| Std Err of Coef. | 0.0619 |

TABLA 4.2.16
SISMOS ASIGNADOS + POSIBLES ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA CALIMA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M) \geq (Ms) |
|----|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 74 | 132 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 41 | 58 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 14 | 17 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 2 | 3 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 1 | 1 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 0 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 0 | 0 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 132.000 | 2.1206 | PROFUND. prom. | 27.13 | B = 0.553 |
| 1.5 | 58.000 | 1.7634 | No. DE SISMOS | 132 | β = 1.273 |
| 2.5 | 17.000 | 1.2304 | Ms Max. | 4.20 | Nu. estim. = 2.095 |
| 3.5 | 3.000 | 0.4771 | Ms Min. | 0.05 | Ms max. esp. 4.523 |
| 4.5 | 1.000 | 0.0000 | Ms Prom. | 1.09 | Nu = sismos / ano |

Regression Output:

| | |
|---------------------|--------|
| Constant | 2.500 |
| Std Err of Y Est | 0.115 |
| R Squared | 0.987 |
| No. of Observations | 5 |
| Degrees of Freedom | 3 |
| X Coefficient(s) | -0.553 |
| Std Err of Coef. | 0.036 |

TABLA 4.2.17
SISMOS ASIGNADOS + POSIBLES ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA CAUCA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M) \geq (Ms) |
|----|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 34 | 66 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 18 | 32 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 6 | 14 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 6 | 8 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 1 | 2 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 0 | 1 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 1 | 1 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|--------------------|
| 0.5 | 66.000 | 1.8195 | PROFUND. prom. | 33.18 | B = 0.318 |
| 1.5 | 32.000 | 1.5051 | No. DE SISMOS | 66 | β = 0.732 |
| 2.5 | 14.000 | 1.1461 | Ms Máx. | 6.30 | Nu. estim. = 1.048 |
| 3.5 | 8.000 | 0.9031 | Ms Mín. | 0.36 | Ms máx. esp. 6.140 |
| 4.5 | 2.000 | 0.3010 | Ms Prom. | 1.39 | Nu = sismos / año |
| 6.5 | 1.000 | 0.0000 | | | |

Regression Output:

Constant 1.953
 Std Err of Y Est 0.130
 R Squared 0.972
 No. of Observations 6 000
 Degrees of Freedom 4

 X Coefficient(s) -0.318
 Std Err of Coef. 0.027

TABLA 4.2.18
SISMOS ASIGNADOS + POSIBLES ASIGNADOS
 Frecuencia de Magnitudes para $R \leq 100$ Km
 FALLA BENIOFF INTERMEDIA

| Ms | Rango Ms | N 1944 - 1997 | N(M) \geq (Ms) |
|----|-----------|---------------|------------------|
| 1 | 0.0 - 0.9 | 69 | 151 |
| 2 | 1.0 - 1.9 | 56 | 82 |
| 3 | 2.0 - 2.9 | 9 | 26 |
| 4 | 3.0 - 3.9 | 13 | 17 |
| 5 | 4.0 - 4.9 | 2 | 4 |
| 6 | 5.0 - 5.9 | 1 | 2 |
| 7 | 6.0 - 6.9 | 1 | 1 |

| Ms | N acumul | LOG N | DATOS | VALORES | CONSTANTES |
|-----|----------|--------|----------------|---------|---------------------|
| 0.5 | 151.000 | 2.1790 | PROFUND. prom. | 126.40 | B = 0.378 |
| 1.5 | 82.000 | 1.9138 | No. DE SISMOS | 151 | β = 0.870 |
| 2.5 | 26.000 | 1.4150 | Ms Max. | 6.70 | Nu. estim. = 2.397 |
| 3.5 | 17.000 | 1.2304 | Ms Min. | 0.38 | Ms max. esp. 6.390 |
| 4.5 | 4.000 | 0.6021 | Ms Prom. | 1.40 | Nu = sismos / año |
| 5.5 | 2.000 | 0.3010 | | | |
| 6.5 | 1.000 | 0.0000 | | | |

Regression Output:

| | |
|---------------------|--------|
| Constant | 2.414 |
| Std Err of Y Est | 0.094 |
| R Squared | 0.989 |
| No. of Observations | 7 |
| Degrees of Freedom | 5.000 |
| X Coefficient(s) | -0.378 |
| Std Err of Coef. | 0.018 |

TABLA 4.2.19
RESUMEN ANALISIS DE RECURRENCIAS A NIVEL LOCAL

| CUADRO FINAL | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|-------|---------------|
| SISMOS ASIGNADOS | | | | | | | |
| FUENTE SISMICA | PROF. PROM. (m) | No. SISMOS ANALIZADOS | ECUACION | COEF. CORREL. | Nu ESTIM. (SISMOS /AÑO) | BETA | Ms. MAX. ESP. |
| FALLA CALIMA | 16.35 | 75 | LOGN = 2.315 - 0.612 Ms | 0.948 | 1.190 | 1.408 | 3.8 |
| FALLA DEL CAUCA | 11.13 | 24 | LOGN = 1.618 - 0.479 Ms | 0.982 | 0.381 | 1.104 | 3.4 |
| SISTEMA DE FALLAS DEL ROMERAL | 3.05 | 19 | LOGN = 1.532 - 0.217 Ms | 0.872 | 0.302 | 0.500 | 7.1 |
| FALLA IBAGUÉ - CUCUANA | 5.08 | 6 | LOGN = 0.889 - 0.256 Ms | 0.996 | 0.095 | 0.590 | 3.5 |
| FALLAS DEL MAGDALENA | 0.00 | 2 | LOGN = 1.054 - 0.301 Ms | 1.000 | 0.032 | 0.693 | 3.5 |
| FUENTE BENIOFF INTERMEDIA | 127.19 | 112 | LOGN = 2.270 - 0.429 Ms | 0.960 | 1.778 | 0.987 | 5.3 |

| CUADRO FINAL | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|-------|---------------|
| SISMOS ASIGNADOS + POSIBLES ASIGNADOS | | | | | | | |
| FUENTE SISMICA | PROF. PROM. (m) | No. SISMOS ANALIZADOS | ECUACION | COEF. CORREL. | Nu EST. (SISMOS /AÑO) | BETA | Ms. MAX. ESP. |
| FALLA CALIMA | 27.13 | 132 | LOGN = 2.50 - 0.553 Ms | 0.987 | 2.095 | 1.273 | 4.5 |
| FALLA DEL CAUCA | 33.18 | 66 | LOGN = 1.953 - 0.318 Ms | 0.972 | 1.048 | 0.732 | 6.1 |
| FUENTE BENIOFF INTERMEDIA | 126.40 | 151 | LOGN = 2.414 - 0.378 Ms | 0.989 | 2.397 | 0.870 | 6.4 |

FALLA CALIMA RECURRENCIA DE MAGNITUDES

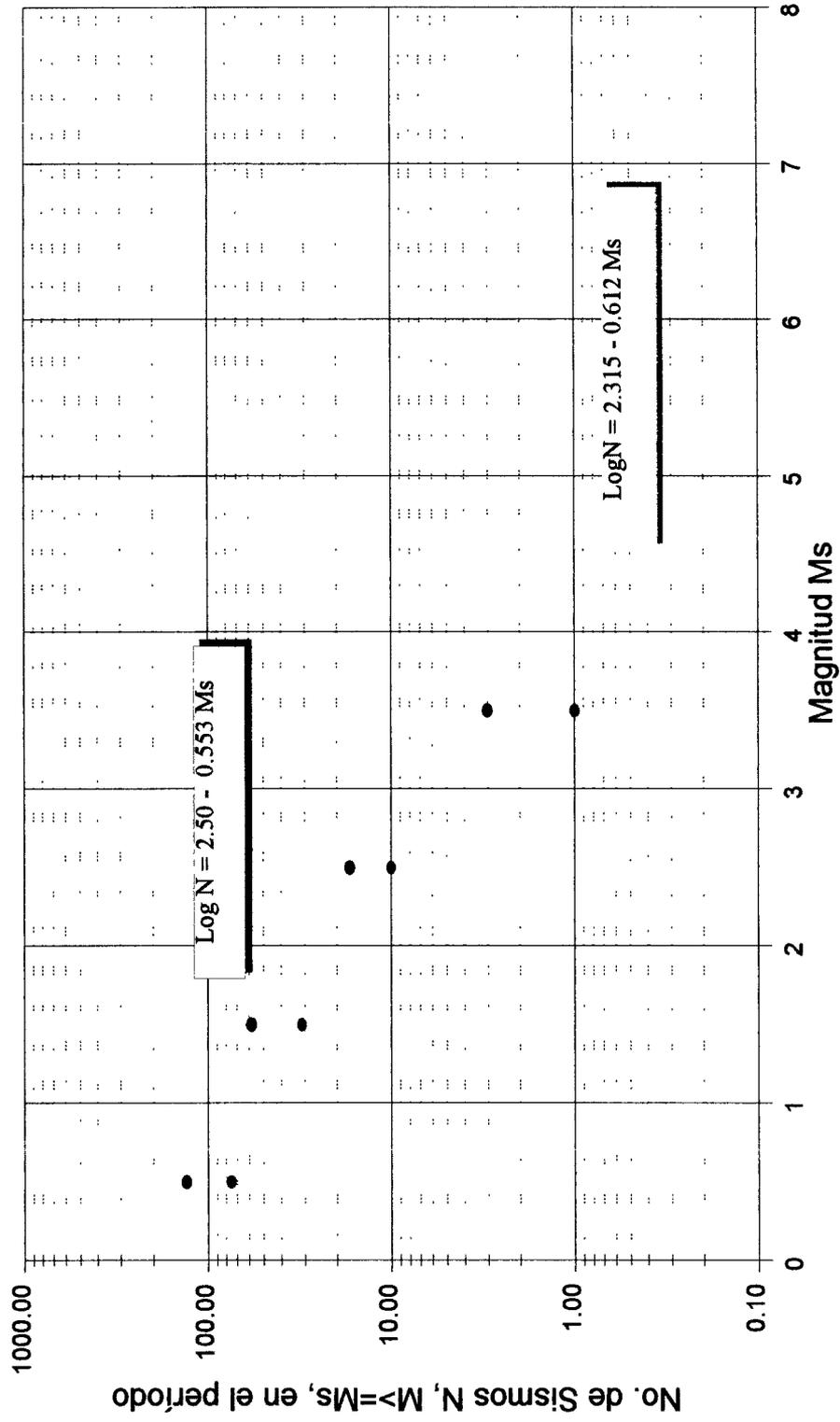
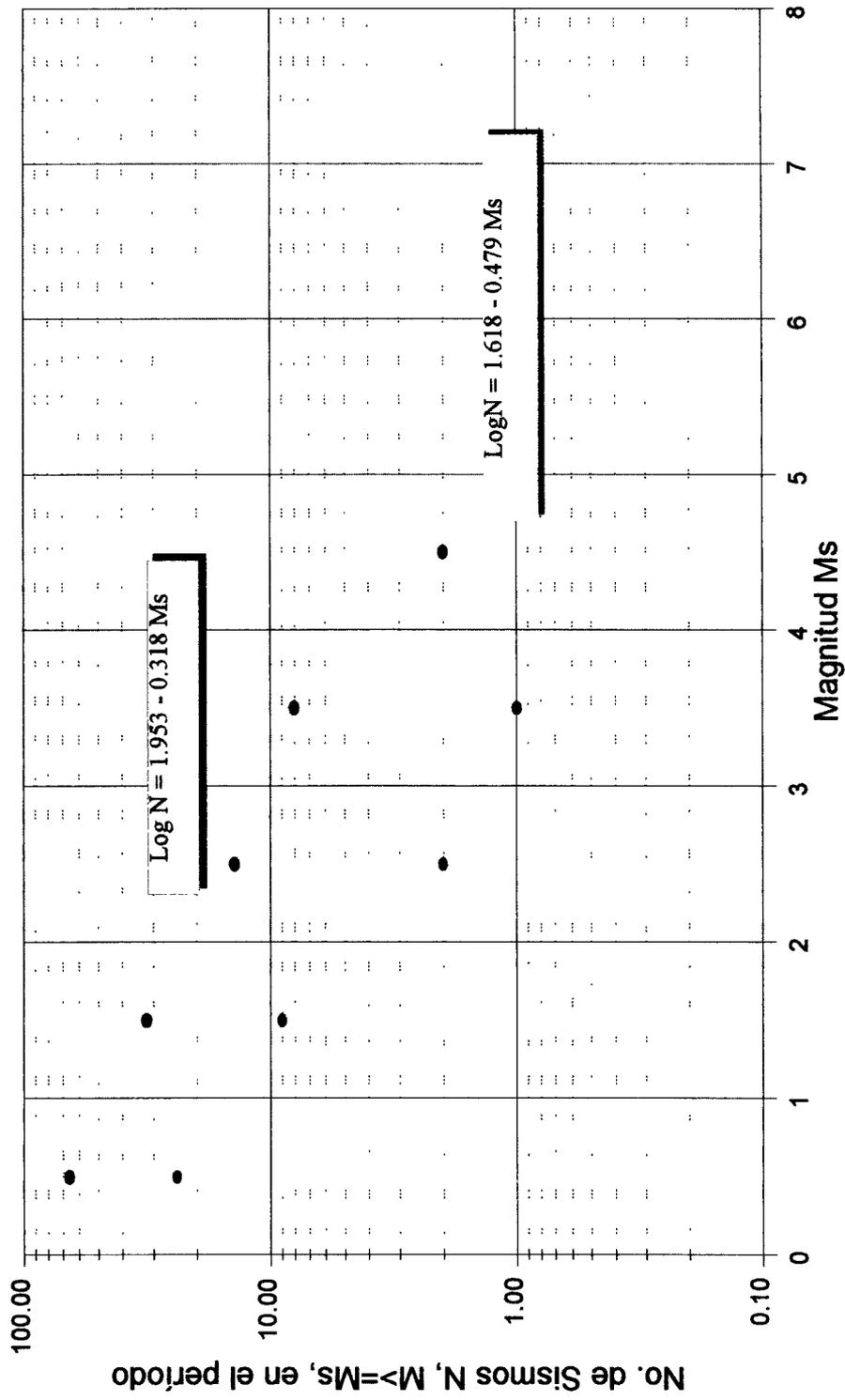


Figura 4.2.18

• SISMOS ASIGNADOS • SISMOS ASIG. + POSIBLES

FALLA DEL CAUCA RECURRENCIA DE MAGNITUDES



- SISMOS ASIGNADOS
- SISMOS ASIG. + POSIBLES

Figura 4.2.19

SISTEMA DE FALLAS DEL ROMERAL RECURRENCIA - SISMOS ASIGNADOS

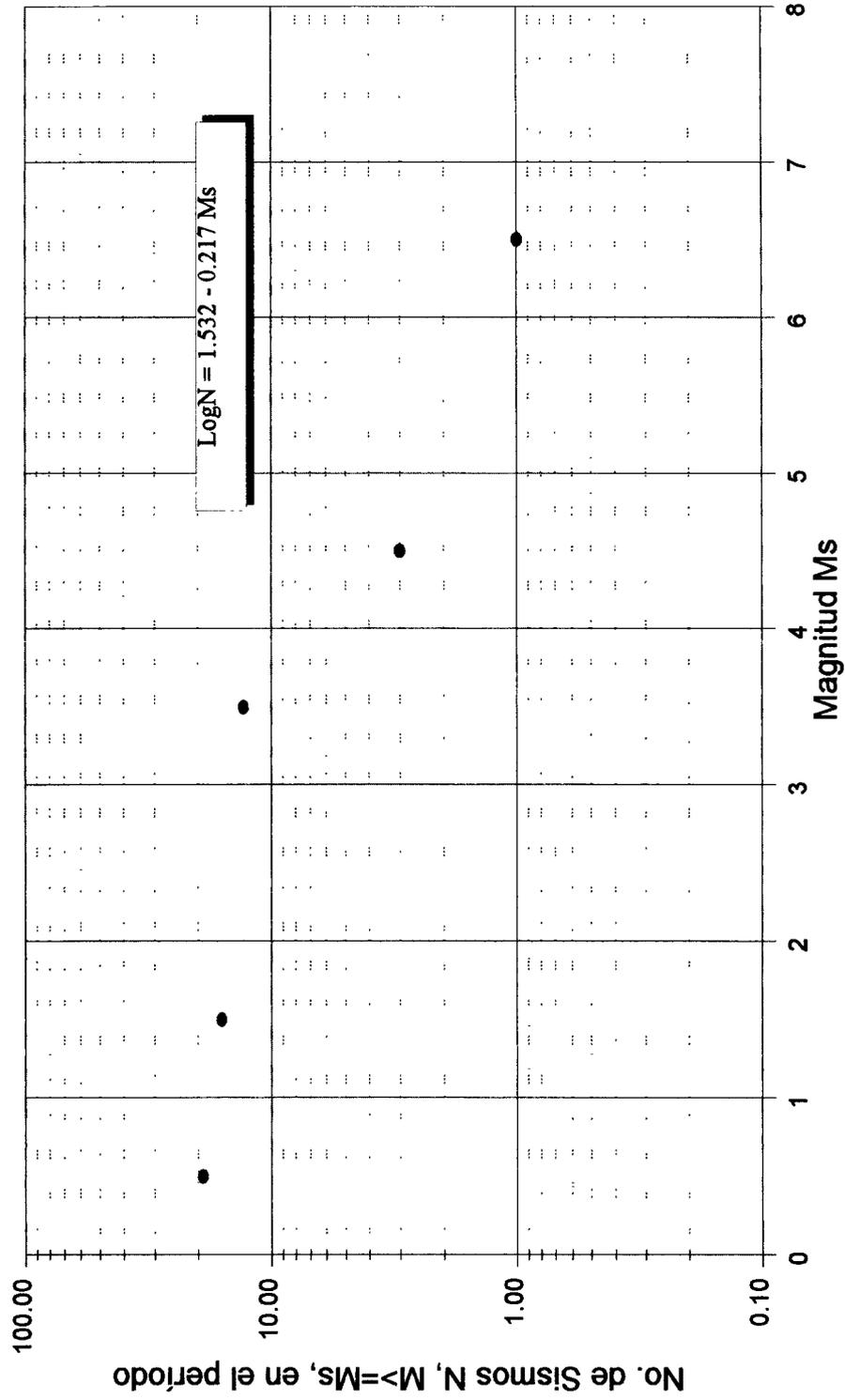


Figura 4.2.20

FALLA IBAGUE - CUCUANA RECURRENCIA - SISMOS ASIGNADOS

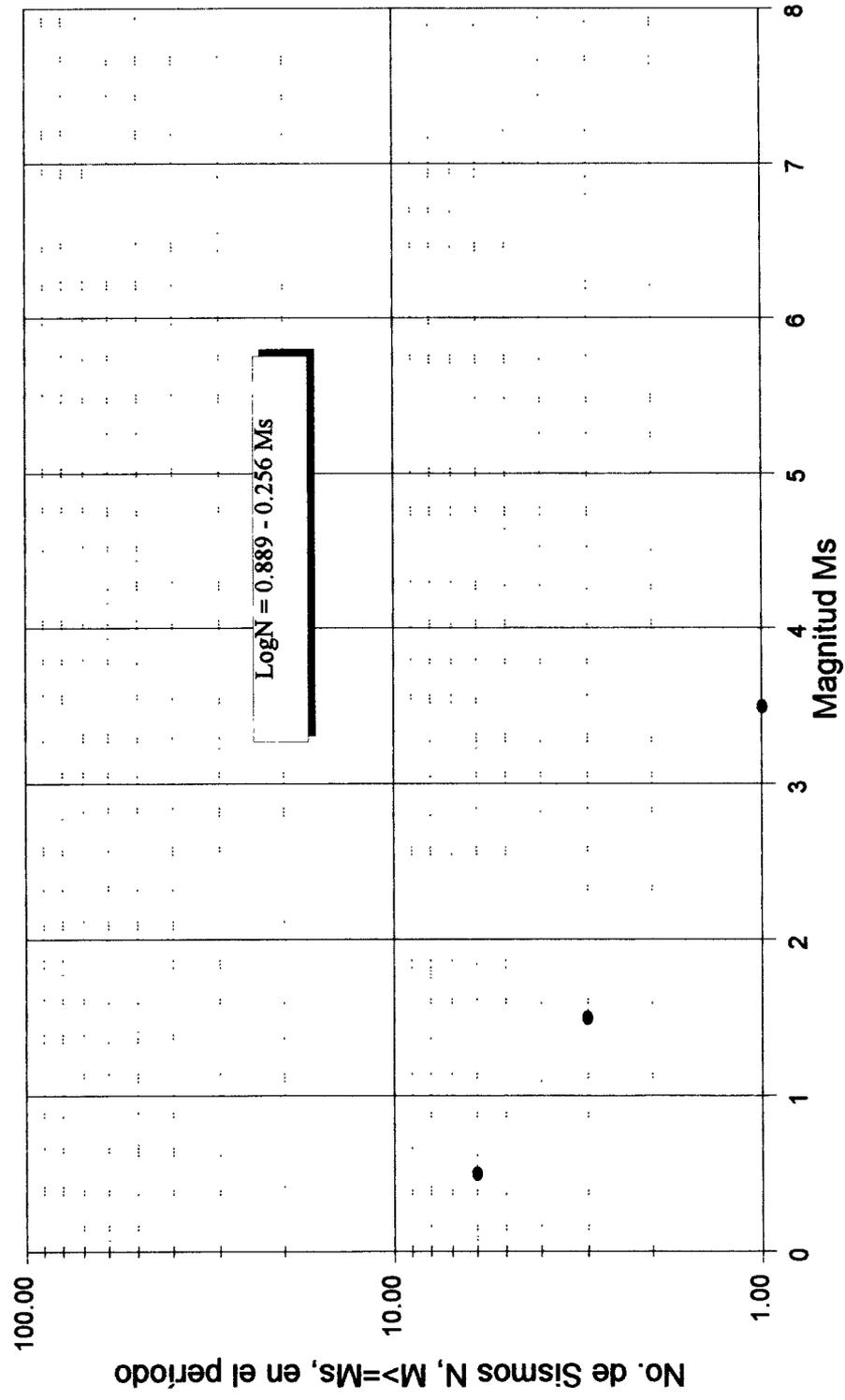


Figura 4.2.21

FALLAS DEL MAGDALENA RECURRENCIA - SISMOS ASIGNADOS

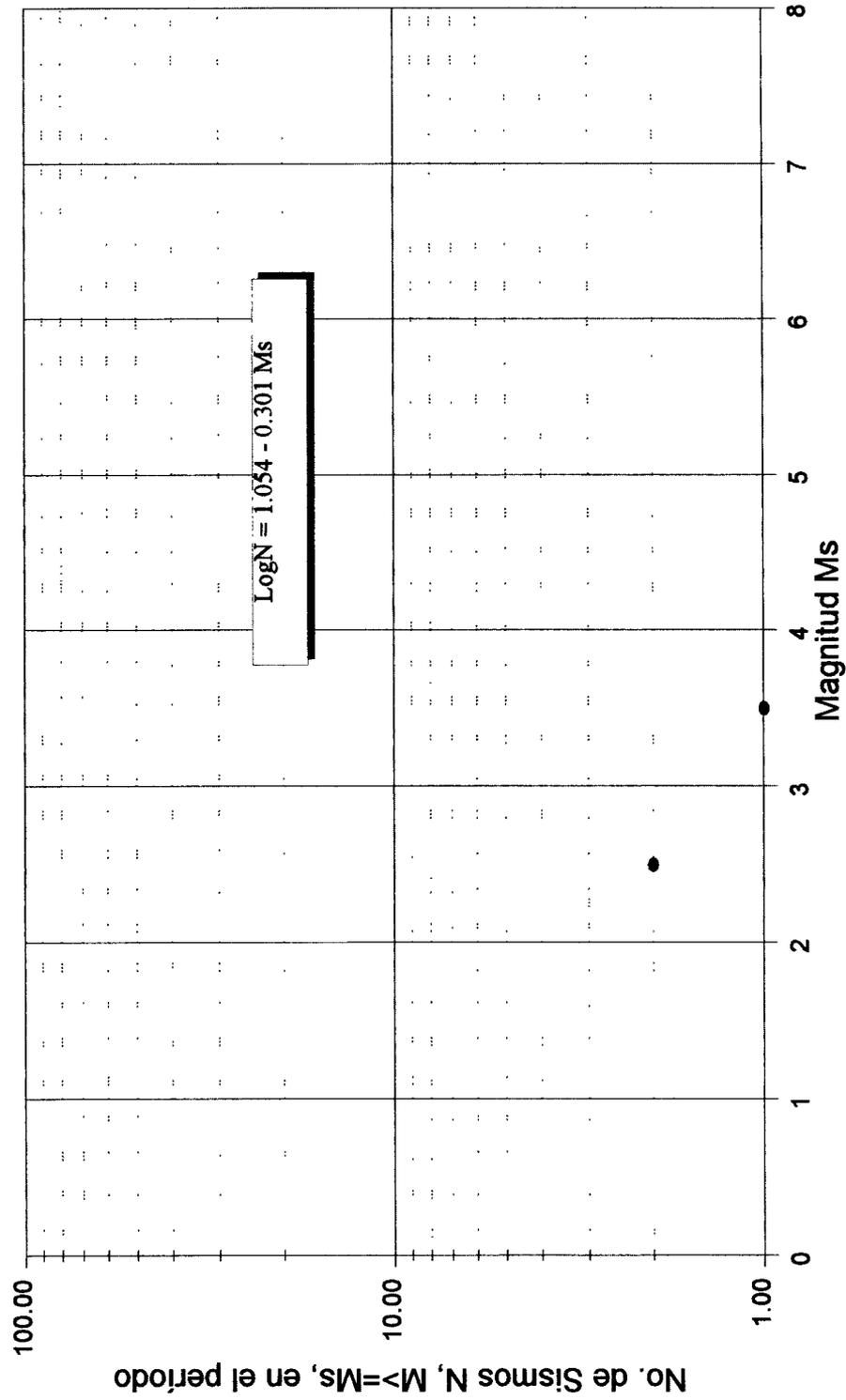
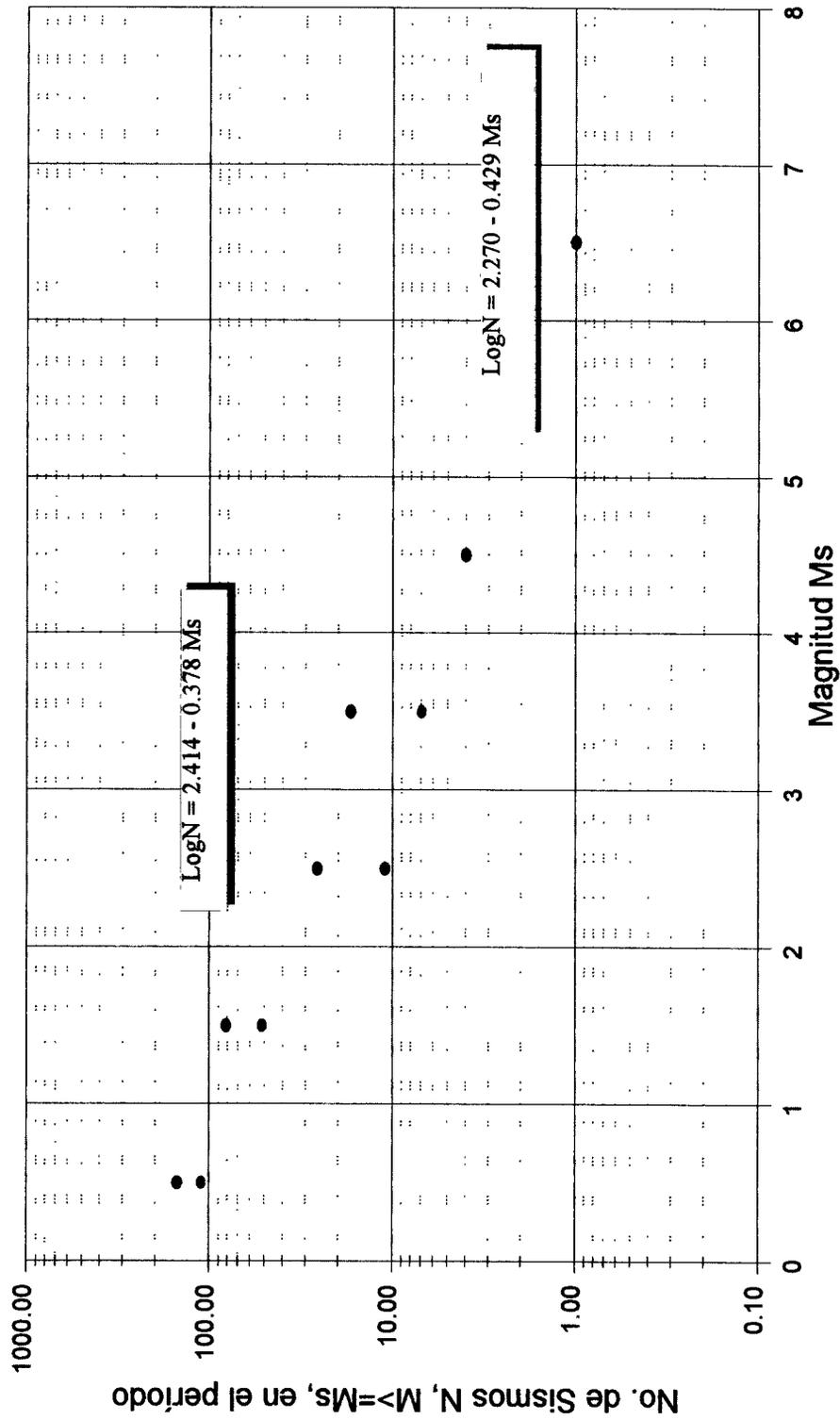


Figura 4.2.22

FUENTE BENIOFF INTERMEDIA RECURRENCIA DE MAGNITUDES



● SISMOS ASIGNADOS ● SISMOS ASIG. + POSIBLES

Figura 4.2.23

La ecuación utilizada se expresa de la siguiente forma:

$$a = 1320 e^{0.58m} (r + 25)^{-1.520} \dots \dots \dots (\text{Donovan 1})$$

donde:

a= Aceleración Máx. Horizontal a nivel de roca(cm/seg²)

m = Magnitud de Onda Superficial (Ms)

r= Distancia a la Falla (Km)

4.2.6 EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA

4.2.6.1 A NIVEL REGIONAL

Teniendo en cuenta los criterios sugeridos por AIS (1996), se concluye que:

- Las cuencas en estudio se ubican totalmente en una zona de amenaza sísmica alta, como se muestra en la **Figura 4.2.24**.
- El coeficiente de aceleración horizontal a nivel de roca “Aa” es igual a 0.25, correspondiente a un sismo con periodo de retorno de 475 años y probabilidad de excedencia del 10% (**Figura 4.2.25**).

4.2.6.2 NIVEL LOCAL

Mediante la utilización de los programas de computador EQRISK y FRISK88M, se calcularon los coeficientes de aceleración horizontal a nivel de roca en diferentes sitios de la zona de estudio, formando una malla o grilla de puntos cada 0.05 grados, que obedecen a las consideraciones y análisis anteriormente realizados, entre las cuales las más generales son:

- a. Geometría de Fuentes Sismogénicas de acuerdo a las definidas en el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia y Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán.
- b. Parámetros de recurrencia para cada una de las fuentes según los estudios citados anteriormente y los obtenidos en el presente estudio.

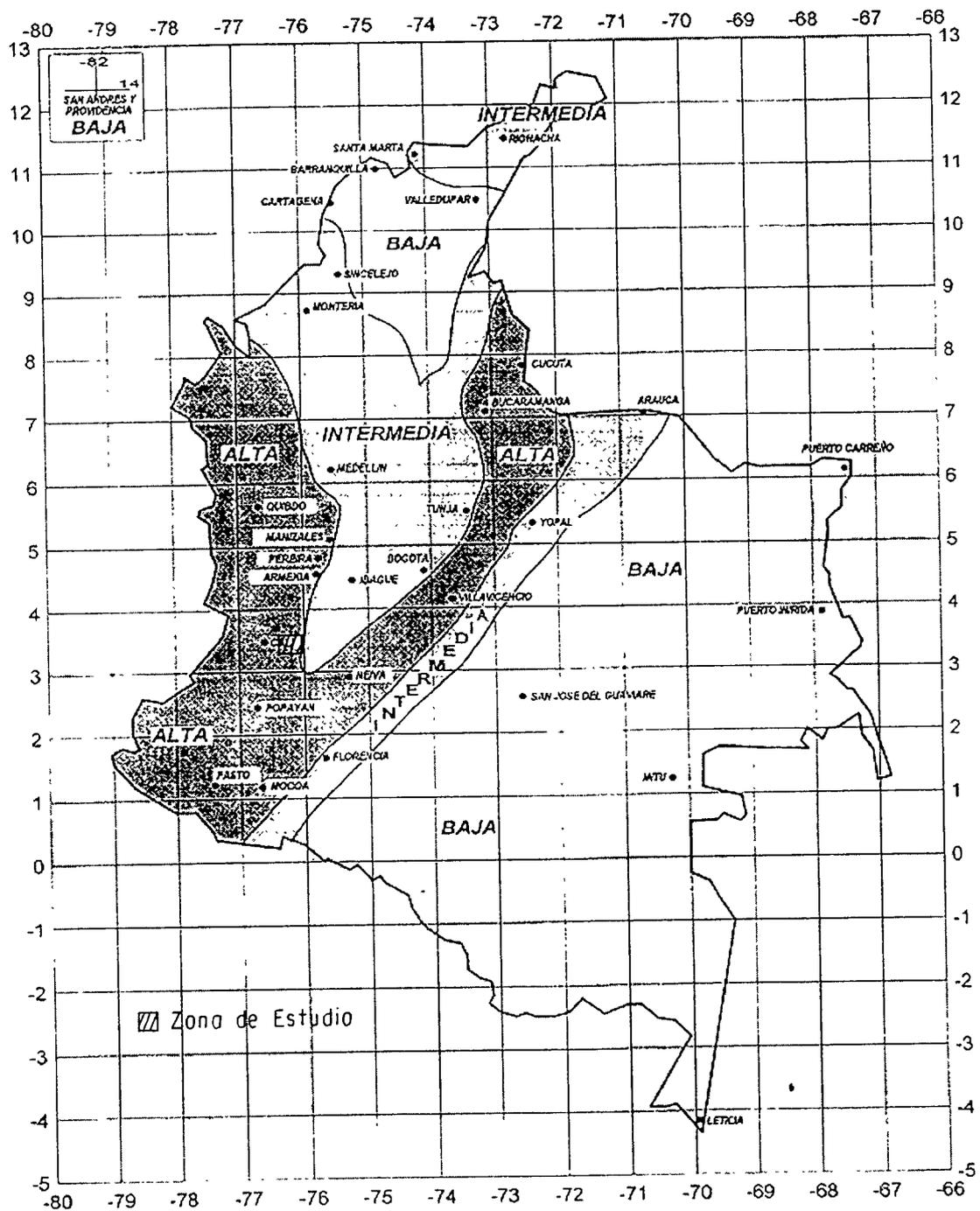


FIGURA 4.2.24
 AMENAZA SISMICA A NIVEL REGIONAL
 ZONA DE INFLUENCIA R = 200 Km
 (Tomado de AIS,1996)

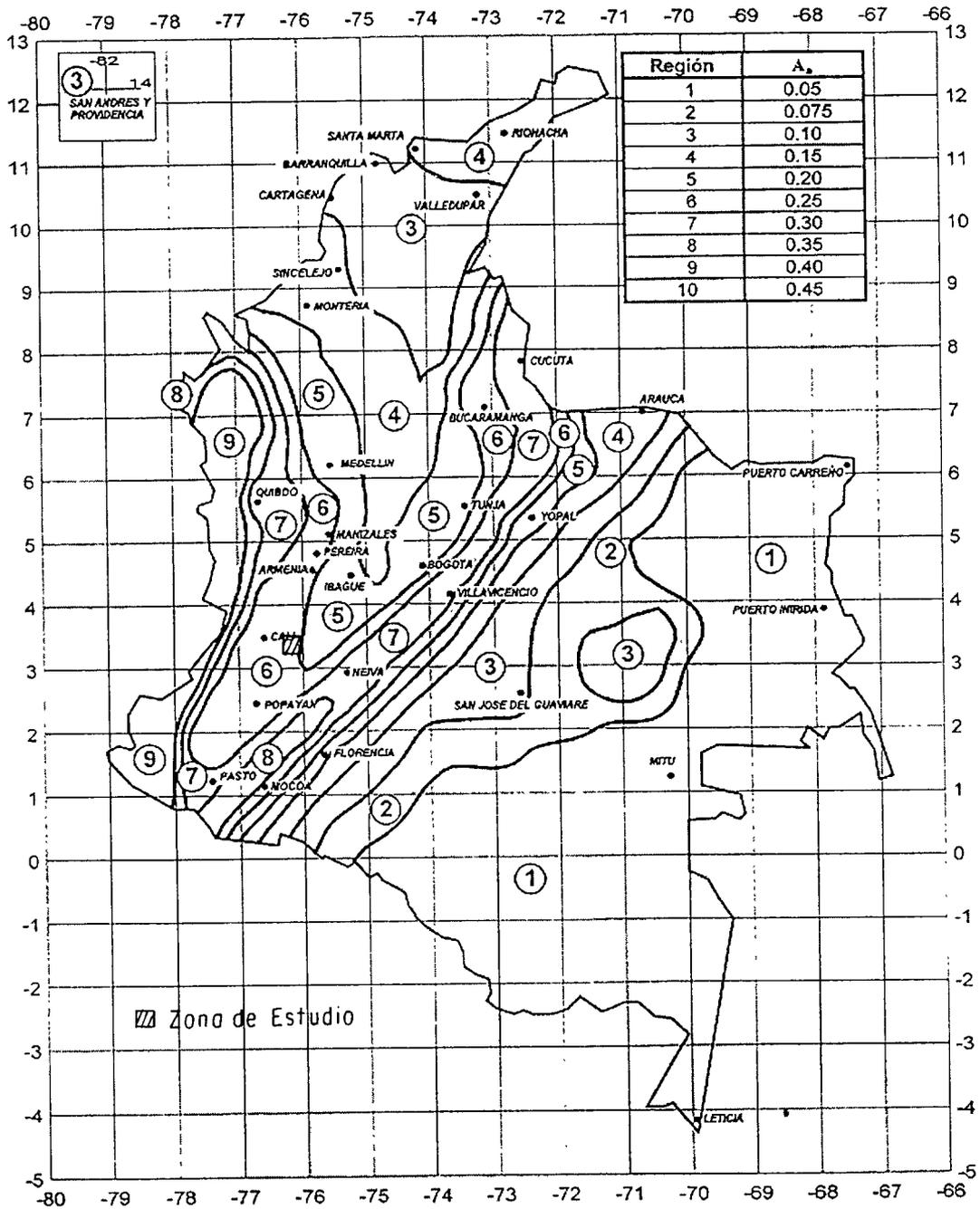


FIGURA 4.2.25
 VALORES DE A_a (%g) A NIVEL REGIONAL
 ZONA DE INFLUENCIA R = 200 Km
 (Tomado de AIS, 1996)

- c. Ley de Atenuación de Aceleración “Donovan1”
- d. De acuerdo con las normas sismo resistentes el nivel de amenaza se definió para:
- Probabilidad de Excedencia del 10%
 - Tiempo de Exposición de 50 años
 - Periodo de Retorno de 475 años

Se crearon varias versiones o modelos de mapas de isoaceleraciones, con el fin de lograr tanto una tendencia significativa de tales curvas para la zona de proyecto, como de conocer la sensibilidad de algunos parámetros sobre los resultados de la amenaza. En las **Tablas 4.2.20 y 4.2.21** se resumen las principales características de las diferentes versiones aplicando los programas EQRISK y FRISK88M respectivamente.

Posteriormente, se seleccionó la versión de isoaceleraciones (a nivel local) que modela o refleja más acertadamente el comportamiento sísmico del área de estudio, dicha versión es la “CVC900” bajo FRISK88M (**Figura 4.2.26**).

4.2.7 ZONIFICACION SISMICA

A partir del modelo de isoaceleraciones se procedió a realizar la Zonificación de Amenaza Sísmica a nivel local que se presenta en el (**Mapa 15**), la cual puede tomarse como factor detonante para el modelo de evaluación de amenazas por remoción en masa. En este mapa, cada zona representa un rango de aceleraciones máximas horizontales esperadas a nivel de roca, así:

- ❖ **Zona de Amenaza Sísmica Moderadamente Alta:** Se esperan aceleraciones de 0.21g a 0.25g. Tales zonas se localizan en la parte noroeste y sureste de la región de estudio.
- ❖ **Zona de Amenaza Sísmica Alta:** Se esperan aceleraciones de 0.25g a 0.29g. Se compone de dos grandes franjas semicentrales y paralelas en dirección SW-NE dentro del área de estudio.
- ❖ **Zona de Amenaza Sísmica Muy Alta:** Se esperan aceleraciones del orden de 0.30g, se localiza en la franja central de la región de estudio.

Cabe resaltar el hecho de que en esta última zona se localiza el sistema de Fallas de Romeral, lo cual sustenta los mayores valores de aceleración obtenidos en la evaluación.

TABLA 4.2.20

VERSIONES BAJO EQRISK

| NOMBRE DE LA VERSION | MAGNITUD MINIMA | MAGNITUD MAXIMA | μ, β, h | NUMERO DE FUENTES | OBSERVACIONES (Acumulativas)* |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--|
| CVCPRE1 | 3.0 | s/AIS | s/AIS | 5 | Calima (Cauca) |
| CVCPRE2 | 3.0 | s/AIS | s/AIS | 5 | Se corrigió F. Romeral - Grilla |
| CVCPRE3 | 0.0 | s/SA | s/SA | 5 | |
| CVCPRE4 | 0.0 | s/SA | s/SA | 6 | Con Beniöff Profunda |
| CVCPRE5 | 0.0 | s/SA+SP | s/SA+SP | 6 | |
| CVCPRE6 | 0.0 | s/SA+SP | s/SA+SP | 6 | Ajustadas Mmáx. (Fallas Ibagué y Magdalena) s/AIS |
| CVCPRE7 | 0.0 | s/SA+SP | s/SA+SP | 6 | Ajustadas Mmáx. (Falla Calima) s/valor estimado |

* = A cada una de las versiones siguientes se le aplica lo realizado en las versiones anteriores

s/AIS : Según estudio de la AIS, 1996

s/SA : Según resultados de sismos asignados

s/SA+SP : -Según resultados de sismos asignados más posiblemente asignados

TABLA 4.2.21
VERSIONES BAJO FRISK88M

| NOMBRE DE LA VERSION | MAGNITUD MINIMA | MAGNITUD MAXIMA | μ, β, h | NUMERO DE FUENTES | OBSERVACIONES (Acumulativas)* |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|---|
| CVC 500 | 3.0 | s/SA+SP | s/SA+SP Func. Atenuac. = 25 % | 6 Lr = 25% | Ajustadas Mmáx. (Fallas Ibagué y Magdalena) s/AIS Ajustadas Mmáx (Falla Calima) s/valor estimado |
| CVC 800 | 3.0 | s/SA+SP | s/SA+SP Func. Atenuac. = 25 % | 6 Lr = 15% | |
| CVC 900 | 1.0 | s/SA+SP | s/SA+SP Func. Atenuac = 50 % | Lr = 30% | |
| CVC 1000 | 3.0 | s/AIS | s/AIS Func. Atenuac. = 50 % | 8 Lr = 30% | Con Subducción y Benioff Profunda Falla Calima (Profund. s/SA+SP; μ y β s/SA) |
| CVC 1100 | 3.0 | s/AIS | s/AIS Func. Atenuac. = 50 % | 8 Lr = 30% | Lr = 15% (Subducción y Benioff Profunda) |

* = A cada una de las versiones siguientes se le aplica lo realizado en las versiones anteriores

s/AIS : Según estudio de la AIS, 1996

s/SA : Según resultados de sismos asignados

s/SA+SP : Según resultados de sismos asignados más posiblemente asignados

Lr : Longitud de Ruptura

CURVAS DE ISOACELERACIONES (%g) A NIVEL LOCAL - FRISK88M

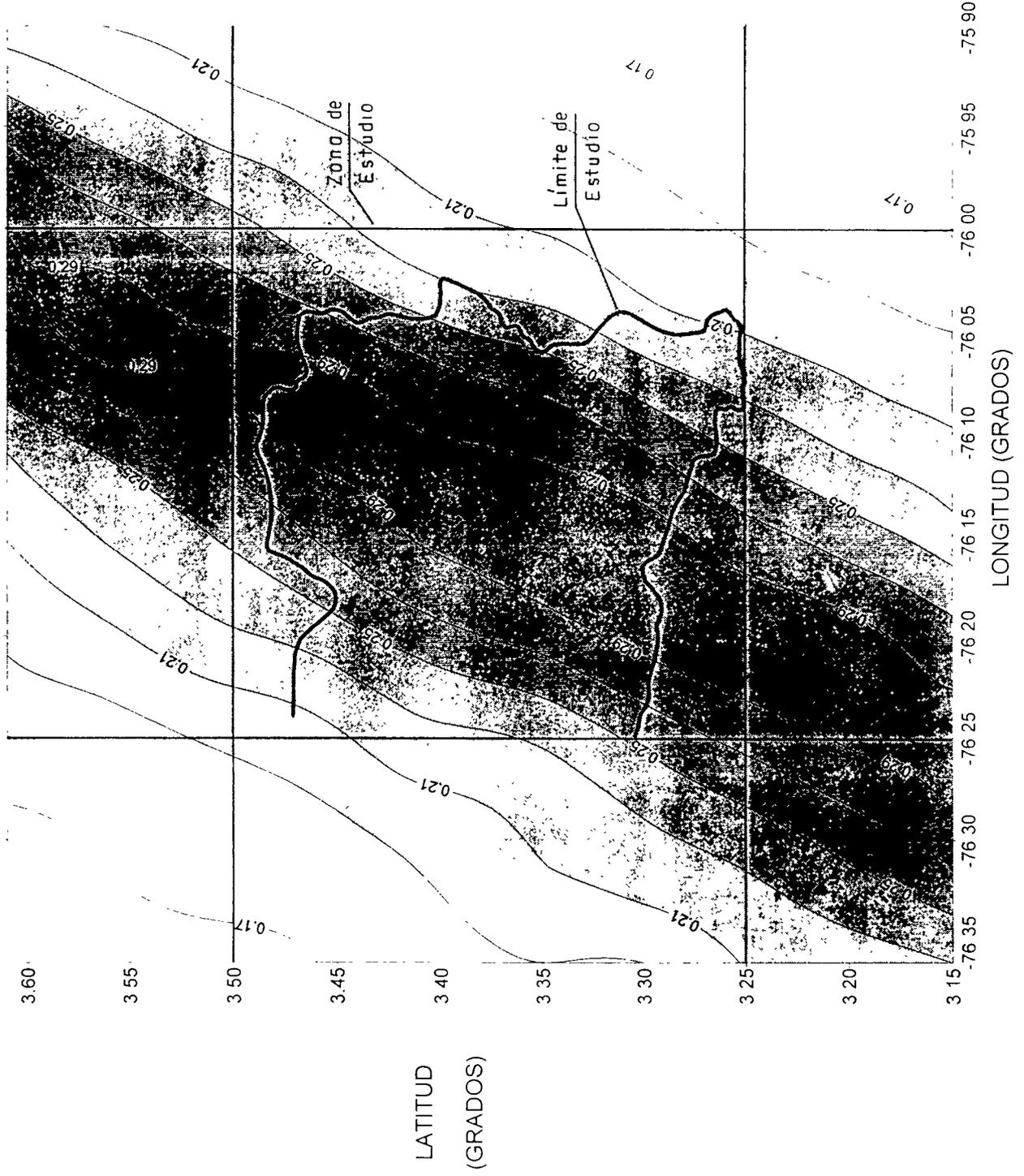


FIGURA 4.2.26

Además, se observa que las poblaciones de Pradera y Florida se localizan en Zonas de Amenaza Sísmica Moderadamente Alta y Alta respectivamente; siendo ésta última la que eventualmente podría soportar movimientos del terreno más intensos, como consecuencia de la ocurrencia de fenómenos sísmicos.

Es importante aclarar que los valores de las aceleraciones máximas horizontales encontrados, deben recomendarse en la evaluación del comportamiento de estructuras en obras civiles, siempre y cuando se verifiquen los efectos locales y de amplificación que tales valores presenten, mediante la realización de estudios detallados complementarios.

5 ZONIFICACION DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

El término amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino, en un área dada y en un período de tiempo específico (UNDRO-UNESCO, 1979 y UNCRD, 1987).

Esta definición, tiene implícitamente, cuatro consideraciones básicas: 1) El tipo de fenómeno, que en este caso es la remoción en masa. 2) La identificación del área potencialmente afectada. 3) La probabilidad de que el fenómeno natural ocurra y 4) El periodo de recurrencia de ese fenómeno.

Cuando se habla de probabilidad de ocurrencia de un proceso de remoción en masa, se debe tener en cuenta que su dimensión temporal a escala regional, es función de dos mecanismos disparadores detonantes como son la precipitación o lluvias extremas y la sismicidad.

El estudio de los eventos disparados por sismos, se realizó a escala regional y local para las cuencas, obteniéndose un mapa de sismicidad detonante, el cual está dado en función de las aceleraciones máximas probables. Es de aclarar, que aunque no se tiene evidencia de procesos de remoción en masa detonados por sismos en las cuencas, se incluyó este factor en la calificación de la amenaza, maxime cuando se sabe que existen fuentes cercanas de sismicidad activa que pueden causar daños en la zona.

Las lluvias extremas, para la calificación de la amenaza, están dadas en función de las lluvias críticas concentradas para períodos de retorno de dos años en las zonas más susceptibles.

La identificación de las áreas amenazadas se realizó mediante fórmulas matemáticas modeladas en el SIG, teniendo en cuenta el mismo método desarrollado para obtener el mapa de susceptibilidad; simplemente se incluyeron en el modelamiento las variables detonantes por sismos y precipitación.

A pesar de las investigaciones a escala regional y local, la relación temporal de los mecanismos disparadores de avenidas torrenciales no se puede establecer fácilmente en un modelo espacial. Por consiguiente, estos mapas de amenaza están dirigidos a predecir que áreas podrían ser más afectadas, sin indicar claramente cuando pueden tener lugar. De esta manera los mapas aquí presentados deberían denominarse de Amenaza Relativa.

5.1 METODOLOGIA

Para zonificar la amenaza por fenómenos de remoción en masa, se utilizó el método desarrollado por Vargas (1995). Su análisis se fundamenta en el modelamiento de tres factores principales: la susceptibilidad del terreno, la inestabilidad actual y puntual y la acción de los factores detonantes así:

$$H = St_{f(x)} [fI]_{f(x)} [fd]$$

donde:

H=Amenaza

Sf=Susceptibilidad del terreno

fI=Inestabilidad actual del terreno

fd=acción de los factores detonantes

f(x)=función matemática.

A continuación se analiza cada uno de estos componentes por separado para integrar finalmente la ecuación de la amenaza.

La susceptibilidad del terreno (St) fue calculada anteriormente siguiendo un método de estadísticas univariadas (ver capítulo 3) de este análisis y procesos se obtuvo un mapa con cinco categorías de susceptibilidad (Tabla 5.1)

| VALOR | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-------|--------------------------|
| 1 | Nula a muy baja |
| 2 | Baja |
| 3 | Moderada |
| 4 | Alta |
| 5 | Muy alta |

Tabla 5.1 Categorías de susceptibilidad

Por lo tanto el factor de susceptibilidad está conformado por cinco categorías codificadas en valores de 1 a 5 respectivamente donde:

$$St f(\Sigma_{1-5})$$

Los factores de inestabilidad actual en el área están determinados por los movimientos de remoción en masa (Mrm) y la intensidad de los procesos erosivos (Ie) incrementando la amenaza de acuerdo a su magnitud o intensidad.

Para cuantificar el efecto de los movimientos en masa, se evalúa la magnitud de cada movimiento teniendo en cuenta el volumen de la masa inestable y su actividad (velocidad conocida y número de reactivaciones). Dado el alcance de este estudio (1:50.000), la magnitud de los movimientos fue calculada siguiendo su mecanismo de falla y observaciones de campo (**Tabla 5.2**)

| TIPOS DE MOVIMIENTO | VALOR |
|---------------------|-------|
| Flujo de detritos | 1 |
| Deslizamientos | 2 |
| Flujo de suelo | 3 |

Tabla 5.2 Magnitud de los movimientos de remoción en masa.

donde: $Mrm f(\Sigma_{1-3})$

La inestabilidad por erosión se calificó según sus grados de intensidad (**Tabla 5.3**):

| INTENSIDAD DE EROSION | VALOR |
|-----------------------|-------|
| Bajo | 1 |
| Moderado | 2 |
| Alto | 3 |
| Erosión Fluvial | 2 |

Tabla 5.3 Grado de intensidad de erosión.

donde: $I_e f(\Sigma_{1-3})$

Los factores detonantes de movimientos en masa en el área de estudio son fundamentalmente de dos orígenes: lluvia y sismos.

El factor detonante por lluvia fue calificado tomando como base el mapa de lluvias críticas para un periodo de retorno de dos años (Tabla 5.4):

| LLUVIA CRÍTICA | CATEGORIA | VALOR |
|---------------------------------------|------------|-------|
| 600 mm., Tr= 2 años y duración= 90 d. | Baja | 1 |
| 530 mm. Tr= 2 años duración= 73 d. | Media baja | 2 |
| 55 mm. Tr= 2 años duración= 2 d. | Media alta | 3 |
| 72 mm. Tr= 2 años duración= 2 d. | Alta | 4 |

Tabla 5.4 Grado de intensidad de la erosión.

Donde: $F_p f(\Sigma_{1-5})$

El factor detonante sísmico se calificó tomando el mapa de amenaza sísmica para una probabilidad de excedencia del 10%, un tiempo de exposición de 50 años y un periodo de retorno de 475 años (Tabla 5.5).

| GRADO DE AMENAZA SISMICA | VALOR |
|--------------------------|-------|
| Moderadamente alta | 1 |
| Alta | 2 |
| Muy Alta | 3 |

Tabla 5.5 Grado de Amenaza sísmica.

Como todos los parámetros que intervienen en la amenaza son crecientes se estableció la función $f(x)$ como suma.

Teniendo en cuenta que los factores detonantes de precipitación y sismicidad son independientes entre si, se estima conveniente establecer tres mapas de amenaza, uno con el factor detonante lluvia, otro con el factor detonante sismos y un tercero con los dos eventos

detonantes simultaneamente.

De esta manera se aplicaron las siguientes ecuaciones para el cálculo de los mapas de amenaza en el S.I.G.

$$H_p = St + [M_{rm} + I_e] + [f_p]$$

$$H_s = St + [M_{rm} + I_e] + [f_s]$$

$$H_t = H_p + H_s$$

Donde:

H_p = Amenaza como factor detonante precipitación.

H_s = Amenaza como factor detonante sismicidad.

H_t = Amenaza como factor detonante precipitación y sismicidad.

St = Susceptibilidad del terreno a los procesos de remoción en masa.

M_{rm} = Magnitud del movimiento en masa.

I_e = Intensidad de erosión

f_p = Peso del factor precipitación.

f_s = Peso factor sismicidad.

Una vez obtenidos los valores de amenaza (1-29) se establecieron las siguientes categorías (tabla 5.6)

| INTERVALO | CATEGORIAS DE AMENAZA |
|-----------|-----------------------|
| 2-7 | Muy baja |
| 8-12 | Baja |
| 13-18 | Moderado |
| 19-23 | Alta |
| 24-29 | Muy Alta |

Tabla 5.6 Categorías de Amenaza.

5.2 CATEGORÍAS DE AMENAZA RELATIVA

Los mapas de amenaza obtenidos indican cierto grado de incertidumbre, debido a que existen variables de calificación como los rangos empleados en las fórmulas del modelo, la escala de trabajo, tamaño del área de estudio, etc. Además, la relación entre los deslizamientos cartografiados y los agentes detonantes no ha sido establecida con plenitud, debido a que la información no fue completa y confiable, por lo que no se conocen claramente los periodos de retorno. De esta manera los límites entre zonas de diferente amenaza son graduales y aproximados.

A continuación se describen los mapas obtenidos indicando los sectores afectados (**Mapas 16 a 18**) y el análisis estadístico con los porcentajes de área correspondientes **Tabla 5.1**.

5.2.1 Amenaza por precipitación (Hp).

5.2.1.1 Muy baja.

Corresponde al area plana localizada al occidente de las cuencas con valores de precipitación anual de 1400 mm. Sobre ella se localizan las poblaciones de Florida y Pradera y una zona de cultivos extensivos de caña de azucar (**Mapa 16**).

5.2.1.2 Baja.

Superficies con topografía de colinas y montañas bajas, localizadas en el piedemonte. Incluye algunas zonas de páramo de la cuenca del río Bolo.

A esta categoría pertenecen las veredas El Libano, Vista hermosa, San Isidro, Hacienda La Ruiza, Cuchilla Loma Gorda e inspección de policía de Lomitas. En el río Santa Bárbara, el caceroío El Salado se encuentra dentro de esta categoría, pero por hacer parte del cauce mayor del río, se considera de alta amanza por avenidas torrenciales.

5.2.1.3 Moderada.

Sectores con topografía montañosa de laderas moderada a fuertemente inclinadas, que se localizan en la parte media y alta de las cuencas.

Las áreas involucradas incluyen parte de los ríos Bolo Azul y Bolo Blanco donde existen centros poblados como José Celestino Mutis, La Feria, Pedregal. En la cuenca del río Santa Bárbara se incluye la población de La Diana, Los Caleños,

Cubre la mayor parte del área de estudio, incluyendo la zona de páramo del río Fraile.

PORCENTAJES DE AREA DE AMENAZA POR PRECIPITACION

| Cuenca del río Bolo | | | Cuenca del río Fraile | | | Total cuencas ríos Bolo y Fraile | | | | | |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------------------|--------|-----------|--------------|-----------------|--------|
| Categoría | No. Polígonos | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % |
| Muy baja | 11 | 1607.26 | 7.67 | Muy baja | 6 | 912.34 | 4.32 | Muy baja | 17 | 2520 | 5.99 |
| Baja | 401 | 5347.99 | 25.52 | Baja | 467 | 4036.27 | 19.10 | Baja | 868 | 9384 | 22.30 |
| Moderada | 1498 | 10175.97 | 48.55 | Moderada | 1288 | 13700.07 | 64.84 | Moderada | 2786 | 23876 | 56.73 |
| Alta | 626 | 3427.97 | 16.36 | Alta | 663 | 1594.59 | 7.55 | Alta | 1289 | 5023 | 11.93 |
| Muy Alta | 157 | 399.16 | 1.90 | Muy Alta | 336 | 884.66 | 4.19 | Muy Alta | 493 | 1284 | 3.05 |
| | 2693 | 20958.35 | 100.00 | | 2760 | 21127.927608 | 100.00 | | 5453 | 42086.28 | 100.00 |

PORCENTAJES DE AREA DE AMENAZA POR SISMICIDAD

| Cuenca del río Bolo | | | Cuenca del río Fraile | | | Total cuencas ríos Bolo y Fraile | | | | | |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------------------|--------|-----------|--------------|-----------------|--------|
| Categoría | No. Polígonos | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % |
| Muy baja | 118 | 2937.74 | 14.02 | Muy baja | 95 | 3331.96 | 15.77 | Muy baja | 213 | 6270 | 14.90 |
| Baja | 943 | 8415.11 | 40.15 | Baja | 490 | 9454.14 | 44.75 | Baja | 1433 | 17869 | 42.46 |
| Moderada | 1358 | 8309.27 | 39.65 | Moderada | 1546 | 6791.35 | 32.14 | Moderada | 2904 | 15101 | 35.88 |
| Alta | 231 | 1182.66 | 5.64 | Alta | 469 | 1113.23 | 5.27 | Alta | 700 | 2296 | 5.46 |
| Muy Alta | 49 | 113.57 | 0.54 | Muy Alta | 199 | 437.24 | 2.07 | Muy Alta | 248 | 551 | 1.31 |
| | 2699 | 20958.36 | 100.00 | | 23757 | 21127.91 | 100.00 | | 5498 | 42086.274141 | 100.00 |

PORCENTAJES DE AREA DE AMENAZA TOTAL

| Cuenca del río Bolo | | | Cuenca del río Fraile | | | Total cuencas ríos Bolo y Fraile | | | | | |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------------------|--------|-----------|--------------|-----------------|--------|
| Categoría | No. Polígonos | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % | Categoría | No. Polígono | Area total (Ha) | % |
| Muy baja | 13 | 1607.27 | 7.67 | Muy baja | 8 | 912.34 | 4.32 | Muy baja | 21 | 2520 | 5.99 |
| Baja | 551 | 6603.52 | 31.51 | Baja | 306 | 7240.70 | 34.27 | Baja | 857 | 13844 | 32.89 |
| Moderada | 1669 | 10049.31 | 47.95 | Moderada | 1571 | 10662.22 | 50.47 | Moderada | 3240 | 20712 | 49.21 |
| Alta | 539 | 2570.58 | 12.27 | Alta | 829 | 1855.70 | 8.78 | Alta | 1368 | 4426 | 10.52 |
| Muy Alta | 67 | 127.67 | 0.61 | Muy Alta | 170 | 456.96 | 2.16 | Muy Alta | 237 | 585 | 1.39 |
| | 2839 | 20958.35 | 100.00 | | 2884 | 21127.92 | 100.00 | | 5723 | 42086.27 | 100.00 |

Tabla 5.7 Areas y porcentajes de sectores afectados por amenaza por procesos de remoción en masa.

5.2.1.4 Alta.

Se localizan hacia la parte baja de las laderas cerca de corrientes, de la zona de topografía montañosa, localizada en la parte media- alta de las cuencas.

Se destacan dentro de esta categoría, zonas potencialmente generadoras de flujos de suelos. En la cuenca del río fraile, se incluyen sitios como Las Camelias, San Antonio, El Respaldo, La primavera, La Hermita, etc.

En la cuenca del río Bolo se destacan Los Cebollales, La Palmera, El Oriente, Los Pinares, El Mirador, Bolo Azul, El Retiro, etc.

5.2.1.5 Muy Alta

Se localizan sobre laderas moderada a fuertemente inclinadas, de la parte media y alta de la cuenca.

En la cuenca del río Fraile, involucra sectores como las microcuencas de las quebradas Granates y San Antonio en su parte baja.

En la cuenca del río Bolo, involucra el sector medio de la quebrada La Cristalina y áreas cercanas a la intersección de la quebrada Cansa Perros con el río Bolo Azul y parte alta de la microcuenca de la quebrada La Bucara.

5.2.2 AMENAZA POR SISMICIDAD (Hs).

A continuación se describen las categorías de amenaza por procesos de remoción en masa, teniendo como factor detonante la sismicidad (**Mapa 17**):

5.2.2.1 Muy baja a Nula.

Area de planicies de la parte baja de las cuencas, donde se localizan las poblaciones de Pradera y Florida y una zona de cultivos extensivos de caña de azúcar.

La amenaza sísmica es moderadamente alta a alta, con coeficientes de aceleración máximos horizontales relativos esperados entre 0.21g y 0.29 g.

5.2.2.2 Baja.

Sectores localizados en las colinas de piedemonte y en la parte alta de las cuencas, donde la topografía es montañosa abrupta.

En la cuenca del río Fraile, incluye las veredas El Pedregal, Los Negros, Caseplancha,

vereda Vuelta del Diablo y un amplio sector de lagunas en la zona de páramo.

En la cuenca del río Bolo, hacia la parte alta, incluye un sector de la laguna Los Cristales, buena parte del río Bolo Azul, quebradas Mendoza y Castillos y la parte alta de la quebrada El Silencio. En la parte baja, las inspecciones de policía de El Nogal y Lomitas; veredas El Libano, San Isidro, Carbonera y La Cumbre.

La amenaza sísmica es moderadamente alta a alta, con coeficientes de aceleración máximos horizontales relativos esperados entre 0.21g y 0.29 g.

5.2.2.3 Moderada.

Franja localizada en la parte media de las cuencas, cruzada por varias fallas que le imprimen a las rocas, un alto grado de diaclasamiento y meteorización.

Las áreas involucradas incluyen en el río Fraile, parte de las veredas Las Guacas, La Rivera, El Libano, La Diana, San Juanito y Los Negros, entre otras.

En la cuenca del río Bolo, incluye las quebradas El Nogal, La cuchilla El Serrucho y Las Moras.

La amenaza sísmica es muy alta, con un coeficiente de aceleración máximo horizontal relativo esperado del orden de 0.30 g.

5.2.2.4 Alta.

Sectores localizados sobre la parte media de las cuencas, con presencia de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, con alto grado de diaclasamiento y meteorización.

Se localizan sobre esta zona, en el río Fraile, sectores de la parte alta de la quebrada Granates, un sector de la desembocadura de la quebrada San Antonio al río Santa Bárbara, varias zonas de la microcuenca de la quebrada Caleños, Los Patos y Chambú.

Se destacan en la cuenca del río Bolo, varios tramos de la microcuenca de la quebrada La Cristalina, un amplio sector de laderas del río Bolo Azul, entre el sitio El Corral y Bolo Azul; y sitio de la intersección entre la quebrada Bolo Blanco y El Paso.

La amenaza sísmica es muy alta, con un coeficiente de aceleración máximo horizontal relativo esperado del orden de 0.30 g.

5.2.2.5 Muy Alta

Se localizan principalmente en laderas cercanas a cauces entre los que se destacan en la

cuenca del río Fraile, la quebrada Granates, un sector localizado entre los sitios San Antonio, La Playa y Risaralda (desembocadura de la quebrada San Antonio). En la cuenca del río Bolo, incluyen varios sectores de la cuenca media de la quebrada La Cristalina y un pequeño sector de la intersección de la quebrada Bolo Blanco y El Paso.

La amenaza sísmica es moderadamente muy alta, con coeficiente de aceleración máximo horizontal relativo esperado del orden de 0.30 g.

5.2.3 AMENAZA TOTAL (Ht).

A continuación se describen las categorías de amenaza por procesos de remoción en masa, teniendo como factor detonante la sumatoria de la amenaza relativa por precipitación (Hp) y por sismicidad (Hs) (**Mapa 18**):

5.2.3.1 Muy Baja a Nula.

Son planicies y terrazas fluviales localizadas en la parte baja de las cuencas, donde la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa, detonante lluvias y sismos, es muy baja.

5.2.3.2 Baja.

Sectores de colinas de piedemonte y zonas de topografía ondulada de páramo. Se incluyen algunas terrazas aluviales intramontanas y valles amplios de quebradas.

5.2.3.3 Moderada.

Hacen parte de esta, algunas zonas localizadas en la parte media y alta de las cuencas.

En la cuenca del río Bolo, se encuentran sitios poblados como Las Ferias, El Retiro, parte de la vereda El Nogal, José Celestino Mutis, Potreritos, considerados como de amenaza moderada.

En la cuenca del río Fraile se incluyen dentro de esta zona, las áreas pobladas de San Isidro, La Rivera, Loma Gorda, Las Guacas, La Diana y Los Caleños, entre otras.

5.2.3.4 Alta.

Zonas de topografía montañosa y laderas inclinadas más de 25°, localizadas en la parte media de las cuencas, bordeados por cauces de quebradas y ríos.

En la cuenca del río Bolo, los sitios Bolo Azul y Buenos Aires, pertenecen a esta zona, mientras que en la cuenca del Fraile, se encuentra Granates.

5.2.3.5 Muy Alta

Areas localizadas en la parte media de las cuencas, donde la topografia es montañosa. Los sectores afectados son laderas cercanas a cauces, conformadas por coluvios o rocas muy fracturadas y meteorizadas, pertenecientes en su mayoría a zonas de falla.

En la cuenca del río Bolo Blanco, se localizan dentro de esta zona, la quebrada El Pato, algunos sectores de las quebradas La Maltina, La Critalina y el río Bolo Azul.

A esta categoría pertenecen, para el río Fraile, toda la microcuenca de la quebrada Granates, algunos sectores de las quebradas San Antonio, Los Chorros y del río Santa Bárbara.

6 CONCLUSIONES.

- 1- Las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, hacen parte del flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, con alturas que van desde los 1000 msnm hasta los 4000 msnm. Estas cuencas han sido sometidas a la actividad tectónica regional evidenciada por la formación de estructuras plegadas y fallas como resultado de esfuerzos compresivos de la placa de Nazca contra el continente suramericano. Allí se han creado las condiciones para que los procesos de meteorización y desgaste actúen efectivamente.
- 2- Los procesos de remoción en masa, presentes en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile obedecen principalmente a las condiciones naturales de inestabilidad y se concentran principalmente, hacia la parte media, en zonas donde se conjugan las siguientes condiciones: pendientes elevadas, rocas fracturadas de tipo foliado y antiguas (Metagabros de Bolo Azul, Complejo Cajamarca, esquistos de Bugalagrande y Batolito de Santa Bárbara), con alto grado de meteorización, cubiertas por depósitos de ladera inconsolidados y suelos poco espesos que se saturan con lluvias de corta duración de intensidades altas a medias (valores de precipitación crítica de 72 mm durante dos días).
- 3- El manejo que tradicionalmente dan los habitantes de las cuencas a los suelos, no es significativo en la generación de procesos de remoción en masa, pero contribuye a acelerar especialmente algunos flujos de suelo, cuando desforesta y quema bosques para establecer cultivos limpios no tecnificados en terrenos muy inclinados, cuando produce sobrepastoreo y en general, cuando crea conflictos de uso del suelo.
- 4- En la cuenca del río Bolo, las microcuencas con mayor inestabilidad por procesos de remoción en masa y generación de avenidas torrenciales, son las microcuencas de las quebradas Nogales, Los Tambos, El Retiro, Agua Fría, río Bolo Azul, La Cristalina, La Maltina y El Silencio. En la cuenca del río Fraile, las microcuencas más inestables son la quebrada Granates, Colón, El Salado y San Rafael. Del río Santa Bárbara las quebradas El Encanto, San Antonio y Los Patos.
- 5- Los siguientes centros poblados localizados sobre el cauce mayor de ríos y quebradas, se consideran ubicados dentro de zonas de alta amenaza a avenidas torrenciales: En el río Bolo, los caseríos de Las Ferias, Pedregal (frente a la desembocadura de la quebrada Nogales), parte del casco urbano de Pradera y otras construcciones habitacionales y de infraestructura vial adyacentes a cauces. En la cuenca del río Fraile el caserío de Granates y un amplio sector del caso urbano de Florida. En la cuenca del río Santa Bárbara, el caserío del Salado, San Martín de Porres y otras construcciones habitacionales dispersas en todo el cauce mayor de los ríos.

6- Del análisis de las vertientes y sedimentos en el fondo de los valles, se concluye que en la cuenca del río Fraile, la mayoría de los eventos torrenciales se han originado en la unidad geomorfológica de Vertientes Montañas Altas, siendo las cuarzodioritas del Batolito de Santa Bárbara las de mayor aporte de material. Para el río Bolo las áreas de aporte se localizan en la misma unidad geomorfológica, pero en rocas principalmente del Complejo Bolo Azul, Bugalagrande y Cajamarca.

7- Los problemas de avenidas torrenciales de los ríos Bolo y Fraile, se manifiestan al menos desde el Terciario Superior por la presencia de restos de conos, hoy transformados en suelos residuales. La actividad torrencial de estos ríos, está representada actualmente por la depositación de nuevas geoformas de conos de deyección más pequeños localizados sobre los abanicos más antiguos, justo donde estos salen a la zona plana. Sus efectos se sienten actualmente porque las zonas de dominio de estas crecientes han sido ocupadas por la actividad del hombre propiciando los desastres.

8- Los depósitos antiguos del fondo de los valles (de posible edad Holocénica, menores de 10.000 años) encontrados en el río Fraile, indican que esta cuenca es más torrencial con generación de por lo menos 22 eventos torrenciales, mientras que en el Bolo se generaron únicamente 15. Aparentemente la torrencialidad que formó el río Párraga es tan antigua que no se puede comparar con la de las otras cuencas.

9- En el presente siglo se han registrado en el río Fraile al menos 11 avenidas torrenciales, tal vez cuatro de ellas (1937?, 1963, 1976 y 1994) con características de gran magnitud. En el río Bolo el registro histórico comprende únicamente 8 eventos, aparentemente ninguno de ellos con carácter de gran magnitud. Las cicatrices encontradas sobre las vertientes indican que estos eventos, se han generado exclusivamente por lluvias concentradas, descartándose la sismicidad como fuente generadora de eventos torrenciales

10- Los mecanismos de falla, muestran que la mayoría de los procesos de remoción en masa, especialmente los flujos de suelo superficiales (con espesores inferiores a dos metros), se generan cuando los suelos se saturan después de dos días de lluvia con precipitación crítica de 72 mm. Estos flujos representan alta amenaza debido a las elevadas velocidades que pueden alcanzar dependiendo del contenido de agua, sin dar tiempo de alerta en los sitios donde se presentan. En la cuenca del río Bolo los flujos de suelo cubren aproximadamente 500 ha. (2.4% del área total de la cuenca) y en el Fraile 1169.2 ha (5.5%).

11- Los deslizamientos activos por lo general son poco profundos con planos de falla curvos, excepto para el deslizamiento de la quebrada La Maltina cuyo plano de falla vertical es profundo (al menos 10 m). Deslizamientos antiguos fueron tratados como coluviones y cartografiados como depósitos de ladera. Los deslizamientos activos cubren

63 ha (0.30%) en la cuenca del río Bolo y 70.8 ha (0.34%) en la cuenca del río Fraile.

12- Los flujos de detritos abarcan un área de 81.6 ha (0.39%) en la cuenca del río Bolo y 11 ha (0.05%) en el río Fraile.

13- Las zonas de muy alta amenaza abarcan 399.16 ha (1.9%) en el Bolo y 884.7 ha (4.2%) en el Fraile. Sin embargo más del 50 % de las cuencas presentan amenaza moderada.

14- Aproximadamente el 45 % de la cuenca del río Bolo (9100 ha) presenta problemas erosivos de intensidad moderada a alta, mientras que en el río Fraile es del 30 % (6300 ha). Dentro de estas zonas las áreas intervenidas y con conflicto de uso alto y moderado incluyen 3597 ha (17%) en el río Bolo, mientras que en el río Fraile abarcan 1896 ha (9%).

15- La degradación por actividad humana, del recurso suelo y la aceleración de procesos de inestabilidad de los ecosistemas, se debe en gran parte a factores como:

- explotaciones inadecuadas de bosques.
- colonizaciones estimuladas por procesos de violencia y actualmente por cultivos no permitidos.
- Subestima y pérdida de gran parte del saber y del proceder indígena para aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y en todo caso, la pobreza rural que es un factor de peso en la destrucción de los bosques.

16- La masa de restos vegetales en los suelos junto con la población de macro y microfauna y su producción de materia orgánica, cumple tres funciones básicas respecto de la erosión:

- Absorbe parte de la precipitación pluvial.
- Entrega a manera de acción de dispensador, agua más o menos limpia para su ingreso al perfil de suelo.
- Reduce el volumen de escorrentía y su capacidad abrasiva y de afrastrado sobre las partículas del horizonte superficial.

No obstante, pese al carácter protector que representa el cubrimiento vegetal, árboles de gran tamaño pueden sobrecargar un suelo en laderas empinadas, muy húmedas y con circulación hipodérmica, llevándolos al colapso a través de procesos de remoción en masa. Lo anterior se observa muy claramente cuando el material rocoso está cubierto por suelos coluviales o derrubios en posición fisiográfica crítica de altas pendientes.

7 RECOMENDACIONES

- 1- Aplicar los resultados del presente estudio, con el fin de evitar o minimizar los efectos de las avenidas torrenciales de los ríos Bolo y Fraile; en especial aquellas consignadas en el capítulo sobre Conflictos, Uso Potencial y de Amenazas. Estos mapas sirven como guía e instrumento fundamental en la planificación preventiva y correctiva.
- 2- En los sectores identificados y mapeados como zonas muy alta amenaza, no debe existir concentraciones urbanas y el uso del suelo debe ser restringido para actividades agropecuarias. Hacia estas zonas deben enfocarse todos los planes de mitigación y prevención de desastres, ya que del deterioro y ampliación de estas áreas inestables, depende en gran parte la conservación de las cuencas y la tranquilidad de los habitantes de las partes bajas, sometidas a los efectos de avenidas torrenciales alimentadas por procesos de remoción en masa generados a partir de estas zonas.
- 3- En la priorización de acciones y medidas de mitigación y estabilización de zonas inestables, se recomienda tener en cuenta los mapas de densidad de procesos y amenaza por remoción en masa, que indiquen el orden de ejecución de trabajos de acuerdo con las posibilidades de daño.
- 4- En los sitios donde se han generado procesos de remoción en masa, especialmente en aquellos en cuyas coronas existen cultivos, se requiere discontinuar esa actividad, aislarlos y emprender reforestación con plantas de baja monta; además de uniformizar el terreno y facilitar su recuperación mediante la construcción de barreras vivas y trinchos que permitan el crecimiento de las especies arbustivas nativas e impidan la infiltración y el impacto de las gotas de lluvia.
- 5- Se hace prioritario colocar instrumentación adecuada en la cuenca del río Bolo especialmente en las quebradas La Cristalina, El Nogal y río Bolo Azul (parte baja). De igual manera para el río Fraile en las quebradas Granates, San Antonio y río Santa Bárbara, con el fin de conocer a corto y mediano plazo, los valores de precipitación a partir de los cuales se empiezan a generar los flujos de escombros. El conocimiento de las intensidades de lluvia que generan avenidas torrenciales en estas cuencas, sólo se puede obtener mediante esta instrumentación, después de que se tenga algún indicador con el que se pueda diseñar un plan de contingencia coherente.
- 6- Se hace necesario en el futuro, implantar un sistema de monitoreo y alerta temprana que incluya la colocación de pluviómetros telemetrados, detectores de flujos de lodo y escombros y vigilancia visual apoyada por sistemas de comunicación. Además se debe diseñar un plan de contingencia que tenga como soporte básico los conceptos sobre generación de flujos emitidos en este trabajo.

7- Debido a que las avenidas torrenciales son cíclicas en el tiempo (periodos de retorno de 13 a 25 años, que pueden modificarse por condiciones meteorológicas adversas), se recomienda adelantar lo más rápido posible, el diseño de obras de mitigación y protección contra este tipo de fenómeno para los cascos urbanos de Pradera y Florida. Además se deben emprender planes de prevención que incluyan, posible reubicación en zonas más seguras.

8- Dado que las avenidas torrenciales, son procesos de transporte en masa (flujos hiperconcentrados y flujos de escombros), donde el mayor daño es causado por los sólidos en suspensión, arrastre y saltación, se recomienda realizar los estudios correspondientes de viabilidad para el diseño de obras de control de flujos cuyo propósito es múltiple como el de controlar las descargas de sólidos, minimizar la energía de flujo y detener la producción de detritos por procesos de socavación lateral. Entre las medidas recomendadas se incluyen las presas sedimentadoras escalonadas en concreto o en columna. La altura de la presa es mínima y se considera que no debe sobrepasar los diez metros como se muestra en una de las figuras anexas. Otras obras podrían ser trampas en criba u otras similares. Estas obras han dado excelentes resultados en control de este tipo de flujos en el Japon (Ikeya, 1976).

9- Realizar estudios complementarios de dataciones radiométricas para determinar con precisión la edad de cada uno de los eventos registrados en secciones sedimentológicas ubicadas en los bordes de los ríos, especialmente en los sectores urbanos de Pradera y Florida, que sirvan de soporte para establecer el rango preciso de tiempo en el cual se han generado algunos de estos depósitos torrenciales.

10- Se recomienda a las instituciones involucradas en la problemática de las cuencas, aprovechar los trabajos y resultados de investigaciones realizadas por entidades de orden nacional y local entre las cuales vale citar el desarrollo participativo en la cuenca del río Lebrija (Corporaciones Autonomas Regionales, 1996), el establecimiento de zonas amortiguadoras por el sistema de parques nacionales (Asociación Luna Roja, 1996), las parcelas agroforestales de Negavita, N. de Santander (Caja de Credito Agrario, 1984), Los elementos de bajo costo, autofabricación y tecnologías criollas producidos en Gaviotas, Casanare, los avances en investigación sobre uso y manejo de suelos, alcanzados en Cenicafé (Federación Nacional de Cafeteros, 1975), los logros del CIAT en Palmira, valle, en materia de pastos y leguminosas, etc.

11- Se recomienda señalar e inculcar a los moradores de las cuencas, sobre los beneficios que reporta la ejecución de obras de recuperación de suelos cuando su explotación implica algún grado de conflicto, la conveniencia de la declaratoria de efecto ambiental cuando tal afectación o conflicto alcance cierta envergadura, la restauración ambiental previa reserva de los recursos degradados de una zona (Art. 47), la necesidad de adquisición de áreas para tratamiento de suelos (Art. 69) y la participación solidaria preventiva en el caso de los

incendios forestales (Art.241 y siguientes, del Código Nacional de los Recursos Naturales, INDERENA, 1986). En este sentido y en virtud de las condiciones socioeconómicas, generalmente precarias, de los habitantes de las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, que no les dan alternativas, se recomienda además, estudiar la posibilidad de que los grandes beneficiarios del agua, subsidien económicamente a los minifundios que se encuentren en estas zonas de conflicto, para detener la degradación del terreno y asegurar la producción de agua de las cuencas.

12- La incompatibilidad del bosque protector con la implantación de coníferas queda en evidencia con los resultados observados en suelos de alta montaña, bajo este tipo de especies: cambios drásticos del régimen de humedad edáfica hacia sequedad, prismatización de la estructura original de bloques subangulares, severo agrietamiento, resinificación de las unidades estructurales que imposibilita a veces su humedecimiento, bloqueo de los poros del suelo que obstaculiza los procesos biológicos, disminución notable de la fauna edáfica y posible evolución por podzolización. Es necesario, en fin, insistir en el cumplimiento de las disposiciones oficiales sobre vedas que involucran a estos ecosistemas en lo relativo a especies como: la palma de helecho, musgos, lama, quiches, orquídeas, robles, pino romerón, etc. (INDERENA, 1986).

13- El bosque prospectado como eminentemente productor, lo es en su mayoría para foráneas tales como Eucaliptos biminalis, E. glóbulus y Pinus pátula, son masas forestales comerciales y en tal condición es apenas lógico que su aprovechamiento deba realizarse en áreas accesibles cercanas a ríos o quebradas, vías de comunicación y centros de población que es, en general, el criterio seguido para la ubicación de estas por costos, logística, etc.

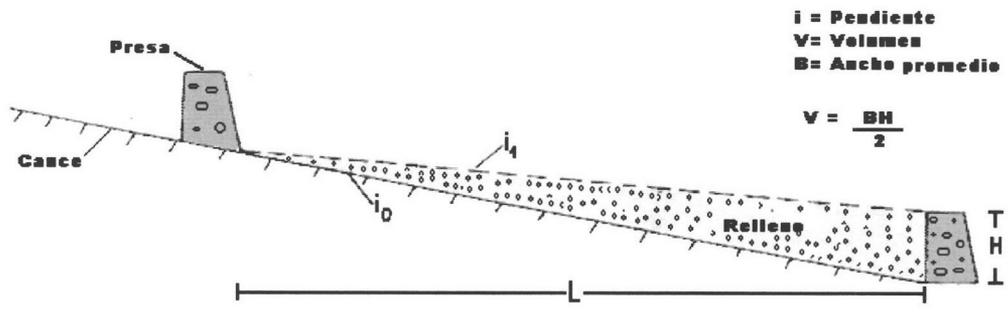
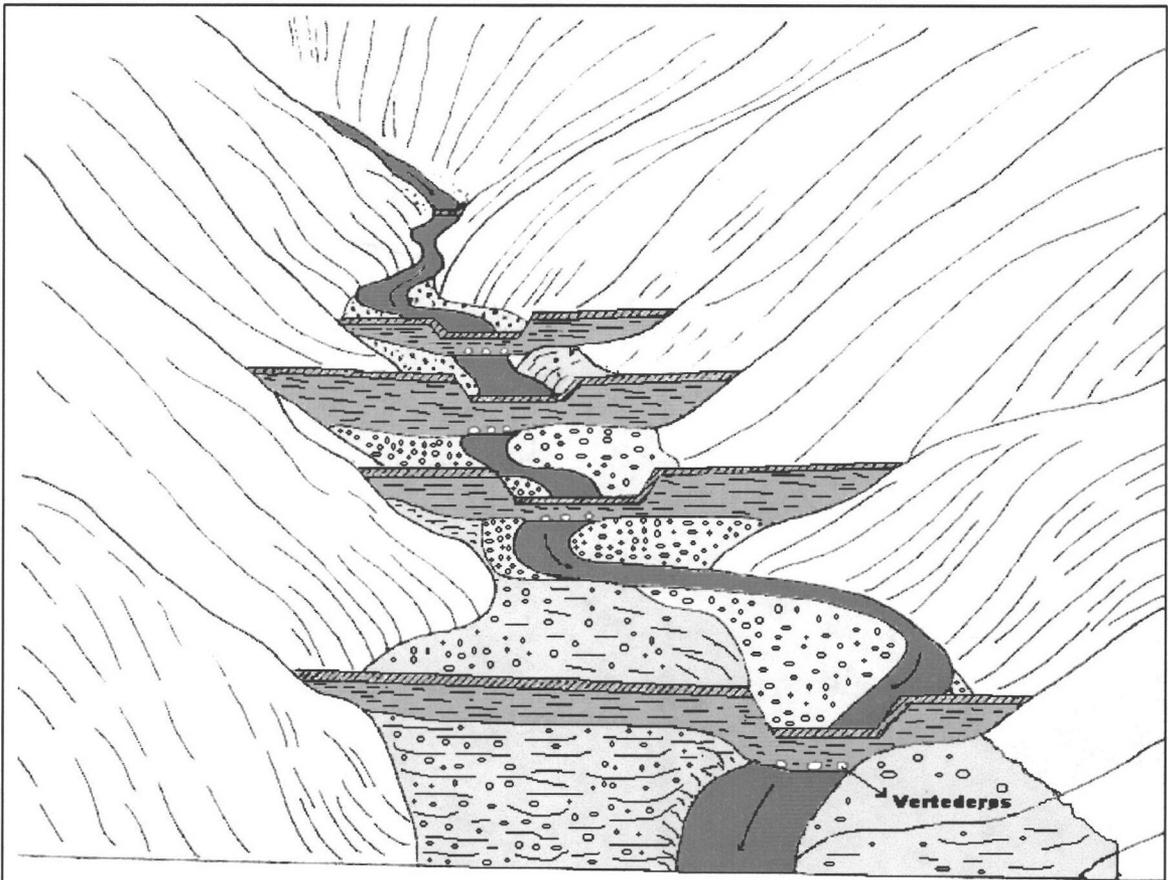
14- Las praderas tropicales a andinas son causantes de conflicto en el caso de los bosques, en especial por la precariedad superficial a que están quedando reducidos los bosques maderables, pero además por otras razones de peso como su sobreexplotación para pastizales o dehesas que puede agravar procesos erosivos, debido a que la ganadería en estas zonas muy pendientes, produce pérdidas de suelo considerables. Cuando la cobertura de praderas domina un flanco escarpado de la montaña es evidente y urgente que, en aras de su conservación, se proceda a permitir la proliferación de rastrojos y, en ocasiones, de arbustivas o frutales económicamente utilizables.

15- Los cultivos particularmente los limpios, en laderas de alta montaña, deben observar diversificación, es decir, práctica de siembras mixtas (legumbres y hortalizas, alternadas con lotes de cereales y setos de árboles frutales). Esto facilita la asimilación óptima de nutrientes y estabilización del suelo. En lo posible, evitar el uso del azadón pues afloja la tierra y la hace más propensa a ser lavada por el agua o dispersa por el viento. Las grandes haciendas, en razón de su área, deben conservar los bosquecitos adyacentes a las cañadas.

16- Relativo a las áreas para tratamiento, muchos de los focos erosivos o procesos de

remoción en masa obedecen al caso omiso que se hace de dar preferencia al empujamiento o vegetación arbustiva en cuencas muy empinadas y deleznales en vez de árboles grandes que por su peso producen efecto de palanca, situación aplicable a la generalidad de los depósitos de ladera de tipo coluvial, espesos y saturables. Pero también el tratamiento con herbáceas es indispensable para el caso de las colinas severamente degradadas por erosión laminar en la parte baja de la zona, donde se observa regeneración espontánea con base en la especie hayuelo.

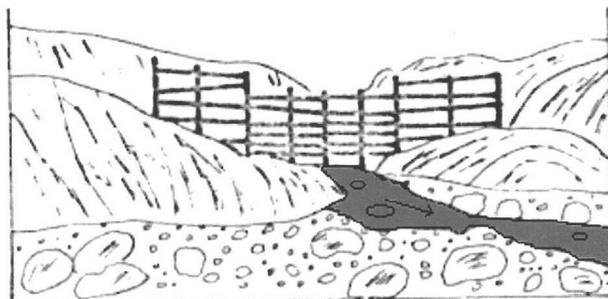
17- Realizar una gestión coordinada interinstitucional en todo el manejo que deba y pueda implementarse en las cuencas, en la que se tenga en cuenta la participación de la comunidad allí asentada.



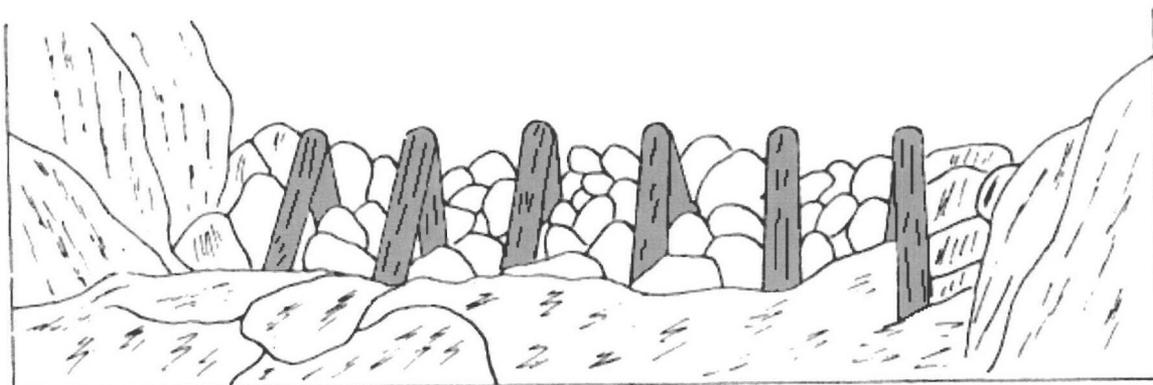
i = Pendiente
V = Volumen
B = Ancho promedio

$$V = \frac{BH}{2}$$

| | | |
|---|---|---|
|  | Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca |  |
| | Instituto de Investigaciones en geociencias, minería y química | |
| PRESAS ESCALONADAS PARA RETENCION DE FLUJOS DE ESCOMBROS Y TORRENCIALES (Tomado de Ikeya, 1976) | | |



A: TRAMPAS EN CRIBA PARA RETENCION DE SEDIMENTOS
(Tomado de Schuster, 1973)



B: TRAMPAS EN COLUMNA PARA LA RETENCION DE DETRITOS



Corporación Autónoma Regional
del Valle del Cauca
Instituto de Investigaciones en
geociencias, minería y química



**OBRAS DE CONTROL PARA
FLUJOS DE ESCOMBROS**

8. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, A. 1996. El Ordenamiento Territorial : Política y plan. Revista SIG-PAFG No. 10-11. IGAC. Santa Fe de Bogotá. pp. 7, 26, 27, 29, 36, 66.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA (AIS), INGEOMINAS, y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 1996. Estudio General de Amenaza Sismica de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C.
- ASOCIACIÓN LUNA ROJA. 1996. Medio Ambiente. Desarrollo Humano Sostenible. Revista No. 2 Editora Luna Roja. Santa Fe de Bogotá, D.C. pp. 21.
- ASPDEN, J.A., 1984 The geology of the Western Cordillera, departement of Valle, Colombia. INGEOMINAS-MISION BRITANICA, B.S.G. Cali, Colombia, Report No. 4.
- BAKER, 1988 Flood geomorphology., Wiley and sons publications. Ney York.
- BEDIENT, P; HUBER, W.1988. Hydrology and Floodplain Analysis. Addison Wesley.
- BELL, F.C., 1969 Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. Proceedings ASCE. Hydraulics Division. Vol 95. HY1.
- BENNETT, H. H. -1965. Elementos de conservación del suelo. Fondo de Cultura económica. México D.F.364 pp.
- BOTERO, G., 1963, Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Anales . Facultad de minas, Medellín p. 57, 101 p.
- BROOK, M.,1984, New radiometric age date from S.W. Colombia. INGEOMINAS-MISION BRITANICA B.G.S., Cali, Colombia. Report No.10.
- CAJA DE CRÉDITO AGRARIO.1984. Almanaque Creditario. Año XXXIV. Impresión Prensa Moderna. Bogotá. pp. 101.
- CASTELLANOS JIMENEZ, R., 1996 Lluvias críticas en la evaluación de amenazas de eventos de remoción en masa. Tesis de Magister en geotecnia, Unv. Nacional de Colombia.
- CARRARA, A., 1993, Potentials and pitfalls of G.I.S. technology in assessing natural hazards. En: Reichenbach P. Guzzetti, F. And Carrara editores, abstracts. Proceed. Int. Workshop GIS in Assees. Natural hazards, Perugia, sep. 20 -22. P 128-137
- CASTRO DORADO, A., 1989, Petrografía básica texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. Madrid.

COLEMAN, R. G., 1977, Ophiolites, Springer –Verllag , Berlín..229 p.

CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES. 1996. Revista de las Corporaciones No. 5 Ministerio del Medio Ambiente. Gente Nueva Editorial. Santa Fe de Bogotá. pp. 38.

CORTÉS L, A. 1986. Las tierras de la Orinoquía. Capacidad de uso actual y futuro. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Escuela de Postgrado. Fondo para la Protección del Medio ambiente FEN Colombia. Editado por Colombiana de Impresos. Bogotá. pp. 60.

COSTA, JOHN., 1988 Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. in Flood geomorphology, Baker, Victor et al, John Wiley & Sons, New York pp113-122

CVC. -1977. Estudio general de suelos del sector rio La Vieja - rio Desbaratado- Cordillera Central (Departamento del Valle del Cauca). Bogotá.

----- 1977(?). Plan de Ordenación y Desarrollo de las cuencas de los ríos Bolo, Frayle, Desbaratado. Municipios de Pradera, Florida, Miranda. Informe CVC No. 77-5. Cali. Colombia pp. 2, 3, 33, 34, 35.

----- . 1975. Estudio general y semidetallado de suelos - Características físicas y químicas de las cuencas Bolo -Frayle - Desbaratado. Informe técnico CVC 76-13. Cali.

----- . -1984. Estudio sobre el uso potencia del suelo cuenca Bolo - Frayle-Desbaratado. Informe técnico CVC. Cali 244 pp.

----- . -1989. Estudio general unificado de suelos. Cali.

----- . -1989. Estudio de vegetación de las cuencas Bolo - Frayle - Desbaratado. Informe técnico CVC. Cali.

----- . -1989. Riesgos de Inundación en el Municipio de Florida por Desbordamientos del río Frayle. Informe técnico CVC. Cali.

----- . -1993. La CVC previene sobre posibles inundaciones en Florida y Otros Municipios (Informe remitido al periódico El País el día 5 de febrero de 1993 y que no fue publicado por dicho periódico). Cali.

----- . -1994 c Informe sobre las crecientes de los rios Frayle y Bolo en enero 31 de 1994. Informe técnico CVC-ST-DET-HC—94-04. Cali.

-----, Acuavalle - Ingeominas., 1996 Diagnóstico para el manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Frayle y propuesta de intervención 32p.

-----., 1994b. La protección del municipio de Florida para crecientes del Río Frayle. Obras de estabilización del Río Frayle en el corregimiento de El Pedregal. Sector Tayrona. inf. 3515-05. Octubre 1994, 24p. 6pl.

CHAVES, O. y BARRIENTOS, A. -1994. La protección del municipio de Florida para crecientes del río Frayle. Obras de estabilización del río Frayle en el Corregimiento de El Pedregal - Sector Tayrona. Informe técnico CVC 351 - 05. Cali.

DEARMAN, W.R., 1974, Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. Bulletin international Association of Engineering Geology.

DE SOUZA, H. A. F. et al, 1984, K-Ar ages of basic rocks in the Patia Valley, SW. Colombia. Tectonophysics, 107, p. 135-145.

DIRECCION NACIONAL PARA LA PREVENCION Y ATENCION DE DESASTRES, 1994. Calamidad pública en el municipio de Florida, Valle del Cauca. Informe de actividades. Santafé de Bogotá.

DUQUE-CARO, H., 1978. Major structural elements and evolution of Northwestern Colombia. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 29, p. 329-351.

ESPINAL, L.S. y MONTENEGRO E. -1963. Formaciones Vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé de Bogotá, D.C.

ESPINOSA, A., 1980. Sur les roches basiques e ultrabasiques de bassin du Patia Ph. D. Thesis (unpubli) Univ. Geneve No. 1970.

ESQUIVEL et al, 1981, Anfíbolitas granatíferas, esquistos anfibólicos y rocas máficas-ultramáficas al este de Buga-Palmira, Valle, Colombia. Resumen tercer Congreso Colombiano de geología, Medellín.

FAO. -1967. La erosión del suelo por el agua. Roma.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1975. Cenicafé. Volumen 26. No 2. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná. Caldas. pp. 72, 87.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Impresión: Lito Moderna. Ltda. Chinchiná. Caldas. pp, 85.

FEININGER et al, 1972. Geología de Antioquia y Caldas (subzona II b). Bol. Geol. INGEOMINAS 20 (2), 173p. Bogotá Colombia.

FUNDACIÓN FRIEDRICH NAUMAN. 1976. La reforestación en Colombia. Impresión Editora Guadalupe Ltda. Bogotá D.E. pp. 191, 192, 200, 206, 316, 317.

GONZALÉZ, J. -1994. Informe sobre la creciente del río Frayle, Enero 31 de 1994, Municipio de Florida - Valle del Cauca. Informe de actividad del INGEOMINAS. Cali.

GONZALÉZ, J. -1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). Bol. Geol. INGEOMINAS, 23, No. 1, 174 p, Bogotá Colombia.

GUHL N., E. et al. 1992. Medio Ambiente y Desarrollo. 2a edición. Tercer Mundo Editores. Ediciones Uniandes. Santa Fe de Bogotá. pp. 162, 163, 164, 165, 287.

GUZMÁN, F. -1990. Viviendas dentro del lecho del río Bolo en el municipio de Pradera. Informe técnico CVC. Cali.

----- . -1991. Propuesta de plan de acción para el manejo de las aguas superficiales del sector nororiental del Pradera. Informe técnico CVC 252-G-03. Cali.

GUPTA, AVIJIT., 1988. Large floods and geomorphic events in the humid tropics. in Flood geomorphology, Baker, Victor et al, John Wiley & Sons, New York pp301-320

HAAN. 1977 Ch. Statistical Methods in Hydrology. Iowa State University Press..

HERMELÍN, M. 1978. La geología ambiental: una necesidad para Colombia. Ponencia para el II Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Ingeominas. Bogotá pp. 7,8,9.

HIMAT, 1994. Análisis de la creciente, municipio de Florida - Valle.

HOLDRIDGE, L. R. -1982. Ecología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica.

HUPP, CLIFF., 1988. Plant ecological aspects of flood geomorphology and paleoflood history. in Flood geomorphology, Baker, Victor et al, John Wiley & Sons, New York pp 335-356.

IKEYA, H. 1976, Introduction to Sabo Work. The preservation of land against sediment disaster. Japan Sabo Association.

INDERENA. 1986. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables. Editorial Gente Nueva. Bogotá.

INDERENA. 1986. Manual de Recursos Naturales Renovables para alcaldes, corregidores e inspectores de policía. Ministerio de Agricultura. 3a edición. Impresión: Editorial Gente Nueva. Bogotá, D.E. pp. 45.

INDERENA. 1977. La erosión de tierras en Colombia. Con mapa de procesos dinámicos. Ministerio de Agricultura. Banco de la República. Bogotá. D.E. pp. 20, 24, 40.

INGEOMINAS. -1985. Mapa geológico preliminar de la plancha 300 - Cali escala 1 :100000, por W. Mc Court y G. Berdugo. INGEOMINAS. Bogotá.

----- y COMUNIDAD ECONOMICA EUROPEA. -1992. Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán. Ingeominas. Bogotá, D.C.

----- y CVC. -1997. Informe de visita Vereda de Granates- Comunidad de Granates, Cuenca del río Frayle, Municipio de Florida, Valle del Cauca. Informe Inédito. Cali.

----- y R.S.N.C., -1995. Catálogo de Sismos de Colombia 1566 - 1995, Datos de Hipocentros e Intensidades. Ingeominas. Santafé de Bogotá, D.C.

----- y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. -1996. Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. Ingeominas. Santafé de Bogotá, D.C.

INSTITUTO GEOGRÁFICO “ AGUSTÍN CODAZZI”. 1985. Mapa de bosques de Colombia. Memoria explicativa. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Subdirección. Agrológica. Bogotá, D.E. pp. 21.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1988. Riesgos geológicos. Curso de riesgos geológicos. Imprime ETIMSA. Madrid. pp. 169, 170, 328.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. 1991. Evaluación y corrección de impactos ambientales. Serie: Ingeniería Geoambiental. Imprime: Gráficas Monterreina, S.A. Madrid. pp. 69, 70, 97.

KOCHEL, C. AND BAKER, V., 1988. Paleoflood analysis using slackwater deposits. in Flood geomorphology, Baker, Victor et al, John Wiley & Sons, New York pp 357-376.

KOCHEL, CRAIG., 1988 Geomorphic impact of large floods: Review and new perspectives of magnitude and frequency. in Flood geomorphology, Baker, Victor et al, John Wiley & Sons, New York

LECARPENTIER, C.,1973. Influencia de la vegetación especialmente boscosa, sobre escurrimiento fluvial. Cooperación técnica francesa INDERENA. Bogotá D.E.

----- y Pérez, A. 1973. Elaboración de mapas de cobertura vegetal. Nota técnica. No. 73-1 mecanografiada. INDERENA. División Cuencas Hidrográficas. Bogotá D.E. pp. 2, 3, 4, 6, 7.

----- et al. -1977. La erosión de tierras en Colombia. INDERENA. Ministerio de Agricultura. Editorial Stella. Bogotá, D.E.

LINSLEY, FRANZINI, 1992. Water Resources Engineering. McGraw-Hill. 4th Edition..

LINSLEY, KOHLER, PAULHUS 1985. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill. 3rd Edition. .

McCOURT, W.J. & ASPDEN, J.A., 1984, A plate tectonic model for the phanerozoic evolution of the central and southern Colombia. In Proc. 10th Caribbean geol. Conf. Cartagena.

McCOURT, W.J. y VERDUGO, 1984 The geology of the Central cordillera the department of Valle del Cauca, Quindio and NW Tolima. Report No. 8 INGEOMINAS- MISION BRITANICA, B.G.S., Cali, Colombia.

McCOURT, W.J. & GROTHJOHANN, H., 1981, Resultados de los trabajos de cartografía regional. Departamento del Valle del Cauca, Cordillera Central, resumen III Congreso Colombiano de Geología, Medellín.

MARÍN , W. y ROMERO J. -1989. Inventario de amenazas geológicas en algunos municipios de valle del Cauca. Informe INGEOMINAS Regional Pacífico. Cali.

MATULA, M., 1981, Rock in engineering geological mapping report by the I.A.E.G. comission onm engineering geological mapping. Bull of intern. Assoc. Of Eng geology.

MEYER H., y PAULSEN A. -1991. El Terremoto Colombiano del 31 de Enero de 1906. Traducción del Artículo de E. Rudolph y S. Szirtes. Observatorio Sismológico del Suroccidente, OSSO, Universidad del Valle. Cali.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, Departamento Nacional de Planeación. 1996. Política de Bosques. Documento, CONPES No. 2834. Impresión: Imprenta Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá, D.C. pp. 20, 21.

MUNICIPIO DE FLORIDA, CVC, ACUAVALLE E INGEOMINAS. -1997. Diagnóstico para el manejo de la cuenca hidrográfica del rio Frayle y propuesta de intervención. Cali.

NARANJO, G. Y RIVERA, C. 1992. Bosque de Niebla. Introducción al ecosistema altoandino. 2a edición. Fundación Herencia Verde. FES.WWF. Impresión: Círculo de Impresores Ltda. Cali. Colombia. pp. 13, 58, 59. MOSQUERA, L. 1986. Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. (mecanografiado). Subdirección Agrológica. IGAC. Bogotá, D. E. 37 p.

NELSON, H.W., 1957. Contribution to the geology of the Central and Western cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali. Leidse. Geol. Medellín, p. 22. p 1-76

NELSON, H.W., 1962, Contribución al conocimiento de la Cordillera Central de Colombia sección entre Ibagué y Armenia. Ser. Geol. Nal. Bol. Geol. 10 (1-3) p. 161-202, Bogotá Colombia.

OBSERVATORIO SISMOLOGICO DEL SUROCCIDENTE, 1997. Sismicidad en los Municipios de Pradera y Florida y Areas Adyacentes. U. del Valle. Cali.

OSTERKAMP, W.R., SCHUMM, S.A., 1996. Geoindicators in flood analysis. Changes in earth systems by: Antony R. Berger & William. J. Lams editors. Baukema, Rotterdam Netherlands. 381 p.

PARRA, E., MEJIA, I., 1996 Evaluación de la torrencialidad en las cuencas de influencia en el embalse de Chivor, Boyacá. Ingeominas Medellín, 124 p.

PARRA, E., MUÑOZ, A., 1986. Efectos del episodio de lluvias concentradas en el Municipio de Manzanares, Caldas el 10 de octubre de 1986.

PENNINGTON, W. D., 1981, Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of NW. South America. Am. Jour. Geophysics. Res. 86., p 10753-107770

PERDOMO J., "ASIGFALL, Programa de Asignación de Eventos a Fallas" Informe Preliminar, Ingeominas Area de Geofísica, Santafé de Bogotá, 1997.

PERDOMO J., DIMATE C., INGEOMINAS, R.S.N.C. -1996. Relación entre Magnitudes M_L y m_b , y entre M_D y m_b . Ingeominas. Santafé de Bogotá, D.C.

RAMIREZ Y GONZALES, 1989 Investigación de deslizamientos en la red vial nacional, sistema semicuantitativo de evaluación a escala intermedia de zonas homogéneas de estabilidad. Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería, postgrado en geotecnia, Bogotá.

REGALADO, G. -1994 ?. La Avalancha del rio Frayle y sus efectos en la población de Florida. Informe técnico HIDROOCCIDENTE LTDA. Cali.

RENGERS, N. et al, 1992, Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping. Episodes. Vol. 15, No. 1 pp 36-44.

RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1975. Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. Univ. Nat. Fac. de Min. (Medellín) Publ. Esp. No. 6, 24p.

REYES Z., P. et al. 1995. El Páramo. Ecosistema de alta montaña. Serie Montañas Tropoandinas. Volumen I. Fundación Ecosistemas Andinos (ECOAN). Corpes centro-orientado. Gobernación de Boyacá. Santa Fe de Bogotá. pp. 56,57,, 77, 92.

RISK ENGINEERING INC, "FRISK88M VERSION 1.70", 1996.

ROBIN K. MC.GUIRE, "EQRISK. Evaluation of Sites for Earthquake Risk", 1976.

SALCEDO E., INGEOMINAS, 1995. Campo Macrosísmico, Intensidad y Mapa de Isosistas del Terremoto de Páez de Junio 6 de 1994. Ingeominas. Santafé de Bogotá, D.C.

SARRIA A., -1995. Ingeniería Sísmica. Ediciones Uniandes, Segunda Edición, Santafé de Bogotá, D.C.

SELBY, M.J. -1993. Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press. Second Edition. England. 451 p.

SIERRA, J. -1993. Informe 351-S. Informe técnico CVC. Cali.

SILVA, G. 1984 Hidrología básica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional. Bogotá..

SILVA, G. 1989 Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa. Revista Ingeniería e Investigación No. 16. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional. Bogotá..

SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS (sin fecha). Manual de Gestión Ambiental Vol. 1. Fonade. Bogotá. pp. 41, 42, 85.

SUÁREZ, F. -1986. Estudio semidetallado de erosión de las cuencas de los ríos Bolo - Frayle - Desbaratado - Nima - Amaime - Guadalajara - Sonso - Guabas y San Pedro. Informe técnico de CVC. Cali.

TOUSSAINT et al, 1978, Datación K-Ar del batolito de Buga, Colombia. Unv. Nal. Fac. Min. (Medellín) Pub. Especial 13, p 1-3

UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA. 1996. Desarrollo Sostenible. Edición No 2. Centro de Investigaciones y Proyectos Especiales CIPE. Impresión Grafimpresos Ltda. Santa Fe de Bogotá, D.C. pp. 3.

VANCE, J.A 1965, Zoning in igneous plagioclases II. Patchy zoning. Am. Journal. Sci.

VAN WESTEN, C.J. 1993, Application of geographic information system to landslide hazard zonation. ITC publications No. 15 International Institute for aerospace survey and earth sciences (ITC), Enschede, Netherlands, 245 pp..

VANZUIDAM, R. -1985. Aerial Photo-interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC. Holanda.

VARNES, D. -1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice.

VARNES, D. -1958. Slope Movement. Types and Processes. Cap. 2 de "Landslides Analysis and Control" Special Report 176. Eds. Schuster R. y Krizek, R. National Academy of Sciences. Washington.

VARGAS, G., 1995, Developpment de methodes de cartographie des mouvements de masse et zonage de L'area das les Andes de Colombie. Université Pierre et Merie Currie, These de Doctorat, Paris.

VARGAS, G., 1994, Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensorres remotos y S.I.G. Boletín geológico del INGEOMINAS.

VISSMANN et al. 1985 Introduction to Hydrology. Harper and Row. 3rd Edition..

WATER RESOURCE PUBLICATIONS. 1972. Floods and Droughts. Fort Collins Co. Sep.

WIESNER, C. J. Hydrometeorology. Chapman & Hall. 1970.

GLOSARIO

La terminología adoptada para el estudio se basa en las definiciones propuestas por Varnes (1984) y, citadas por Van Westen (1996), González (1990), Cortés (1990), Montero y Otros (1996). A continuación se describen los términos relevantes utilizados en el desarrollo del proyecto:

Amenaza Natural. Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, para un periodo específico de tiempo y para un área determinada. Montero y otros citando a Hartlen y Viberg (1988), destacan que la amenaza puede expresarse de manera cuantitativa, en términos de valores espaciales y temporales de probabilidad, o de manera cualitativa sin dar valores absolutos de amenaza. En el primer caso se trata de amenaza absoluta, y en el segundo de amenaza relativa.

Balance hídrico: Es el principio de conservación de la materia aplicado a una cuenca de aguas subterráneas, teniendo en cuenta que éstas son parte del ciclo hidrológico (interdependencia con las superficiales y atmosféricas). En otras palabras toda agua que entre a una de esas cuencas, en un periodo de tiempo dado, debe ir al almacenamiento de la cuenca o salir de ella.

Cobertura Vegetal. Según wijngaarden (1.992), es el conjunto de plantas con arreglo espacial espontáneo y con una variedad de especies vegetales.

De otro lado, ETTER (1.992) la define como el resultado de la asociación espacio temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales.

El término cobertura vegetal se aplica a los atributos de la tierra los cuales dan origen a los elementos de paisaje en forma natural o como producto de las necesidades del hombre (bosques naturales, bosques plantados, cultivos, etc.).

Dacitas: Roca volcánica de composición ácida a intermedia, constituida por plagioclasa sódica, feldespato potásico, cuarzo y en menor proporción biotita y hornblenda.,

Elementos en riesgo: Población, obras de ingeniería, actividades económicas, servicios públicos, instalaciones e infraestructura, etc, que se encuentran expuestas a una amenaza en un área dada.

Factores Intrínsecos. Representa de manera jerárquica y a diferentes escalas cada uno de los factores que constituyen la causa real de los procesos de remoción en masa y que se relacionan con: la naturaleza y condiciones del material, las características del relieve y la inclinación de las pendientes.

Holohialinas, donde más del 90% es vidrio y Hialocristalinas, compuestas en parte por vidrio y en parte por cristales sin que ninguno de los dos alcance el 90%.

El *Tamaño de los cristales*, se indica como: Faneríticas cuando los cristales son observables a simple vista o con ayuda de una lupa de mano, Afaníticas cuando los cristales no son reconocibles ni con ayuda de la lupa de mano y es necesario recurrir al microscópio.

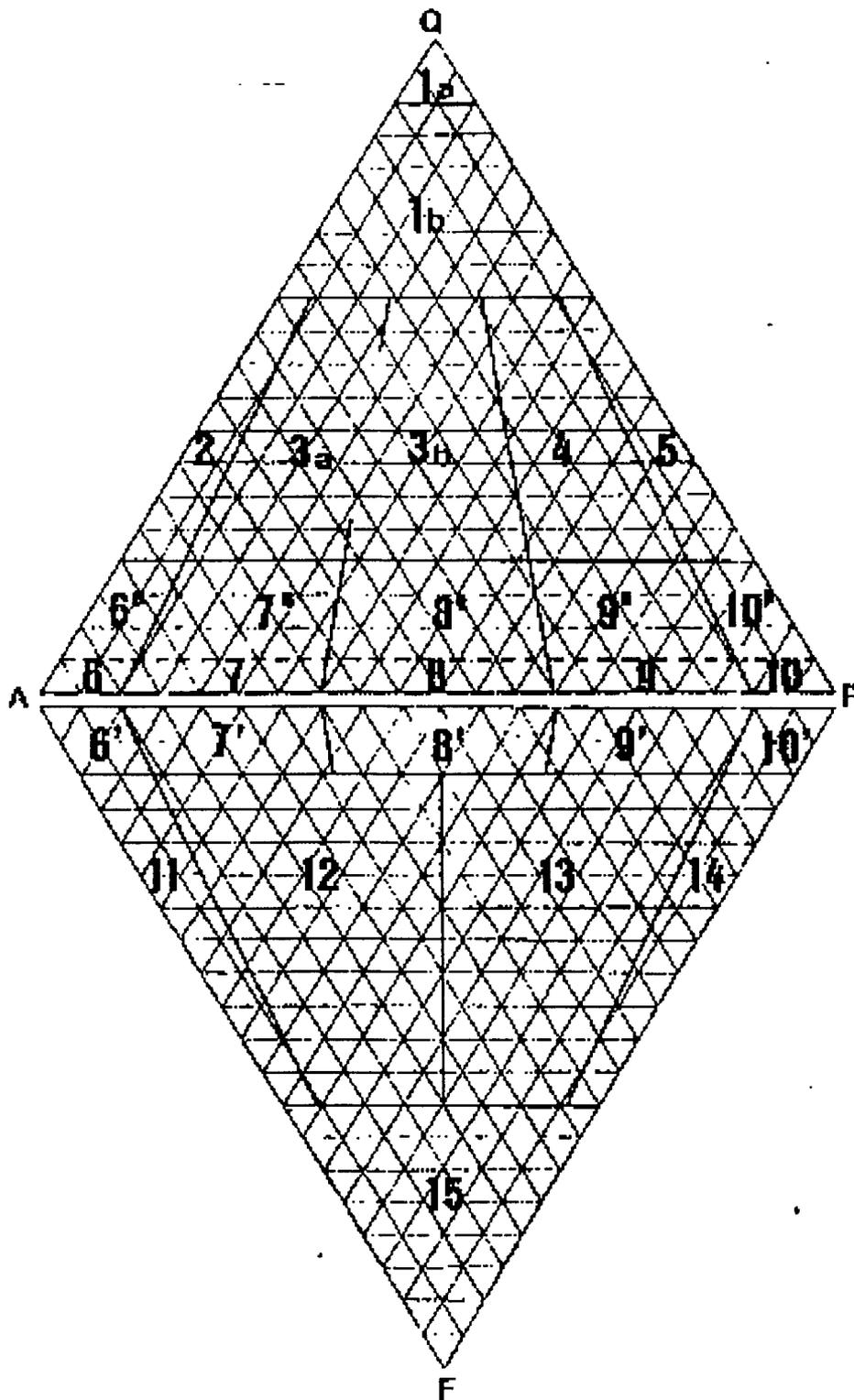
La *distribución del tamaño* de los cristales puede ser Equigranular o Inequigranular

La *estructura*, se refiere a la distribución y difusión de los componentes de la roca en el espacio, como consecuencia de las condiciones de cristalización.

Para la *clasificación* de las rocas según su origen, se utilizan algunas tablas de acuerdo con los porcentajes de minerales presentes. Para el caso de las rocas ígneas se usan principalmente los diagramas de clasificación de Streckeisen, los cuales utilizan dos triángulos con porcentajes de los principales minerales constituyentes. (ver diagrama anexo). Así por ejemplo las cuarzodioritas (10 en la tabla) tiene aproximadamente un 20% de cuarzo, 70% de plagioclasas y un 10% de feldespatos alcalinos.

NOMENCLATURA

| | |
|---|--|
| 1a Cuarzolita | 8 Monzonita |
| 1b Granitoides ricos en cuarzo. | 8' Monzonita con feldespatoides |
| 2 GRANITOS DE FELDESPATO ALCALINO | 9MONZODIORITAS/MONZOGABRO |
| 3a .Sienogranito | 9° Cuarzo-monzodiorita / Cuarzo-monzogabro° |
| 3b Monzograanito | 9 Monzodioritas/Monzogabros |
| 4 GRANODIORITAS | 9' Monzodioritas/Monzogabro con feldespatoides |
| 5 TONALITAS | 10 DIORITAS/GABROS |
| 6 SIENITAS DE FELDESPATO ALCALINO | 10°Cuarzodiorita/cuarzogabro |
| 6°Cuarzosienita de feldespato alcalino. | 10 Dioritas/Gabros |
| 6 Sienitas de Feldespato alcalino | 10' Dioritas/Gabros con feldespatoides |
| 6' Sienitas de Feldespato alcalino con feldespatoides | 11 SIENITA FELDESPATOIDICA |
| 7 SIENITAS | 12 MONZOSIENITA FELDESPATOIDICA |
| 7°Cuarzosienita | 13 MONZODIORITA/MONZOGABRO FELDESPATOIDICA |
| 7 Sienitas | 14 GABRO/ DIORITA FELDESPATOIDICA |
| 7' Sienitas con feldespatoides | 15 FOIDITA |
| 8 MONZONITAS | |
| 8°Cuarzomonzonita | |



Doble triángulo de Streckeisen 1976. Q (cuarzo), A (feldespato alcalino), P(plagioclasas, F(feldespatoides) Tomada de Castro Dorado 1989.

Foraminíferos: Microorganismos acuáticos en su gran mayoría marinos.

Hidrogeología: Especialidad del conocimiento que se enfoca a determinar las leyes y propiedades que permiten el almacenamiento y flujo del agua (subterránea) en rocas y sedimentos, lo mismo que la interacción física y química que se deriva de ese proceso y las formas de aprovechamiento y manejo de ese recurso del subsuelo.

Licuefacción: o subsidencia sísmica, se produce durante los terremotos fuertes al perder las arenas y limos sueltos saturados, su capacidad portante o compactación; en consecuencia se producen hundimientos de edificaciones y obras con resultados catastróficos.

Lidita: Roca sílicea de origen Químico-orgánico.

Mapas de Factores Detonantes. Representan de manera jerárquica y a diferentes escalas, los factores naturales de sismicidad y precipitación, que constituyen la causa inmediata o detonante de los procesos de erosión y de los procesos de remoción en masa.

Mapa de Susceptibilidad. Representa de manera jerárquica y a diferentes escalas los factores intrínsecos, naturaleza del material, su condición y estructura, las cuales constituyen la causa real de los procesos de remoción en masa ó de los procesos erosivos.

Mapa de Amenaza Relativa. Representa de manera jerárquica y a diferentes escalas la combinación específica de los factores intrínsecos y de los factores activadores mediante el empleo de cualquier técnica heurística o estadística, en unidades, zonas o provincias con diferentes grados de amenaza cualitativa.

Modelamiento: Se entiende como el modelo de evaluación que define la interrelación de los factores (o parámetros) analizados para lograr el objetivo propuesto. En términos generales, es la misma zonificación, y está estrechamente relacionada con el nivel de estudio que se pretenda y la escala de trabajo.

Para el modelamiento de factores se pueden emplear diversas técnicas que pueden clasificarse como sigue: análisis heurístico, estadístico y determinístico.

Período de retorno: Indica el tiempo en el que se puede producir un suceso de una determinada magnitud. Así, si se habla de terremotos, el periodo de retorno para que se produzca un sismo de magnitud 8 en la escala instrumental de Richter, o bien de la avenida torrencial correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

Petrografía: Es la descripción y clasificación que se hace de una roca con la ayuda del microscopio para identificar su patrón textural, minerales constituyentes, estructura, etc.

El patrón textural se refiere al grado de cristalinidad o disposición de los cristales dentro de la roca. Por ejemplo rocas Holocristalinas, son aquellas donde más del 90% son cristales,

Porosidad Primaria: Tipo de porosidad de una roca o sedimento que depende exclusivamente de las aberturas intergranulares en él existentes. En otras palabras el fluido o agua se almacena y transmite a través de esos poros en recorridos muy tortuosos y lentos.

Porosidad Secundaria: Porosidad dependiente de la existencia de fracturas causadas en las rocas por fenómenos tectónicos y efectos de erosión /meteorización. Como resultado se crean “caminos” más expeditos para la circulación del agua, siendo esta relativamente más rápida.

Prevención: Es el conjunto de medidas estructurales y no estructurales, basadas en la predicción, que buscan disminuir al mínimo el nivel de daño económico-social que puede producir un riesgo geológico. Las medidas estructurales para el caso de las avenidas torrenciales son la construcción de diques, muros de protección, espolones, canalización de cauces etc.; las no estructurales son la ordenación del territorio, basado en los mapas de amenaza y riesgo buscando ubicar futuras construcciones fuera de las zonas inundables, protección civil o evacuación en caso de avenidas, cuando se supere un umbral crítico, etc.

Procesos de remoción en masa: Movimientos ladera abajo de materiales que pueden incluir tanto roca como suelo. Genéricamente son llamados deslizamientos y se producen comúnmente al ascender el nivel freático de agua, después de precipitaciones fuertes o largas, al alterarse los materiales y perder resistencia, o al ser sometidos a vibraciones por un terremoto, volviéndose inestables para comenzar a moverse cuesta abajo. Los más peligrosos para la vida humana son los flujos de suelo o de detritos debido a las velocidades que alcanzan.

Riesgo. Grado esperado de pérdidas de vidas humanas, personas afectadas, daños a propiedades, u obstrucciones de la actividad económica debido a un fenómeno natural y que está en función de la amenaza y de la vulnerabilidad. Es necesario igualmente distinguir entre riesgo y catástrofe. Una catástrofe, sólo se produce donde el riesgo se convierte en realidad, en condiciones de no prevención, unas veces motivadas por la no predicción (caso de los terremotos) y otras por la no adopción de medidas (prevención).

Riolitas: Roca volcánica de composición ácida constituida por plagioclasa sódica, o feldespatos potásico (ortoclasa) y cuarzo.

Susceptibilidad. Grado de fragilidad o propensión de un terreno a generar un fenómeno desastroso debido a las características físicas intrínsecas y ambientales que ella posee.

Uso actual del suelo. Cuando la cobertura vegetal es afectada por el hombre, se dice que el hombre usa la tierra y por consiguiente la adopta a las necesidades del mismo. Cuando el hombre no afecta la cobertura, también le está dando un uso adecuado y racional al suelo.

Vulnerabilidad: Grado de perdida de un elemento o conjunto de elementos, bajo riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y expresado en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (perdida total)

Zonificación. Se refiere a la división del terreno en áreas homogéneas o dominios y la jerarquización de dichas áreas de acuerdo con sus grados de amenaza actual o potencial.

ANEXO 1

COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS Y PERFILES DE SUELO

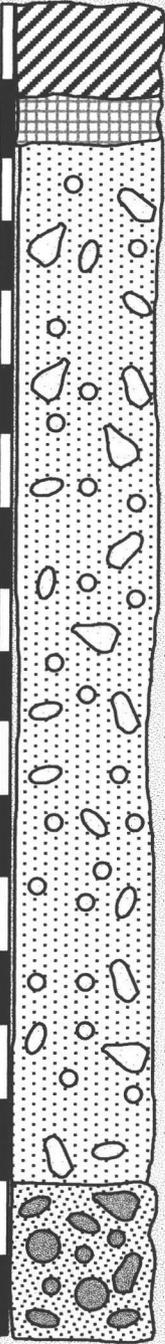
DE ALGUNAS DE LAS ESTACIONES DE TORRENCIALIDAD

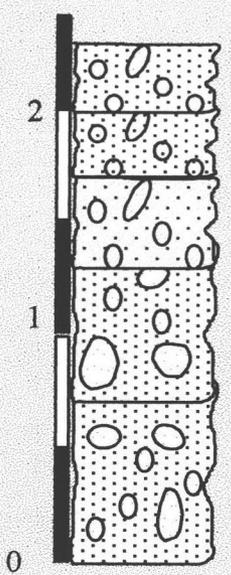
| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|------------|------------------|--------------|---|
| 9 | | 0.15-0.2 | <p>Horizonte A color pardo medio a claro, arenoso, transicional a B</p> <p>Horizonte B Estructura prismática (Clay-skin), gruesa, color pardo claro, limoso, transicional a C.</p> <p>Depósito torrencial de bloques, cantos, guijarros y matriz areno limosa. Guijarros de cuarzdiorita frescos, bloques de hasta 80 cm. de diámetro, 70% redondeados y 30% angulares.</p> <p>UBICACION: EP-4061 Q. San Rafael cota 2210 msnm.</p> |
| 8 | | 0.15 | |
| 7 | | 8.0 | |

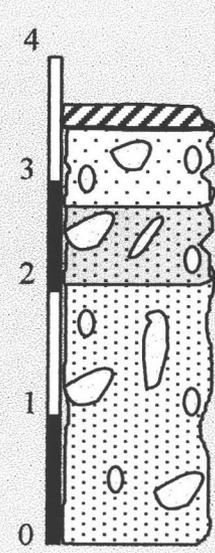
| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|------------|------------------|--------------|--|
| 2 | | 0.05 | <p>Horizonte B de incipiente desarrollo, color pardo claro, arenoso, transicional a horizonte C.</p> <p>Depósito torrencial de bloques decimétricos y guijarros frescos matriz ligeramente oxidada, más reciente que 4061.</p> <p>UBICACION: EP-4062 R. Frayle cota 2160 msnm.</p> |
| 1 | | 1.2 | |

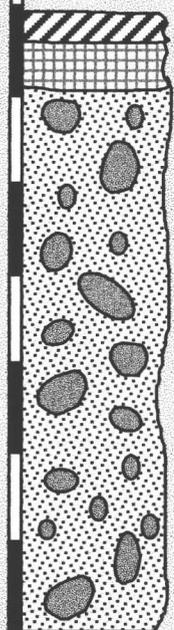
| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|------------|------------------|--------------|---|
| | | | Barra torrencial. |
| | | 2.2 | Gradación inversa predominan gravas y guijarros de 5 -8 cm. de diámetro, bloques flotantes en matriz muy inmadura con plagioclasa sin alterar de 2-3 mm. de diámetro. |
| | | 1.4 | Gradación inversa predominan bloques flotantes de 50-60 cm. de diámetro con gravas y arenas gruesas frescas, biotitas oxidadas, pequeñas costras de Fe. |
| | | 2.5 | Gradación inversa, matriz de guijarros y arena gruesa 30%, bloques decimétricos hasta 1 m. de diámetro, biotitas oxidadas costras de Fe de hasta 1 cm. de espesor. |
| | | | UBICACION: EP-4069 R. Santa Barbara cota 2600 msnm (La Playa) |

| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|------------|------------------|--------------|---|
| | | 0.4 | Horizonte A coluvial, pardo oscuro, arenoso sin horizonte B. |
| | | 1.5 | Depósito torrencial de bloques decimétricos, a métricos de Qd y Rocas metamórficas, subangulares, matriz de arenas y gravas gruesas, manchadas con óxidos de Fe pero frescas. |
| | | 2.0 | Depósito torrencial caótico, solo algunos bloques en contacto tamaño decimétrico hasta métrico en el techo, gradación inversa. La matriz de guijarros, gravas y arena manchadas con óxidos de hierro. |
| | | 2.0 | Depósito torrencial caótico con bloques centiméticos en matriz abundante (40-50 %), arenosa, color pardo claro, poca oxidación. |
| | | | UBICACION: EP-4074 R. Santa Barbara 100 m. aguas abajo Q. Los Caleños |

| Escala (m.) | Sección Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|----------------------------|--|-----------------|---|
| 9 |  | 0.6 | Horizonte A, color pardo oscuro areno-limoso. |
| 8 | | 0.4 | Horizonte B, color pardo amarillento, limoso, con clay- skin maduro de 1 a 2 mm de diámetro, se continua como matriz en el depósito. |
| 7 6 5 4 3 2 | | 7.0 | Depósito fluvio- torrencial con bloques angulares hasta de 1m. de diámetro, de 10 cm los más abundantes, en partes granosoportados, con matriz limosa. Pré-holocénico. |
| 1 0 | | 1.0 | Depósito de fondo de río, con bloques redondeados hasta 1m. de diámetro, granosoportados, matriz limosa meteorizada y con cemento de hierro. UBICACION: EP-4093 Q. El Recreo, cota 1885 msnm |

| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|---|------------------|--------------|---|
|  | | | |
| | | 0.4 | Depósito del evento de 1994, 60 % guijarros en matriz arenosa. No hay horizontes de suelo. |
| | | 0.4 | 70 % gravas frescas en matriz de arena gruesa, escasos y dispersos bloques hasta de 40 cm. de diámetro. No hay horizontes de suelo. |
| | | 0.5 | 70% bloques de 20 a 30 cm. de diámetro, matriz de guijarros y arena con algunos bloques en el fondo. |
| | | 0.7 | Depósito caótico de guijarros 60% en matriz de arena gruesa, ausencia de bloques. |
| | | 0.7 | Bloques de 10 a 20 cm de diámetro, 20% matriz de arena gruesa y gravas, la mayoría son bloques de anfibolitas y neises. |
| | | | UBICACION: EP-4096 Río Bolo Azul, cota 1680 msnm |

| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|---|------------------|--------------|---|
|  | | | |
| | | 0.2 | Horizonte A pardo oscuro, arenoso, poco desarrollado, con cantos y guijarros frescos, no hay horizonte B. |
| | | 0.8 | 20% de bloques decimétricos, 70% de cantos y guijarros centimétricos, matriz arenosa, predominio de cuarzodiorita en bloques y matriz. |
| | | 0.8 | Bloques de máximo 30 cm de diámetro, 10 cm en promedio, 60% de clastos y guijarros y 40% de matriz arenosa gruesa, manchada de óxidos de hierro, bloques caóticos de cuarzodiorita meteorizados superficialmente. |
| | | 2.0 | 70% de bloques decimétricos a métricos, 20% de matriz ligeramente meteorizada y cementada por óxidos, bloques frescos predominio de rocas metamórficas. |
| | | | UBICACION: EP-4099 Río Bolo, cota 1650 m.s.n.m. |

| Escala (m) | Seccion Columnar | Espesor (m.) | Descripción |
|---|---|--|--|
|  |  | <p data-bbox="528 325 594 367">0.05</p> <p data-bbox="528 378 594 420">0.15</p> <p data-bbox="545 546 586 588">1.5</p> | <p data-bbox="660 325 1321 367">Horizonte A, arenoso, color pardo grisáceo oscuro.</p> <p data-bbox="660 378 1371 451">Horizonte B, color pardo oscuro, transicional a A y C, areno- limoso, maduro.</p> <p data-bbox="660 535 1412 619">Depósito aluvial con 80% bloques decimétricos de 30- 40 cm de diámetro, granosoportados, matriz arenosa escasa.</p> <p data-bbox="743 903 1470 976">UBICACION: EP-4104 Río Párraga, cota 1310 msnm, Terraza baja.</p> |