



**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO
CVC – UNIVALLE 188 DE 2008**

PROYECTO M I D A S

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y ESCENARIOS DE RIESGO POR
MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y CRECIENTES
TORRENCIALES DEL ÁREA URBANA Y DE EXPANSIÓN DE LOS
MUNICIPIOS DE BUGA, RIOFRÍO, DAGUA, EL CAIRO Y LA
UNIÓN**

**INFORME GENERAL SOBRE
MAPAS TEMÁTICOS
MUNICIPIO DE DAGUA**

**SUPERVISIÓN A CARGO DE
HIDRO-OCCIDENTE**

Santiago de Cali, Julio de 2009

Este informe en su versión inicial fue presentado en Julio de 2009 y después de un proceso de revisión y corrección, se obtuvo esta versión final que fue terminada en el mes de Agosto del año 2010.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	13
INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO	19
1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS	23
1.3. AMENAZAS	23
1.3.1. Avenidas Torrenciales	23
1.3.2 Erosión	24
1.3.3. Evaluación de la base de datos Desinventar	24
1.4. DEFINICIÓN DE LÍMITES DE ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN	28
2. HISTORICIDAD	30
2.1. BUSQUEDA DOCUMENTAL Y NOTICIAS DE EVENTOS	30
2.1.1. Periódicos	30
2.1.2. Informes del CLOPAD	30
2.1.3. Informes técnicos	31
3. TOPOGRAFÍA	37
3.1. PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO	37
3.2. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES	39
3.2.1. Toma de datos de Sección	41
3.3. DISEÑO DE RED DE FOTOCONTROL PARA CONTROL FOTOGRAMÉTRICO	41
4. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	48
4.1. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	48
4.2. ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA	55
4.3.1. Mapa básico	56
4.3.2. Mapa Geológico	59
4.3.3. Mapa Geomorfológico y Morfodinámico	60
4.3.4. Mapa de Unidades Superficiales y Morfodinámico	60
4.3.5. Mapa de Uso de Suelo Urbano	60
4.3.6. Mapa de Isoyetas Mensuales Multianuales y Mapa de Precipitaciones Máximas con periodos de 24, 48 y 72 horas	60
4.3.7. Mapa de Zonas con mayor frecuencia de Inundaciones y Deslizamientos	61
4.3.8. Ortofotomapa	61
4.3.9. Modelo de Elevación Digital	61
4.3.10. Localización General de Secciones Transversales	62
5. GEOLOGÍA	64
5.1. OBJETIVO	64
5.2. ALCANCE	64
5.3. METODOLOGÍA	64
5.3.1. Consulta preliminar	64

5.3.2. Compilación temática	64
5.3.3. Fotointerpretación	65
5.3.4. Trabajo preliminar	65
5.3.5. Trabajo de campo	65
5.3.5.1. Mapa geológico	65
5.3.5.2. Cartografía geomorfológica	66
5.3.5.3. Mapas finales	66
5.4. TRABAJOS ANTERIORES	66
5.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL	67
5.5.1. Litología	69
5.5.1.1. Formación Volcánica (Kv)	70
5.5.1.2. Complejo estructural Dagua	71
5.5.13. Tectónica	72
5.6. GEOLOGÍA EN LOS ALREDEDORES DE DAGUA	72
5.6.1. Formación Volcánica (Kv)	73
5.6.2. Formación Espinal (Ke)	74
5.6.3. Depósitos recientes no consolidados	75
5.6.3.1. Depósitos aluviales del río Dagua	75
5.6.3.2. Depósitos aluviales de la quebrada El Cogollo (Qca y Qca ₂)	75
5.6.3.3. Coluviones (Qc y Qc ₁)	76
5.6.3.4. Depósitos de ladera (Stp)	76
5.6.3.5. Depósitos de Talus (Qda)	76
5.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	76
5.7.1. Falla de Dagua – Calima	77
5.7.2. Falla El Piñal	79
5.8. GEOMORFOLOGÍA	80
5.8.1. Procesos Morfogenéticos	81
5.8.2. Unidades genéticas de relieve	82
5.8.2.1. Unidades de origen estructural/denudacional	82
5.8.3. Unidades de origen denudacional	83
5.8.3.1. Laderas planas a ligeramente inclinadas (Dp)	83
5.8.3.2. Laderas fuertemente inclinadas (Dc)	83
5.8.3.3. Depresiones (Dn)	83
5.8.4. Laderas de origen denudacional/agradacional	84
5.8.4.1. Depósitos de ladera (Dl)	84
5.8.4.2. Depósitos de deslizamiento (Dd)	84
5.8.5. Formas de origen fluvial/agradacional	84
5.8.5.1. Llanura de inundación y terrazas (Fal)	84
5.8.5.2. Cono de escombros (Fc)	84
5.9. MAPA DE UNIDADES SUPERFICIALES	85
5.9.1. Unidad de Suelos Residuales	85
5.9.2. Unidad de suelos transportados	86
5.9.3. Unidad de Suelos Aluviales	87
5.10. PROCESOS MORFODINÁMICOS	88
5.10.1. Región al W del Río Dagua	88
5.10.1.1. Avalanchas potenciales	91
5.10.1.2. Deslizamientos	92
5.10.1.3. Nichos	93

5.10.2. Región al E del Río Dagua	94
5.10.2.1. Cárcavas de erosión	94
6. GEOFÍSICA	101
6.1. OBJETO	101
6.2. LOCALIZACIÓN	101
6.3. METODOLOGÍA	101
6.4. GEOFÍSICA	102
6.4.1. Equipos	102
6.4.2. Método Exploratorio	104
6.4.3. Interpretación Geofísica	105
6.4.3.1. Línea sísmica L-1	105
6.4.3.2. Línea sísmica L-2	108
6.4.3.3. Línea sísmica L-3	110
6.4.3.4. Línea sísmica L-4	111
6.4.3.5. Línea sísmica L-5	113
6.4.3.6. Línea sísmica L-6	115
6.4.3.7. Línea sísmica L-7	117
6.4.3.8. Línea sísmica L-8	119
6.4.3.9. Línea sísmica L-9	121
6.4.3.10. Línea sísmica L-10	123
6.4.3.11. Línea sísmica L-11	125
7. HIDROLOGÍA	128
7.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN	128
7.1.1. Información hidrológica recopilada	128
7.3.3. Uso actual del suelo	133
7.3.3.1. Levantamiento complementario de cobertura de suelo	136
7.3.4. Uso potencial de suelo	140
7.3.5. Conflictos de uso del suelo	148
7.3.6. Evaluación de la infiltración y perfiles del suelo	152
7.4. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	157
7.4.2. Análisis temporal de la precipitación	162
7.4.2.1. Régimen de humedad	162
7.4.2.2. Curvas de variación estacional	162
7.4.2.3. Precipitaciones máximas	164
7.4.2.4. Análisis de intensidad-frecuencia-duración	165
8. HIDRÁULICA	172
8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	173
8.1.1. Información disponible	173
8.1.1.1. Información recopilada acerca de eventos históricos	173
8.1.1.2. Información recopilada sobre la caracterización de los cauces de la zona de estudio del municipio de Dagua	175
8.1.2. Investigación de campo	175
8.1.2.1. Cauces a modelar y monitorear en el estudio	175
8.1.2.2. Diseño del programa de campo	177
8.1.2.3. Muestreo sedimentológico	188
8.2. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA E HIDRÁULICA	189

8.2.1. Caracterización sedimentológica	189
8.2.1.1. Descripción del método de muestreo	189
8.2.1.2. Métodos de conversión	191
8.2.1.3. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua y la quebrada El Cogollo	193
8.2.2. Caracterización hidráulica	197
8.2.2.1. Características generales de la cuenca del río Dagua y su cauce principal	197
8.2.2.2. Caudales característicos del río Dagua	203
8.2.2.3. Estimación de caudales máximos o de crecientes	207
8.2.2.4. Curvas de variación estacional	208
8.2.2.5. Curvas de duración de caudales	209
8.2.2.6. Características hidráulicas y geométricas	210
8.2.2.7. Secciones transversales	211
8.3. DEFINICIONES DE FLUJO, CLASIFICACIÓN Y MECÁNICA DE LODOS	216
8.3.1. Clasificación del flujo	216
8.3.2. Reología y mecánica de lodos	218
8.3.2.1. Características generales de las avenidas torrenciales	218
8.3.2.2. Comportamiento esfuerzo – deformación	220
8.3.2.3. Modelo reológico cuadrático (O'Brien y Julien, 1988)	221
8.3.2.4. Marco teórico del modelo FLO-2D	222
8.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y FLUJOS TORRENCIALES	224
8.4.1. Estado del arte	224
8.4.1.1. Metodología de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil	225
8.4.1.3. Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial	228
8.4.1.4. Metodología propuesta en el Plan Medioambiental	229
8.4.1.6. Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales	231
8.4.1.7. Metodología empleada en Florida-Valle del Cauca	235
8.4.1.8. Metodología propuesta por R. García ₁ , J.J. Rodríguez ₂ y J.S. O'Brien ₃	236
8.4.1.9. Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek	238
8.4.2. Metodología propuesta	240
8.4.2.1. Metodología para flujos con concentración normal de sedimentos (inundaciones)	240
8.4.2.2. Metodología para flujos torrenciales	243
9. GEOTÉCNIA	248
9.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	248
9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO	255
9.2.1. Ensayos de clasificación	255
9.2.2. Ensayos de resistencia	259
9.2.2.1. Ensayos Triaxiales consolidados no drenados (CU)	259
9.2.2.2. Ensayos de Corte Directo	260
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	263
10.1 CONCLUSIONES	263
10.2 RECOMENDACIONES	265
11. BIBLIOGRAFÍA	268
Anexo 3.1: Topografía – Equipos utilizados	275

Anexo 3.2: Topografía – Localización puntos GPD	278
Anexo 3.3: Topografía – Localización placas	283
Anexo 4.1: Sistemas de Información Geográfico – Propuesta de estructuración	287
Anexo 4.2: Sistemas de Información Geográfica - Propuesta de Adiciones a la Estructuración propuesta por CVC	291
Anexo 7.1: Hidrología – Isoyetas mensuales multianuales	298
Anexo 9.1: Geotecnia – Registro de exploración del subsuelo (Apiques)	299
Anexo 9.2: Geotecnia - Ensayos de laboratorio	307

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1. Inventario histórico de eventos municipio de Dagua.	26
Tabla 3.1. Errores asociados a los puntos de amarre de topo-batimetría.	39
Tabla 3.2. Cuerpos de agua con secciones transversales	41
Tabla 3.3. Coordenadas geográficas WGS 1984 y desviación típica de los puntos tomados en Dagua.	45
Tabla 3.4. Errores asociados a los puntos de fotocontrol.	46
Tabla 4.1. Información Cartográfica del PBOT.	49
Tabla 4.2. Información Cartográfica Básica CVC de la Cuenca Dagua.	51
Tabla 4.3. Información Cartográfica Temática CVC de la Cuenca Dagua.	52
Tabla 4.4. Información Cartográfica Básica de Planchas 1:5000.	54
Tabla 4.5. Elementos restituidos.	58
Tabla 5.1. Sitios con remoción en masa y erosión.	89
Tabla 7.1. Clasificación de los suelos de la zona urbana y expansión del municipio de Dagua	135
Tabla 7.2. Categorías de Uso del suelo	136
Tabla 7.3. Clasificación de la velocidad de infiltración (IGAC, 1990)	152
Tabla 7.4. Perfil del suelo Barrio Chapinero – Municipio Dagua	156
Tabla 7.5. Resumen pruebas de infiltración realizadas en el municipio de Dagua	157
Tabla 7.6. Valores de la curva de variación estacional para la estación Dagua (1982-2007).	163
Tabla 7.7. Resultados del análisis de precipitaciones máximas estación Dagua	164
Tabla 7.8. Resultados de los aforos realizados en la salida técnica al municipio de Dagua	170
Tabla 8.1. Resumen de los cauces, ubicación de las fronteras, longitudes totales, programa de mediciones topobatómetricas (cauces y secciones transversales a levantar) y programas de aforos líquidos a realizar en el municipio de Dagua.	185
Tabla 8.3. Valores de x para la expresión de Kallerhals y Bray para convertir curvas granulométricas obtenidas por diferentes métodos de muestreo.	193
Tabla 8.4. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua utilizando el método de muestreo malla-número.	194
Tabla 8.5. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua utilizando el método de muestreo área-frecuencia.	195
Tabla 8.6. Diámetros característicos del material del lecho de la quebrada El Cogollo utilizando el método de muestreo malla-número.	196
Tabla 8.7. Precipitación media de la zona alta y zona media del río Dagua.	200
Tabla 8.8. Caudales medios producidos por las diferentes áreas de drenaje.	202
Tabla 8.9. Caudales medios mensuales multianuales del río Dagua – estación Bendiciones.	205
Tabla 8.10. Caudales característicos del río Dagua en la estación Bendiciones (1982 - 2006).	207
Tabla 8.11. Propiedades hidráulicas y geométricas en el río Dagua - estación Bendiciones	211
Tabla 8.12. Características geométricas e hidráulicas de la sección transversal del río Dagua y la quebrada El Cogollo	212
Tabla 8.13. Rugosidad de Manning, coeficiente de Chezy y coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach para la sección transversal de aforo en el río Dagua y la quebrada El Cogollo	215
Tabla 8.14. Valores de los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 .	224
Tabla 8.15. Niveles de Riesgos definidos en la Metodología del PATRICOVA.	228
Tabla 8.16. Nivel del riesgo de acuerdo con el Procedimiento Simplificado del Plan Medioambiental del río Ebro y tramo Bajo del río Cinca.	229
Tabla 8.17. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).	232
Tabla 8.18. Categorización de la inundación según el período de Retorno (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).	233
Tabla 8.20. Nivel Discreto de Amenaza (PREVENE, 2001).	237
Tabla 8.21. Definición de nivel de amenaza	237
Tabla 8.22. Intensidad de la inundación	238
Tabla 8.23. Intensidad de Flujo de lodos y detritos	238
Tabla 8.25. Clasificación de magnitud del evento de acuerdo al volumen de detritos transportado.	239
Tabla 8.26. Nivel de amenaza	240
Tabla 8.27. Nivel de frecuencia	240

Tabla 8.28. Nivel de intensidad o magnitud	241
Tabla 8.29. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud	242
Tabla 8.30. Niveles de amenaza	243
Tabla 8.31. Nivel intensidad o magnitud	244
Tabla 8.32. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud para flujos torrenciales	245
Tabla 8.33. Niveles de amenaza	246
Tabla 9.1. Características de los apiques y sondeos mecánicos realizados	250
Tabla 9.2 Resultados de ensayos de Clasificación material aflorante	258
Tabla 9.3. Resultados de ensayos triaxiales.	260
Tabla 2.3. Resultados de ensayos de corte directo	261

CONTENIDO DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i> Ubicación geográfica del Municipio de Dagua.	19
<i>Figura 1.2</i> Ubicaciones de la zona de estudio y delimitación del área urbana y de expansión.	20
<i>Figura 1.3</i> Perímetros de la zona urbana y de expansión del municipio de Dagua, definidos en conjunto con la Oficina de Planeación Municipal.	28
<i>Figura 2.1</i> Deslizamientos Sector El Agrado por creciente del Río Dagua, POT – Dagua.	32
<i>Figura 2.2</i> Deslizamiento Barrio La Esneda. POT – Dagua.	33
<i>Figura 2.3</i> Carcavamiento ubicado en el Barrio Gran Colombia, POT – Dagua.	34
<i>Figura 3.1</i> Materialización de puntos con placa en concreto.	37
<i>Figura 3.2</i> Diseño geométrico de la red.	37
<i>Figura 3.1</i> Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de la red.	37
<i>Figura 3.2</i> Materialización de puntos con placa en concreto.	38
<i>Figura 3.3</i> Construcción de secciones batimétricas.	40
<i>Figura 3.4</i> Ejemplo de poligonal geoméricamente cerrada en proyectos lineales.	40
<i>Figura 3.5</i> Foto mosaico con todos los puntos de control para el municipio de Dagua.	43
<i>Figura 3.6</i> Ubicación del punto de control D5, en la esquina de una cancha de baloncesto en el municipio de Dagua.	44
<i>Figura 3.7</i> Descripción de armada para el cálculo de la elevación del punto de control D5.	44
<i>Este esquema es importante porque la altura del punto de control se debe calcular en el sitio visible de la imagen, si es la esquina de un techo se debe tomar la altura del mismo.</i>	44
<i>Figura 3.8</i> Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de los puntos de fotocontrol.	45
<i>Figura 4.2</i> Cubrimiento de fotografías aéreas.	56
<i>Figura 4.1</i> Flujo de procesos y productos cartográficos del proyecto.	57
<i>Figura 5.1</i> Entorno geológico del municipio de Dagua.	70
<i>Figura 5.2</i> DTM con las principales geoformas dentro del área de estudio.	82
<i>Figura 6.1</i> Dispositivo de prospección sísmica y disposición de los geófonos sobre el terreno.	104
<i>Figura 6.3</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-1.	106
<i>Figura 6.4</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-2.	109
<i>Figura 6.5</i> Dromocrónica Línea de Refracción sísmica L-3.	111
<i>Figura 6.6</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-4.	112
<i>Figura 6.7</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-5.	114
<i>Figura 6.8</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-6.	116
<i>Figura 6.9</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-7.	118
<i>Figura 6.10</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-8.	120
<i>Figura 6.11</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-9.	122
<i>Figura 6.12</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-10.	124
<i>Figura 6.13</i> Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-11.	126
<i>Figura 7.1</i> Mapa de Uso de Suelo Urbano de Dagua.	139
<i>Figura 7.2</i> Ubicación puntos de infiltración.	154
<i>Figura 7.3</i> Infiltración acumulada Barrio Chapinero.	155
<i>Figura 7.4</i> Curva de velocidad de infiltración Barrio Chapinero.	156
<i>Figura 7.5</i> Distribución anual de la precipitación – Municipio de Dagua.	158

Figura 7.6 Distribución mensual de la precipitación - Municipio de Dagua.	159
Figura 7.7 Distribución anual de la precipitación en la zona urbana y de expansión el municipio de Dagua.	160
Figura 7.8 Distribución mensual de la precipitación en la zona urbana y de expansión de Dagua.	161
Figura 7.9 Distribución temporal de las precipitaciones en la estación Dagua (1982 – 2007).	162
Figura 7.10 Curvas de variación estacional estación Dagua (1982 – 2007).	163
Figura 7.11 Curva IFD con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años; Estación Julio Fernández, Restrepo.	166
Figura 7.12 Descripción general de la red hídrica principal de la cuenca Dagua.	168
Figura 7.13 Ubicación de los puntos de aforo y de la mira.	170
Figura 8.1 Mapa de amenazas por eventos naturales en la cabecera municipal del municipio de Dagua.	174
Figura 8.2 Esquema de las principales corrientes tributarias del río Dagua en la zona de estudio del municipio de Dagua.	177
Figura 8.3 Perímetro de la zona de estudio del municipio de Dagua.	178
Figura 8.4 Localización de las secciones transversales a levantar en la zona de estudio del municipio de Dagua.	186
Figura 8.5 Identificación de partículas para análisis granulométrico mediante el método de malla-número (a) Muestra fotográfica; (b) Partículas delimitadas en las intersecciones de la malla.	190
Figura 8.6 Identificación de partículas para análisis granulométricos por el método área-frecuencia (a) Muestra fotográfica; (b) Rangos de partículas de diferentes diámetros.	191
Figura 8.7 Curvas granulométricas del material superficial del lecho del río Dagua en diferentes sitios del cauce (método malla-número).	195
Figura 8.8 Curvas granulométricas del material superficial del lecho del río Dagua en diferentes sitios del cauce (método área-frecuencia).	196
Figura 8.9 Curva granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada El Cogollo.	197
Figura 8.10 Localización general de la cuenca del río Dagua.	198
Figura 8.11 Registro de precipitación media de la zona alta y media del río Dagua.	201
Figura 8.12 Comportamiento estacional de los caudales medios mensuales multianuales de las áreas de drenaje de la cuenca del río Dagua.	203
Figura 8.13 Ubicación de las estaciones pluviométricas y limnigráficas en el municipio de Dagua.	204
Figura 8.14 Caudales medios mensuales multianuales en la estación limnigráfica Bendiciones.	205
Figura 8.15 Caudales máximos instantáneos anuales del río Dagua en la estación Bendiciones.	206
Figura 8.16 Análisis de eventos extremos.	208
Figura 8.17 Curvas de variación estacional.	209
Figura 8.18 Curva de duración de caudales diarios.	210
Figura 8.19 Relación caudal vs. parámetros hidráulicos y geométricos en el río Dagua.	211
Figura 8.20 Sección transversal del río Dagua en el puente de la Harinera del Valle.	212
Figura 8.21 Sección transversal de la quebrada El Cogollo en el Balneario El Peñón (frontera superior).	213
Figura 8.22 Clases de flujo.	217
Figura 8.23 Clasificación de flujos según Meunier (1991).	218
Figura 8.24 Perfil de un frente de detritos (extraído de Schatzman, 2005).	219
Figura 8.25 Morfología de la huella de los flujos detríticos (extraído de Véosla, 2005).	219
Figura 8.26 Perfil de un frente de detritos.	219
Figura 8.27 Relación esfuerzo – deformación para distintas clases de fluidos.	220
Figura 8.28 Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua.	227
Figura 8.29 Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua.	227
Figura 8.30 Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).	232
Figura 8.31 Metodología para la estructuración de un escenario de riesgo.	236
Figura 8.32 Nivel de intensidad o magnitud.	242
Figura 8.33 Nivel de intensidad de las inundaciones por flujos torrenciales según grupo Hidromar-Univalle.	244
Figura 9.1 Ubicación de apiques, sondeos mecánicos y muestreos sobre el lecho de los principales cauces.	249
Figura 9.2 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-1.	252
Figura 9.3 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-2.	253

Figura 9.4 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-3.	254
Figura 9.5 Curvas Granulométricas y características de muestreo No.4. Quebrada El Cogollo.	256
Figura 9.6 Curva granulométrica de gradación por hidrómetro y características de muestreo No.3. Río Dagua.	257
Figura 9.7 Carta de plasticidad de Casagrande.	258
Figura 9.8 Curva Esfuerzo-Deformación S-2_3.00 - 4.50m.	259
Figura 9.9 Curva Esfuerzo-Deformación S-3_1.50 – 3.00m.	259
Figura 9.10 Envoltente de falla S-2_3.00-4.50m.	259
Figura 9.11 Envoltente de falla S-2_3.00 - 4.50m.	259
Figura 9.12 Envoltente de falla Mohr – Coulomb S-1_11.00-12.00m.	260
Figura 9.13 Curva Esfuerzo-Deformación en condición pico S-1_11.00-12.00m.	261

CONTENIDO DE FOTOS

Foto 1.1 Vista del Municipio de Dagua, tomada del PLEC del municipio de Dagua.	20
Foto 2.1 Deslizamiento Km. 51. Noviembre 28 de 2008. CLOPAD.	31
Foto 5.1 Afloramiento de diabasa en la vía al Piñal, al norte de Dagua.	73
Foto 5.2 Fragmentos de limolita silíceas laminada con meteorización incipiente.	75
Foto 5.3 Lineamiento topográfico de la Falla Dagua-Calima.	78
Foto 5.4 Escarpe, alineamiento y facetas triangulares de la Falla Dagua-Calima.	78
Foto 5.5. Falla El Piñal.	80
Foto 5.6 Ejemplo de “meteorización bolar” o “esferoidal” de basalto en los suelos residuales al Este de Dagua.	86
Foto 5.7 Suelos coluviales de la Formación Volcánica.	87
Foto 5.8 Topografía escarpada al W. de Dagua. Cuenca hidrográfica de la quebrada El Cogollo y los remanentes de la peniplanicie al fondo arriba.	91
Foto 5.9 Deslizamiento traslacional muy antiguo, barrio Gran Colombia.	92
Foto 5.10 Nichos profundos de erosión lineal, sobre la faceta triangular de la margen izquierda de la Falla de Dagua-Calima.	94
Foto 5.11 Procesos erosivos internos dentro de una cárcava, al SE del barrio Bellavista.	95
Foto 5.12 Conjunto de cárcavas con numerosos nichos y surcos, al NW del barrio El Porvenir.	96
Foto 5.13 Vista cercana de la fotografía anterior.	96
Foto 6.1 Sismógrafo modelo Ras-24, para refracción sísmica.	102
Foto 6.2 Geófonos para recepción de ondas.	103
Foto 6.3 Cable de emisión.	103
Foto 6.4 Platina y mazo utilizado como fuente de energía.	104
Foto 6.5 Localización Línea de Refracción Sísmica L-1, en el área de expansión nororiental.	105
Foto 6.6 Localización Línea de Refracción Sísmica L-2, al norte de la línea de refracción sísmica L-1.	108
Foto 6.7 Localización Línea Sísmica L-3, al oriente del casco urbano.	110
Foto 6.8 Localización Línea de Refracción Sísmica L-4, en el área de expansión oriental de la cabecera municipal.	112
Foto 6.9 Localización línea de Refracción Sísmica L-5, en el área de expansión oriental de la cabecera municipal de Dagua.	113
Foto 6.10 Localización Línea Sísmica L-6, en el área de expansión oriental.	115
Foto 6.11. Localización Línea de Refracción Sísmica L-7, área de expansión norte.	117
Foto 6.12 Localización Línea de Refracción Sísmica L-8, en el área de expansión norte de la cabecera municipal.	119
Foto 6.13 Localización Línea de Refracción Sísmica L-9, en el área de expansión sur de la cabecera municipal de Dagua.	121
Foto 6.14 Localización Línea de Refracción Sísmica L-10, al norte de Fundevir.	123
Foto 6.15 Localización Línea de Refracción Sísmica L-11, en el área de expansión sur de la cabecera municipal.	125
Foto 7.2 Reunión con personal de planeación municipal de Dagua.	129
Foto 7.2. Desembocadura de la quebrada el Cogollo al río Dagua; Tomada desde el puente Chapinero.	130

<i>Foto 7.3 Invasión de viviendas en el lecho del río Dagua; Tomada desde el puente Chapinero.</i>	130
<i>Foto 7.4 Quebrada San Rafael.</i>	131
<i>Foto 7.5 Sector de Tocatá parte alta de la cuenca Dagua.</i>	131
<i>Foto 7.6 Cultivos de maíz y lulo vereda el Jordán.</i>	132
<i>Foto 7.7 Cultivos de piña vereda el Machado.</i>	132
<i>Foto 7.8 Problemas de erosión vereda el Machado.</i>	133
<i>Foto 7.9 Zona de invasión cerca al Molino de la harinera de Dagua.</i>	135
<i>Foto 7.10 Vista al oriente.</i>	137
<i>Foto 7.11 Vista al nor-oriente.</i>	137
<i>Foto 7.12 y 7.13 Quebrada El Cogollo.</i>	138
<i>Foto 7.14 Vista al occidente desde el barrio Buenos Aires.</i>	138
<i>Foto 7.15 Quebrada Las Ángeles.</i>	138
<i>Foto 7.23 Prueba de infiltración; Barrio Chapinero.</i>	152
<i>Foto 7.24 Toma del perfil del suelo; Barrio Chapinero.</i>	153
<i>Foto 7.25 Zona alta del río Dagua Vereda Jordancito.</i>	167
<i>Foto 7.26 Aforo del río Dagua en el puente de la Harinera de Dagua.</i>	169
<i>Foto 7.27 Aforo de la Quebrada el Cogollo en el Balneario El Peñón.</i>	169
<i>Foto 8.1 Río Dagua en la frontera superior.</i>	180
<i>Foto 8.2 Desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua, sobre la margen izquierda.</i>	180
<i>Foto 8.3 Frontera inferior del río Dagua.</i>	181
<i>Foto 8.4 Frontera aguas arriba de la quebrada El Cogollo.</i>	181
<i>Foto 8.5 Quebrada El Cogollo antes de la desembocadura en el río Dagua.</i>	182
<i>Foto 8.6. Desembocadura de la quebrada San Rafael en el río Dagua.</i>	182
<i>Foto 8.7 Quebrada San Rafael aguas arriba de su desembocadura en el río Dagua.</i>	183
<i>Foto 8.8 Quebrada San Rafael en el barrio El Porvenir – frontera superior.</i>	183
<i>Foto 8.9 Quebrada Cola de Gurre 1 en el Puente El Molino o Ferrocarril, desembocando al río Dagua – Frontera aguas abajo.</i>	184
<i>Foto 8.10 Quebrada Cola de Gurre 1 fluyendo por una tubería de aguas residuales.</i>	184
<i>Foto 9.1 Muestra (10.50-11.00) en S-1, intercalación de basalto.</i>	251
<i>Foto 9.2 Muestra típica de arcillas en S-2.</i>	251

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todas las personas e instituciones consultadas para la recolección de todo tipo de información relacionada con el proyecto, como lo fueron: CVC y sus diferentes unidades involucradas. Igualmente a otras instituciones que permanentemente nos suministraron información relacionada con el proyecto como fueron: Ingeominas, Igac, la Alcaldía del municipio de Buga y su oficina de Planeación.

También a las diferentes dependencias de la Universidad del Valle que prestaron su valioso aporte, concurso y colaboración en el desarrollo del proyecto como son La Facultad de Ingenierías, la Escuela de ingeniería Civil y Geomática, el Área de Geomática, el EIDENAR, la Oficina de Bienes y Servicios y las demás unidades encargadas de los procesos administrativos y financieros del proyecto.

Igualmente a todas las personas que de una u otra manera aportaron su granito de arena o que expresaron opiniones constructivas y que estuvieron atentas al desarrollo de las diferentes actividades e hicieron posible que este proyecto se convirtiera en una exitosa realidad.

INTRODUCCIÓN

El presente informe recopila e integra los resultados de las labores realizadas por cada uno de los grupos de trabajo en cuanto a la Topografía, Cartografía, Sistema de Información Geográfica, Historicidad, Geología, Geofísica, Hidrología e Hidráulica, en el Municipio de DAGUA y en desarrollo del proyecto: **“Zonificación de Amenazas y escenarios de riesgos por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de El Cairo, Buga, Riofrío, Dagua, y La Unión”**, según contrato No. 188 CVC-UNIVALLE.

Estas actividades estuvieron a cargo del Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente – OSSO que es una Unidad Académica de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, de la Facultad de Ingeniería, que conformó, integró y coordinó un grupo multidisciplinario de especialistas encargados del manejo específico y particular de cada uno de los temas en que se subdividió el proyecto.

En el Instituto Agustín Codazzi se adquirieron fotografías aéreas de la zona urbana y de expansión del año 2006, a escala 15.250, con las cuales se hizo la restitución fotogramétrica, realizándose en campo el respectivo fotocontrol. Las batimetrías se realizaron en el Río Dagua y en la quebrada el Cogollo.

Se realizó La recopilación de toda la información cartográfica disponible y la estructuración de esa información en formato SIG y la migración a un mismo sistema de referencia MAGNA. A partir de esta información se construyeron los mapas temáticos para el trabajo de campo de los distintos grupos de trabajo.

PERSONAL PARTICIPANTE

PERSONAL PARTICIPANTE

Para la ejecución del proyecto la Universidad del Valle, seleccionó un grupo altamente especializado de sus profesores de planta que fue completado con profesionales contratistas y además conto con la vinculación de estudiantes de los últimos años de diferentes programas de estudio afines con las temáticas del proyecto (ingeniería civil, ingeniería topográfica, ingeniería agrícola, geografía e historia) con quienes se conformaron los distintos grupos de trabajo que tuvieron a su cargo atender todos los aspectos del proyecto, así:

N o	NOMBRE	PROFESION	CARGO
DIRECCION Y ADMINISTRACION			
1	ELKIN SALCEDO HURTADO	Ph.D. en Física-Matemáticas	Director
2	JAIME ROJAS	Ing. Civil	Coordinador Técnico y Administrativo
3	KARINA CASTILLO	Ing. Agrícola	Asistente Administrativa
4	JENNIFER QUIÑONES	Estudiante Ing. Topográfica	Auxiliar Administrativa
GRUPO DE GEOLOGIA Y GEOFISICA			
6	GABRIEL PARIS	Geólogo	Asesor en Geología
7	WILLIAM VARGAS	Geólogo	Coordinador
8	DANIEL RAMIREZ	Geólogo	Geólogo
9	MAGNOLIA APONTE	Geógrafa	Asistente de Investigación
GRUPO DE GEOTECNIA			
10	JESUS GARCIA	Ing Civil	Coordinador - Geotecnista
11	JACOBO OJEDA	Ing. Civil	Director - Coordinador
12	LORENA NATHALY BELTRAN	Ing Civil	Auxiliar Técnico
13	JAIME CASAS	Ing. Civil	Especialista
14	OSCAR GALVIS	Ing. Civil	Ingeniero Auxiliar
15	FABIAN ULLOA	Ing. Civil	Geotecnista
16	EDGAR ROFRIGUEZ	Geólogo	Especialista SIG
17	JHON ARTEAGA	Estudiante	Auxiliar de Ingeniería
18	NATALIA PEÑA	Estudiante de Geografia	Monitora
GRUPO DE SIG			
19	EDDA CIFUENTES	Ing. Topográfica	Coordinadora
20	JIBER QUINTERO SALAZAR	Ing. Topográfico	Auxiliar en SIG y Topografia
21	VIVIANA BARRERO VARELA	Ing. Topográfica	Auxiliar en SIG y Topografia
GRUPO TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA			
22	JHON JAIRO BARONA	Ing. Topográfico	Coordinador
23	HECTOR FABIO HERNANDEZ	Tec. Topográfico	Operador de Topografia 1
24	JOSE RICARDO FRANCO BORJA	Aux. en Topografía	Auxiliar en Topografia 1
25	JULIAN ANDRES ESCOBAR	Ing. Topográfico	Operador de Topografia 2
26	JOSE JULIAN CASTRILLON	Aux. en Topografía	Auxiliar en Topografia 2
GRUPO DE HIDROLOGÍA			
27	HENRY JIMENEZ ESCOBAR	Ing. Agrícola	Coordinador
28	FABIAN ULISES BARROSO	Ing. Agrícola	Ingeniero
29	JUAN PABLO URREGO	Ing. Agrícola	Ingeniero
30	VICTORIA SOLARTE	Ing Agrícola	Ingeniera
31	JHONY HUMBERTO GARCES	Estudiante de Geografia	Monitor
32	TULIO ENRIQUE BONILLA	Estudiante de Tec. Manejo Suelos y Aguas	Monitor

GRUPO DE HIDRAULICA			
33	CARLOS RAMIREZ	Ing. Civil	Coordinador
34	CARLOS OMAR AYALA COLLAZOS	Ing. Civil	Ingeniero
35	MARIA PAULA LORZA VILLEGAS	Ing. Civil	Ingeniero
36	FREDY RUANO	Estudiante Ing Civil	Monitor
37	EMILIO CORRALES	Estudiante Ing Civil	Monitor
GRUPO DE HISTORICIDAD			
38	ELKIN SALCEDO HURTADO	Ph. D. en Física-Matemáticas	Coordinador Historicidad
39	LUZ ANGELA MAZUERA	Licenciada en Historia	Licenciada en Historia
40	NATHALY DE LOS ANGELES MAZO	Estudiante Geografía	Monitora

La supervisión del proyecto estuvo a cargo de la firma de ingeniería HIDRO-OCCIDENTE S.A. quienes atendieron todos los aspectos de control, seguimiento y calidad del proyecto, así como la revisión y aprobación de los informes a través de la participación directa de los ingenieros Carlos Enrique Madriñán, Hernán Lara y Giradú Cifuentes y del geólogo Saúl Almeida.

El acompañamiento del proyecto por parte de la CVC estuvo en todo momento a cargo de los geólogos Harbey Millán y Olga Patricia Villa, adscritos a la Dirección Técnica Ambiental

1. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO

1. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO

1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Dagua se encuentra localizado en el piedemonte de la Cordillera Occidental a 3°38'45" de Latitud Norte y 76°41'30" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Limita al norte con el municipio de Calima, al oriente con Restrepo, La Cumbre y Santiago de Cali, al sur con Santiago de Cali, al occidente con Buenaventura (Figura 1.1 y 1.2). A la fecha posee una población aproximada de 40.510 en un área de 866 Km, repartidos en población urbana 9.700 habitantes y población rural 30.810 habitantes. Se encuentra a una altura de 828 msnm, con una temperatura promedio de 24°C.

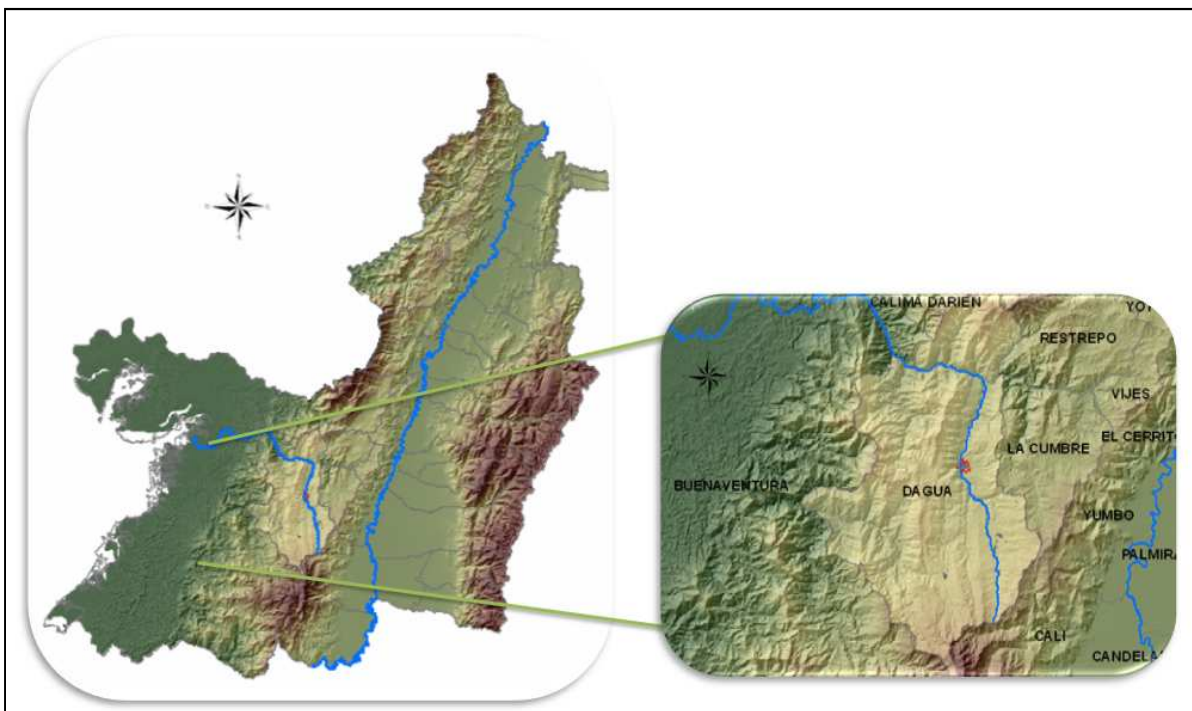


Figura 1.1 Ubicación geográfica del Municipio de Dagua.

El Municipio de Dagua está enclavado sobre una hondonada del costado izquierdo de la Cordillera Occidental al sur occidente de la República de Colombia, en una amplia zona del occidente del Departamento del Valle del Cauca, a orillas del río Dagua, dentro del área del Chocó Biográfico en el Sector del Litoral Pacífico de Colombia, cubriendo gran parte de la Cuenca hidrográfica del río Dagua (Foto 1.1).



Foto 1.1 Vista del Municipio de Dagua, tomada del PLEC del municipio de Dagua.

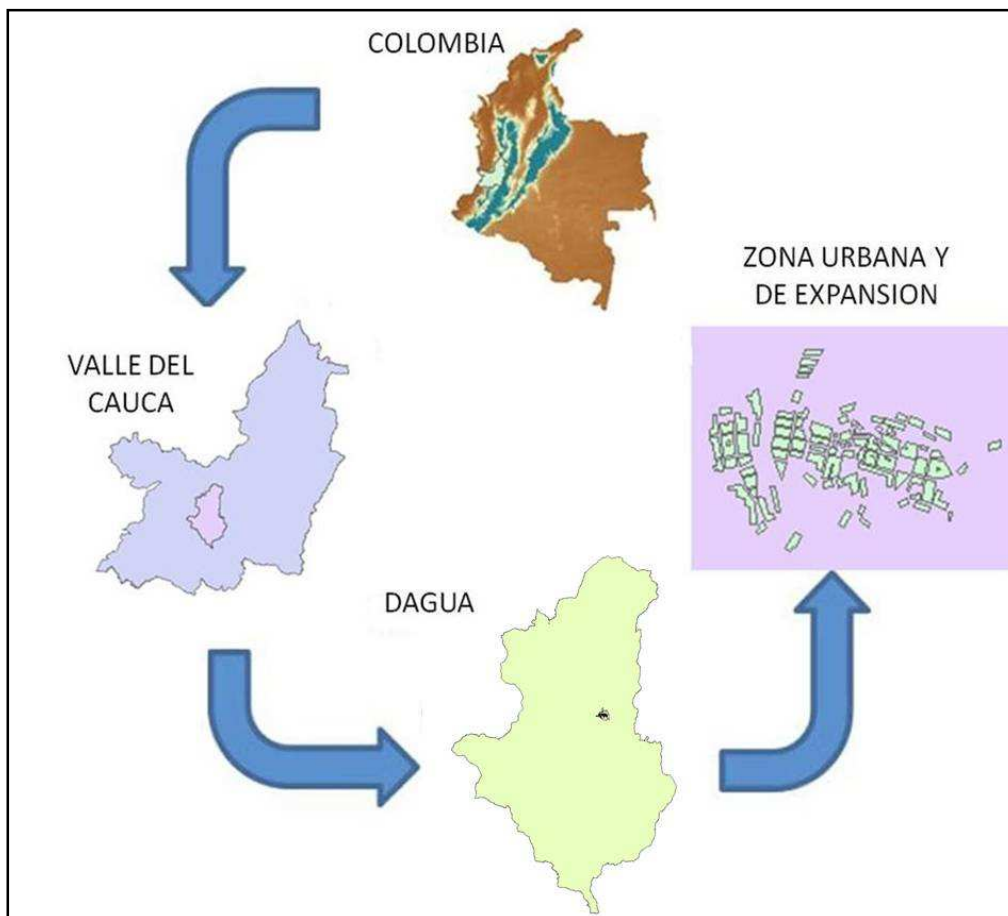


Figura 1.2 Ubicaciones de la zona de estudio y delimitación del área urbana y de expansión.

La cabecera municipal fue fundada en el año 1909 por la Compañía constructora del Ferrocarril del Pacifico en una hondonada de la Cordillera Occidental de los Andes, a orillas del Río Dagua. Por aquella época y años inmediatamente posteriores, esta población, y más propiamente desde el 20 de julio del citado año, comenzó su impulso gracias a la instalación de los talleres del Ferrocarril para la reparación y construcción de toda clase de herramientas. Conviene anotar que los terrenos en donde se fundó Dagua fueron vendidos por Federico Valdés al Ferrocarril y que luego fueron donados para la construcción del caserío.

Dagua es el tercer municipio más grande del Valle del Cauca, después de Buenaventura y Calima. El territorio es montañoso y su relieve corresponde a la Cordillera Occidental; entre sus accidentes orográficos cuenta con los Farallones de Cali, Las Cuchillas de Las Brisas y Palo Alto, Los altos de Doña Mariana y Panecillo y Los cerros de Clorinda, Cubilete, La Virgen y Palo Alto. Es un ecosistema muy seco, con bajas precipitaciones y largos periodos de verano donde crece el bosque seco caracterizado por cactus y matorrales espinosos; las plantas y los animales que allí habitan se han adaptado para vivir en zonas áridas. Se han registrado 106 especies de aves.

Pertenece al Enclave Subxerofítico del Dagua con un área aproximada de 2500 ha entre los municipios de Dagua, Restrepo y La Cumbre, Dagua posee aproximadamente el 70% del enclave, del cual los principales relictos se encuentran ubicados entre los corregimientos de Lobo Guerrero y Atuncela, posee un suelo compacto con afloramientos rocosos en algunos sectores, la capa orgánica es casi inexistente, presenta cañadas profundas y desfiladeros. El grupo de plantas más importante son las cactáceas. En la actualidad se presentan en la región nueve especies de cactus, dos son endémicas: *Melocactus loboguerrero*, que es la única especie de cactus cefaloide y la *Opuntia bella*.

El sector agrícola es el eje más importante de la economía Dagueña y se sustenta en cultivos de piña, caña panelera, café, frutas, maíz, plátano, cacao y fríjol. También la ganadería, la explotación forestal, la avicultura, la producción de leche y sus derivados. Es importante resaltar que la piña se ha convertido en un producto de gran importancia económica. Dagua cuenta con; excelentes condiciones debido a que sus suelos y su clima son los más adecuados para realizar esta actividad agrícola, convirtiéndose en uno de los mayores productores de piña en el país, obteniendo beneficios no sólo económicos también de reconocimiento por la calidad del producto. Esto ha hecho que los campesinos decidan dejar a un lado la siembra de otros productos importantes y muy representativos como el café para dedicarse a la producción de la piña.

La vía Cali – Buenaventura genera beneficios para Dagua por ser paso obligado de los viajeros generando importantes ingresos económicos para las personas que laboran en restaurantes, puestos de venta de comidas rápidas y talleres de automóviles, que están ubicados a la orilla de la carretera.

El número de habitantes en el casco urbano, es de 11.437 habitantes según proyección del DANE distribuidos en los siguientes barrios: La Estación, Chapinero, la Esneda, La Gran Colombia, Caloto, La Carbonera, Las Vegas, La Paz, El Matadero, El Llanito, Los Álamos,

Fátima I, Fátima II, Calle Muerta, Chicharronal, Bomberos, Las Camias, Ricaurte, Remedios, El Porvenir, Provivienda, Bellavista, Campo Bello.

El número de habitantes en su parte rural es de 27.106 habitantes según proyecciones del DANE, distribuidos en los siguientes corregimientos y veredas:

- | | | |
|-------------------|--------------------|--------------|
| 1. Atuncela | 14. Jiguales | 27. Zelandia |
| 2. Borrero Ayerbe | 15. Juntas | |
| 3. Cisneros | 16. Km.-18 | |
| 4. Cristales | 17. La Cascada | |
| 5. El Carmen | 18. La Elsa | |
| 6. El Danubio | 19. La Providencia | |
| 7. El Limonar | 20. Loboguerrero | |
| 8. El Naranja | 21. Los Alpes | |
| 9. El Palmar | 22. San Bernardo | |
| 10. El Piñal | 23. San Vicente | |
| 11. El Queremal | 24. Santa María | |
| 12. El Rucio | 25. Villahermosa | |
| 13. El Salado | 26. Zabaletas | |

Dagua es uno de los Municipios más ricos en ríos y quebradas de Colombia; lo riegan las cuencas hidrográficas de los ríos Dagua y Anchicayá, que tienen alrededor de 200 fuentes hídricas las cuales les vierten su caudal para desembocar en la Bahía de Buenaventura sobre el mar Pacífico.

El río Dagua, tiene una extensión de 120 kilómetros; como consecuencia de la desprotección total de los costados, el nacimiento. Por la tala indiscriminada a la cual se ha especialmente en su nacimiento en los Farallones en San Bernardo, El Carmen, etc., convirtiéndolo en la fuente más contaminante de la bahía por la presencia de la erosión en varias zonas de cuenca causando un daño fatal a sus aguas. De esta forma el río Dagua aporta 250.000 toneladas de sedimento al Océano Pacífico.

Las zonas, la mayoría por fuera del área de estudio, con procesos críticos de erosión severa son:

- Sector de San Bernardo – El Carmen.- La parte más crítica se encuentra localizada al norte de la Vereda Jordancito, en una franja de más de 5 Km. De ancho que llega hasta las márgenes del Río Dagua. Otra con el mismo grado de erosión, se sitúa sobre la margen contraria del río en éste sector.
- Sectores aledaños a la cabecera municipal.- En los alrededores se presentan cárcavamientos profundos llegando en pequeños sectores a la formación de tierras malas.
- Sector de la parte media de la Cuenca del Río Dagua.- Las áreas localizadas en la parte media de la Cuenca del Río Dagua, a partir de la confluencia de los ríos Dagua y Jordán, son las de mayor problema por su extensión con grados de erosión severos a muy severos.

- La subcuenca del Río Jordán está en transición de grado de erosión severa a muy severa.
- Sector de Juntas - Cisneros.- En la parte baja de la cuenca del Río Dagua, el Río Pepitas se constituye en el área más crítica. En ésta región se han talado desde muchos años atrás cerca de 20.000 has de bosque con consecuencias funestas para la estabilidad de los suelos.
- En el sistema de alcantarillado el problema de mayor gravedad es la Antigüedad de las redes, igual que en el sistema de acueducto presentan deterioro y por ende fugas que se traducen en el hundimiento de las vías del casco urbano. No se cuenta con un sistema de tratamiento de las Aguas residuales.

1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

Según los datos suministrados por el PLEC del Municipio de Dagua, su fecha de fundación es 1907 y la llevaron a cabo Adán Cordobés y Espiritusanto Potes, y se constituyó en Municipio desde el 16 de abril de 1918. Por otra parte en el POT se encuentra que, el 20 de julio de 1909, se inauguró la Estación y la Superintendencia del Ferrocarril, cerca donde se habían también instalado por parte de la Compañía Constructora del Ferrocarril, la tornamesa, los talleres y el comisariato del mismo. En sus cercanías fue construida la Iglesia de “La Virgen de María Auxiliadora”, “Patrona de los Ferroviarios”, y cuya celebración especial se convirtió en hito histórico, que el tiempo lo distinguió como la fecha de fundación del Municipio de Dagua.

A partir de entonces se constituyeron en la Cabecera Municipal los barrios con los nombres de donde eran oriundos la mayoría de los trabajadores del ferrocarril, Chapinero, construido por los trabajadores de Bogotá, Caldas (frente a la estación), Caloto, que eran los del Cauca. Se dice que por escritura N° 41 DE 1909, el ferrocarril cede a la sociedad “Caldas” y esta transfiere al Municipio una casona que será la Alcaldía Municipal, la cual después sería sede del Centro Cultural y actualmente el Comando de la Policía.

Los terrenos donde se asienta actualmente la cabecera Municipal de Dagua, fueron vendidos por Federico Valdés al Ferrocarril, y después donados por este para la construcción del casco urbano. Dagua llegó a ser el segundo municipio más importante del Valle, en aquella época.

1.3. AMENAZAS

1.3.1. Avenidas Torrenciales

Se han observado grandes depósitos de material fino en los alrededores de El Queremal, cuyo origen puede estar relacionado con posibles represamientos que se han colmatado rápidamente de sedimentos y que posteriormente se han disectado. Los ríos de ésta parte de la cuenca aportan caudales relativamente bajos a excepción del Río Jordán, que según lo observado presenta una alta concentración de sedimentos en suspensión, debido a que en

sus laderas se hallan sitios para la extracción de material rocoso y una alta erosión provocada por el sobrepastoreo y la deforestación de la zona.

La zona más conservada del Río Dagua se ubica en las proximidades del Km. 18, Km. 26 y 28, el Corregimiento de El Carmen y la Vereda Tocotá, donde se mantienen algunas zonas de bosques y se desarrolla la mayor actividad agrícola.

1.3.2 Erosión

Estos fenómenos de erosión concentrada en la parte alta de la Cuenca del Río Dagua están ligados a la laterización de la roca volcánica. Las lateritas son cuerpos limo-arcillosos con baja permeabilidad primaria, donde la acción principal de las aguas lluvias es la escorrentía superficial.

La causa principal de la erosión en la parte alta de la cuenca Dagua se debe al manejo inadecuado de las ganaderías, debido al manejo extensivo de la actividad en suelos inconsistentes e inestables. Más que el uso, se debe resaltar la sobrecarga de los potreros y en consecuencia un pisoteo extensivo y sobrepastoreo. También se incluyen cárcavas activas, labradas en la mayoría de los casos por escurrimientos concentrados y erosión laminar activa por el uso de la misma ganadería.

Las áreas mayormente afectadas están localizadas en Tocotá, El Carmen e inmediaciones del Río Jordán. Varias de estas áreas están reforestadas y presentan una buena recuperación. Se destacan algunas áreas con procesos críticos de erosión muy severa:

Sector de San Bernardo – El Carmen.- La parte más crítica se encuentra localizada al norte de la Vereda Jordancito, en una franja de más de 5 Km. De ancho que llega hasta los márgenes del Río Dagua. Otra con el mismo grado de erosión, se sitúa sobre la margen contraria del río en éste sector.

Sectores aledaños a la cabecera municipal. En los alrededores se presentan cárcavamientos profundos llegando en pequeños sectores a la formación de tierras malas.

En sectores aledaños a la cabecera del municipio de Dagua se han identificado numerosos deslizamientos rotacionales antiguos. Algunos no presentan reactivación, pero si procesos de cárcavamiento.

1.3.3. Evaluación de la base de datos Desinventar

Informes realizados en los últimos años por entidades especializadas en prevención y atención de desastres muestran el aumento de la frecuencia de los efectos de los desastres naturales en el mundo, con pérdidas de vidas humanas e infraestructura importantes, en su mayoría en países en vía de desarrollo, los impactos llegan a modificar los sistemas socioculturales y socioeconómicos de dichos países. Debido a esto se han venido realizando actividades dirigidas a la prevención y atención de desastres, para el riesgo y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones.

En los últimos años las instituciones regionales y municipales dedicadas a la prevención y atención de desastres han llevado un registro de los desastres; sin embargo se encontró que muchas veces los llamados “pequeños” desastres no son reportados por el respectivo municipio a los entes territoriales encargados, ya que sus efectos no son de consideración y el municipio puede afrontar la emergencia en una forma directa. Dificultades como esta, además del desorden en la información reflejado en las fichas de informes, hicieron de la recopilación una tarea ardua y lenta.

En la Tabla 1.1 se presenta el inventario histórico de eventos (movimientos de masa y avenidas torrenciales) para el municipio de Dagua, a partir de la base de datos de Desinventar recopilando la cantidad de eventos ocurridos durante los últimos años, teniendo en cuenta que los fenómenos de interés son las inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales. Cabe mencionar que se reportaron 40 eventos, de los cuales el 85% corresponden a deslizamientos y el 15% a avenidas torrenciales.

Tabla 1.1. Inventario histórico de eventos municipio de Dagua.

AVENIDAS TORRENCIALES						
Año	Mes	Día	Fuentes de Información	Lugar	Causa	Descripción Causa
1963	5	15	ING.		Otra causa	
1970	11	23	BDOSSE/EL TIEMPO-BDOD-20230	Km. 41 vía al Mar	Deslizamiento	Represamiento del río Dagua por aguas de la quebrada Perico
1971	11	24	BDOSSE	Loboguerrero	Desbordamiento	Río Dagua
1981	11	19	BDOSSE	Antigua V. a Buenaventura	Desbordamiento	Río Anchicayá
1990	5	15	BDOSSE	Vía a Tocotá	Desbordamiento	Río Jordán
1999	4	8	EL TIEMPO	Cto. El Danubio	Lluvias	
DESLIZAMIENTOS						
1939	11	3	BDOD-00162		Otra causa	
1945	11	19	ING.	LOBOGUERRERO	Otra causa	
1950	1	15	BDOD-00525		Otra causa	
1950	2	15	BDOD-00464		Lluvias	
1950	2	15	BDOD-00447		Lluvias	
1950	5	6	BDOD-00491		Desconocida	
1950	6	15	BDOD-00503		Desconocida	
1950	12	12	BDOD-00533		Otra causa	
1952	9	8	BDOD-00584		Otra causa	
1966	12	13	BDOD-20079		Otra causa	
1971	9	9	EL TIEMPO 1971-09-10 P.11A	vía Loboguerrero Buga en el Km 16	Lluvias	
1972	2	8	BDOSSE	Vía al Mar	Desconocida	
1974	1	13	EL TIEMPO 1974-01-15 P.7A	Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá		Los obreros realizaban trabajos de excavación.
1975	3	15	BDOSSE	Vía Buga - Buenaventura (km52)	Desconocida	

Continuación Tabla 1.1...

DESLIZAMIENTOS						
Año	Mes	Día	Fuentes de Información	Lugar	Causa	Descripción Causa
1979	4	28	EL TIEMPO 1979-04-30 P.8A	Carretera Buga-Loboguerrero	Lluvias	
1979	7	12	EL TIEMPO 1979-07-13 P.6D	kM.36, entre las localidades de Queremal y La Cascada	Desconocida	
1981	4	6	BDOSSO	V. a Buenaventura (km 18)	Desconocida	
1981	12	2	BDOSSO	V. a Buenaventura(km 26)	Desconocida	
1986	11	28	BDOSSO	Vía a Buenaventura - Túnel 5	Lluvias	
1988	11	11	EL TIEMPO 1988-11-11	Queremal sitio Balastera	Lluvias	
1988	12	4	BDOSSO	Vía a Buenaventura	Lluvias	
1989	8	5	BDOD--60681		Lluvias	
1989	12	4	BDOD--60705		Lluvias	
1990	4	5	REONAD		Desconocida	
1990	4	6	BDOD--60712		Desconocida	
1990	9	15	BDOSSO ;EL TIEMPO 1990-09-21	Km 43-Km 52	Lluvias	Continuas lluvias
1993	5	1	REONAD		Desconocida	
1996	5	4	DNPAD-EL TIEMPO 1996-05-05/06/07/08	Cto. El Danubio	Lluvias	
1996	11	12	EL TIEMPO 1996-11-13	Yolomba a cuatro km de Loboguerrero	Lluvias	
1999	3	2	EL TIEMPO 1999-03-03	Vía Lobo Guerrero, km 35	Lluvias	
1999	4	8	EL TIEMPO		Lluvias	
1977	11	13	EL TIEMPO 1977-11-15Pag 3A	El Refugio	Lluvias	
2005	3	21	EL TIEMPO	Kilómetros 55 y 56, en la Vereda Los Naranjos	Lluvias	Deslizamiento en la Vía Cali-Buenaventura
2006	5	15	DPAD		Desbordamiento	

Fuente: Desinventar; 2007.

1.4. DEFINICIÓN DE LÍMITES DE ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN

El perímetro urbano y el de expansión urbana del municipio es el propuesto en el documento del Plan Básico de Ordenamiento Territorial en el numeral 6.1.1, (Figura 1.3). Señalado en la cartografía del PBOT en formato DWG, el cual se encuentra en coordenadas planas que no corresponden a las coordenadas proyectadas según el origen de proyección 3W para el dátum Bogotá ni el dátum MAGNA, por lo tanto se procedió a georeferenciar éste perímetro teniendo en cuenta puntos similares en las manzanas de la cartografía del PBOT y las manzanas de la cartografía en escala 1:5.000 producto de restitución fotogramétrica que realizó la CVC en coordenadas planas proyectadas con el origen 3W con dátum Bogotá.

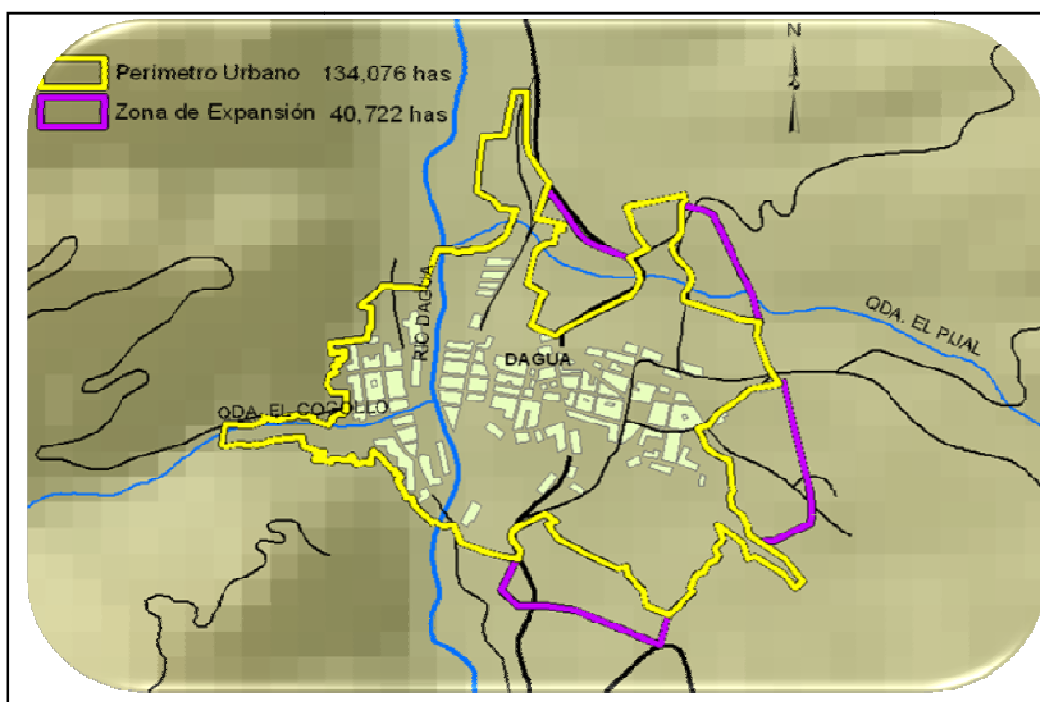


Figura 1.3 Perímetros de la zona urbana y de expansión del municipio de Dagua, definidos en conjunto con la Oficina de Planeación Municipal.

2. HISTORICIDAD

2. HISTORICIDAD

El presente informe tiene como objetivo la realización de la historicidad de los eventos de Movimientos de masa, Inundaciones, Deslizamientos, Avenidas torrenciales y Sismos ocurridos en el Municipio de Dagua en el marco del Proyecto MIDAS.

En este sentido, y siguiendo con la metodología intensivista planteada en el anterior informe, se procedió a recolectar información de varias fuentes: primero se consultaron los periódicos, para luego contrastar las noticias con documentos del CLOPAD del municipio; después se acudió a consultar la información pertinente para nuestro estudio que tiene otras entidades como el Cuerpo de Bomberos Voluntarios, y los informes de la CVC correspondientes al Municipio.

2.1. BUSQUEDA DOCUMENTAL Y NOTICIAS DE EVENTOS

A continuación se presentan los documentos encontrados durante la búsqueda para establecer la ocurrencia de eventos en el municipio de Dagua.

2.1.1. Periódicos

Las noticias sobre emergencias en el Municipio de Dagua son escasas, sin embargo se encontraron algunos reportes que fueron corroboradas con la ayuda de los demás documentos consultados, y que hacen referencia, en su mayoría, a los taponamientos de la vía Cali – Buenaventura provocados por los deslizamientos que se presentan en temporada invernal.

La búsqueda de los eventos que se presentaron en años posteriores al 2007, que es el año hasta donde llegan los registros del CLOPAD, se hicieron en el Cuerpo de Bomberos Voluntarios, donde contamos con la colaboración de su Comandante Manuel Enrique Martínez, quien nos facilitó la búsqueda en los libros donde ellos registran las emergencias que han atendido desde el año 1996, los datos anteriores a este año no se encontraron.

2.1.2. Informes del CLOPAD

La colaboración prestada por el Coordinador del CLOPAD, Alnober Hernández Sánchez, fue muy importante porque afortunadamente conservaba documentos escasos pero útiles para la investigación. Entre la información encontrada en el CLOPAD se encuentran varios oficios y decretos de urgencia manifiesta o calamidad pública, como por ejemplo:

- Decreto N° 190 del 28 de Noviembre de 2008
“Por medio del cual se declara Urgencia Manifiesta”, a causa del fuerte aguacero que se presentó en la noche del día 27 y que se prolongó hasta la madrugada del día 28 de noviembre. Este evento provocó varios deslizamientos en el casco urbano, concretamente en el barrio La Cabaña y afectados barrios corregimientos y veredas como La Garza, El

Naranjo y La Reina. También resultaron afectados los corregimientos de Juntas, El Palmar y las veredas Hormiguero y Puerto Cozzon. A la altura del sector llamado La Pezuña, se produjo taponamiento de la vía por deslizamiento (Foto 2.1).



Foto 2.1 Deslizamiento Km. 51. Noviembre 28 de 2008. CLOPAD.

- Resolución N° 10 de Febrero 18 de 2009.
Dirección de Atención y Prevención de Desastres
“Por la cual se declara situación de calamidad pública en el Valle del Cauca”, debido a la temporada invernal y a la cantidad de afectados por la lluvia y las crecientes en todo el Departamento, por los numerosos municipio afectados por daños graves en sus vías, propiedades y alcantarillados, la mayoría ubicados al norte del Valle del Cauca.

2.1.3. Informes técnicos

Los informes técnicos consultados fueron realizados por la CVC y solicitados en su mayoría por la UMC Alto Dagua, entre los que se encuentran:

- Informe Técnico N° 130-09-028-085-523-2001.
Situación actual de estabilidad – asentamiento El Agrado
Solicitado por la UMC Alto Dagua
Autores: Freide Guzmán – Olga Patricia Villa, Diciembre 14 de 2.001.

Municipio de Dagua, Km. 51 a 1.5 Km. Al norte del casco urbano se encuentra el asentamiento el Agrado, el cual se encuentra en riesgo por su inadecuada ubicación con respecto a la carretera Dagua – Loboguerrero y al cauce del río Dagua, ocupando la zona protectora de la vía y la franja forestal protectora del río, lo cual hace susceptible el

asentamiento, a procesos de remoción en masa y a la erosión lateral del cauce de este río (Figura 2.1).

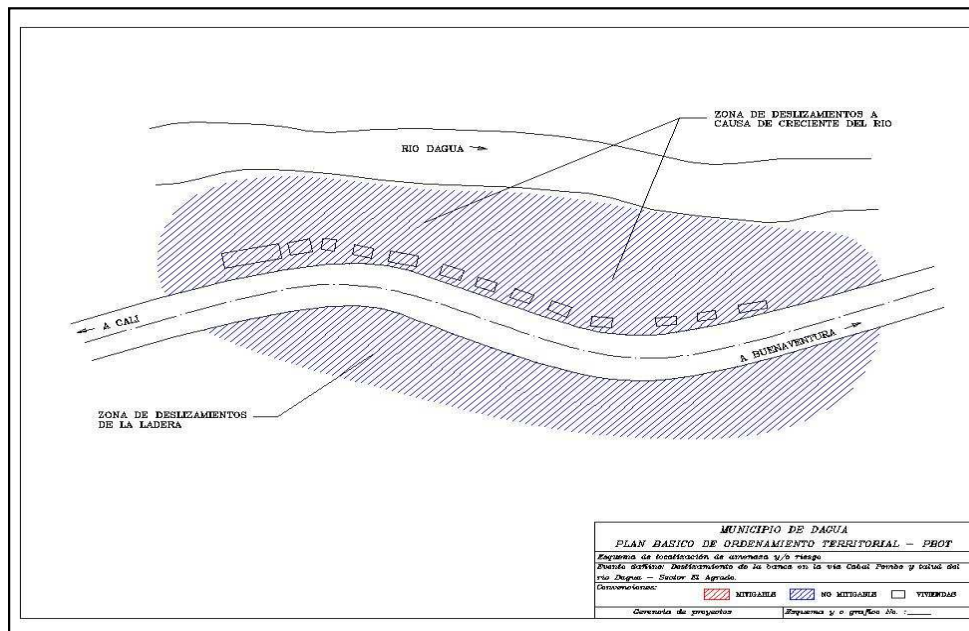


Figura 2.1 Deslizamientos Sector El Agrado por crecienta del Río Dagua, POT – Dagua.

- Informe Técnico SGA-I-020-99.

Proceso de carcavamiento afluentes quebrada El Cogollo – Barrio La Esneda.

Municipio de Dagua

Solicitado por la UMC Alto Dagua.

Autora: María Janeth Sepúlveda Ospina, Noviembre 5 de 1.999.

De los procesos de carcavamiento que se presentan en la parte superior del barrio La Esneda se tiene noticias desde 1989, luego en 1994 la CVC a través de la UMC Alto Dagua, los cataloga como de alta peligrosidad y que pueden afectar el barrio La Esneda. En 1995 se realiza una visita al sector a petición de la Administración Municipal a través de la Oficina para la Atención y Prevención de Desastres.

El barrio La Esneda se localiza en la vertiente izquierda de la quebrada El Cogollo y sobres ambos lados de la vía que comunica al casco urbano de Dagua con la localidad de La María. Este barrio además es atravesado por 2 o 3 corrientes de carácter intermitente tributarias de la quebrada El Cogollo. Algunas viviendas de este barrio ocupan la franja forestal protectora tanto de la quebrada El Cogollo como de sus tributarios (Figura 2.2).

La principal causa del carcavamiento se debe al aumento en el caudal de los drenajes intermitentes que atraviesan el barrio La Esneda a raíz del vertimiento de las aguas de escorrentía colectadas y encauzadas por la vía Dagua – La María.

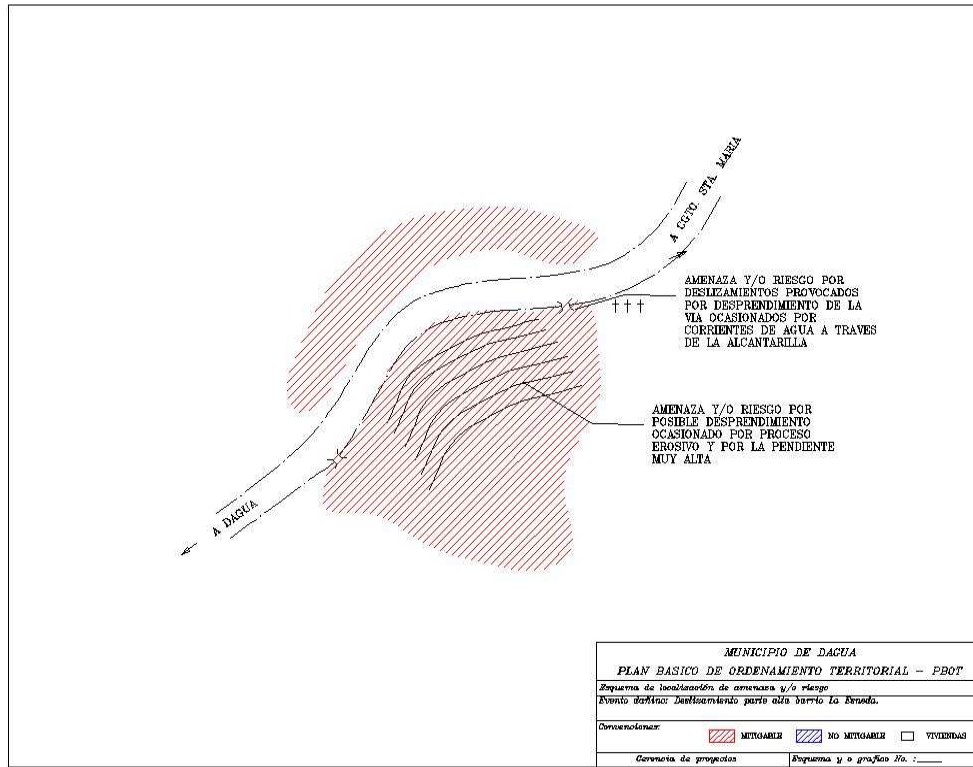


Figura 2.2 Deslizamiento Barrio La Esneda. POT – Dagua.

Otros problemas generados por el desbordamiento de los cauces de la quebrada El Cogollo y el Río Dagua que se presentan en la cabecera municipal, son los ubicados en el sector llamado Av. Los Mangos cerca al barrio Gran Colombia y el sector donde se encuentra la Galería de este municipio. Las inundaciones que se presentan en barrios como El Porvenir, Ricaurte y Bellavista, se deben en su mayoría a colmatación del sistema de alcantarillado por aguas de escorrentía (Figura 2.3).

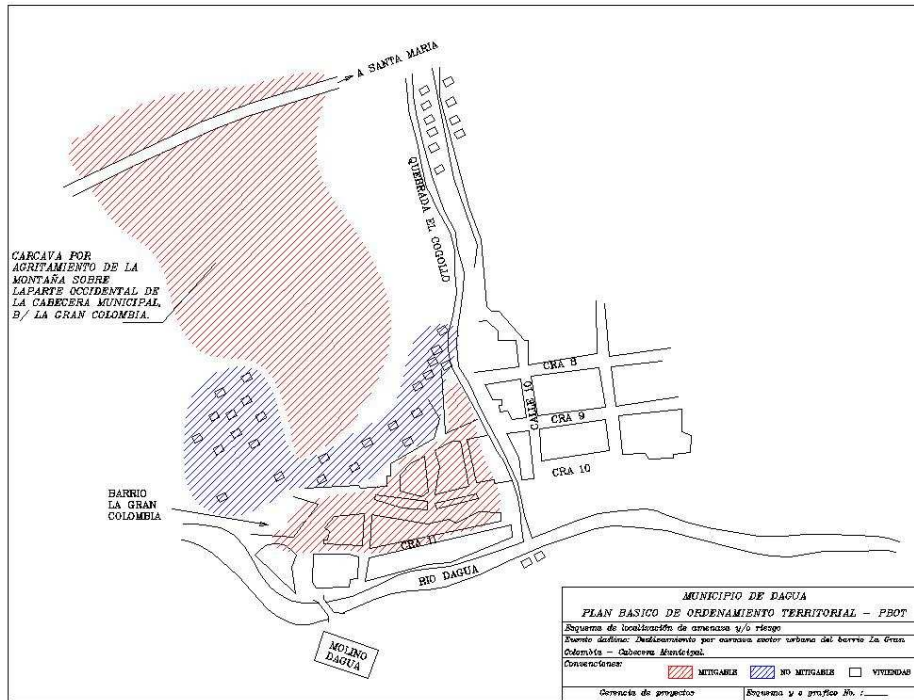


Figura 2.3 Carcavamiento ubicado en el Barrio Gran Colombia, POT – Dagua.

En la Figura 2.4 se muestran los sitios identificados por el grupo y que tiene registro de ocurrencia.

3. TOPOGRAFÍA

3. TOPOGRAFÍA

3.1. PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO

Se materializó un total de 8 puntos de control con precisión de 1 a 5 cm ajustados en red para controlar los estudios topo-batimétricos. La ubicación de estos puntos se definió principalmente con criterios topográficos para controlar las poligonales geoméricamente abiertas, cada tramo no mayor a 5 Km, con el fin de posibilitar su ajuste de errores tanto angulares como lineales (Figura 3.1).

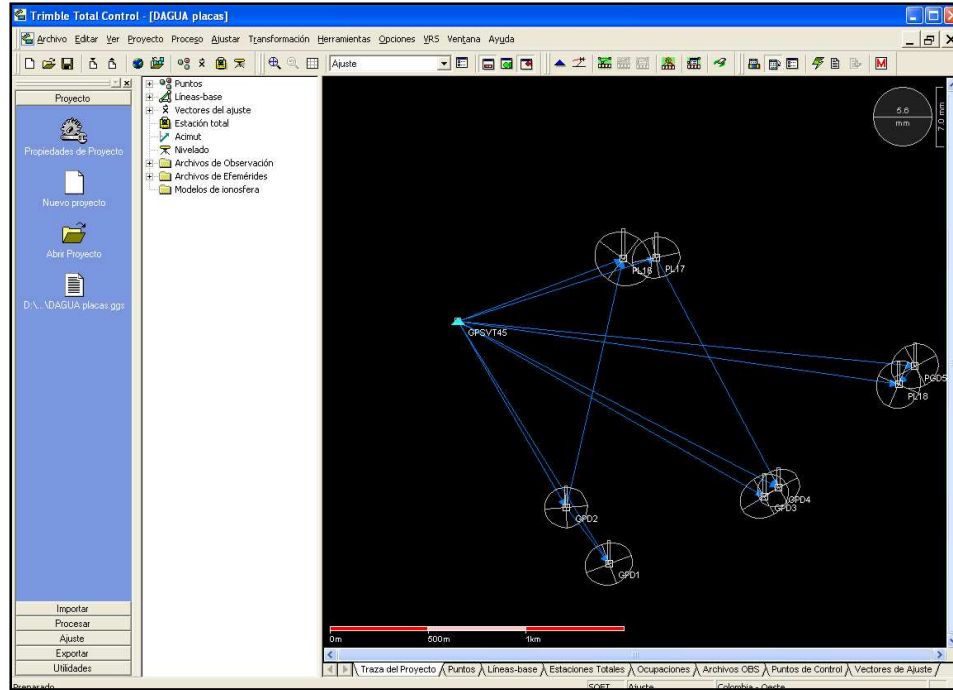


Figura 3.1 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de la red.

En este municipio se materializaron tres placas para control de los estudios batimétricos y se fijaron cinco puntos materializados con tacos afianzados con mezcla, se anexan las respectivas fichas, descripciones y coordenadas.

El procedimiento de construcción fue el de incrustación de placa de aluminio con vástago de acero, sobre concreto ya existente, buscando la estabilidad y perpetuidad de los puntos materializados.

Las placas utilizadas para la materialización y marcación consisten en una placa cilíndrica de aluminio, de calibre 75, marcada en forma radial con las siglas UNIVALLE OSSO-CVC, en la parte superior, debajo la nomenclatura de la placa en forma recta y en la parte inferior por debajo del punto central, el año 2009. El punto central se marcará con un vástago de acero inoxidable en el centro, con perforación de aproximadamente 1mm de profundidad para el punto topográfico. Esta placa está incrustada en un anillo de PVC de 4

cm de altura que recibe en el interior la placa centrada entre los 4 cm de altura de la misma, con el fin de que el borde del anillo quede a ras con el suelo, mas no la placa que quedará incrustada por lo menos 1.5 cm por debajo, para dificultar su extracción. La Figura 3.2 ilustra el diseño de la placa.

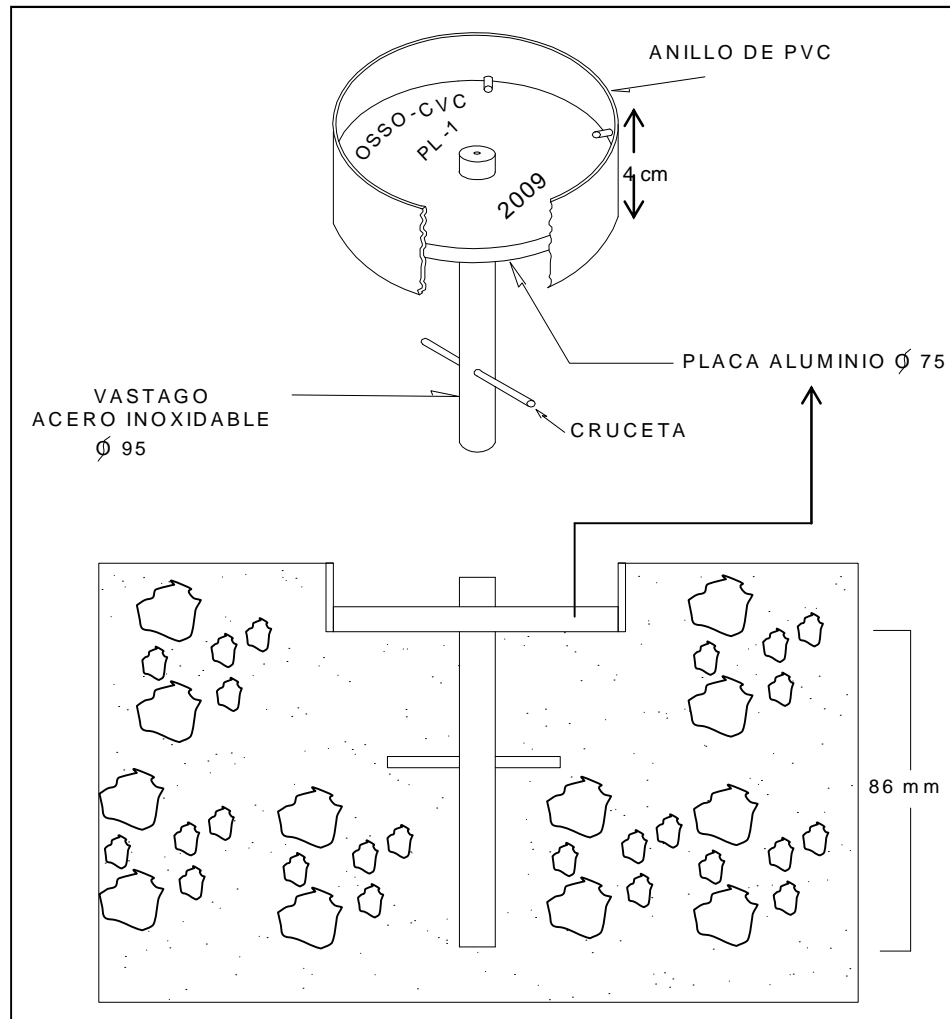


Figura 3.2 Materialización de puntos con placa en concreto.

El posicionamiento se desarrolló mediante procedimientos estáticos GPS diferencial, usando como principal punto de control el vértice MAGNA GPS VT 45.

Se construyó una red de control con conectividad entre todos los puntos a modo de bucles, que permite unificar la precisión de los puntos y generar una coherencia en cierre lineal de las diferentes líneas base.

Las líneas base generadas estuvieron por el orden de 1 a 3.5 km, por lo tanto las observaciones admiten receptores de mono-frecuencia y periodos entre 1 y 2 horas de observación.

Los equipos utilizados son dos receptores GPS Hiper Lite + de la casa fabricante TOPCON y dos receptores GPS 4600 LS de la casa Trimble Navigation, en el Anexo 3.1 se presentan las fichas técnicas de estos equipos.

En la tabla 3.1 se pueden apreciar los reportes estadísticos del posicionamiento.

Tabla 3.1. Errores asociados a los puntos de amarre de topo-batimetría.

Punto	Eje Semimayor	Eje Semiminor	Ángulo	95% confidence radius
GPD1	4.6mm	4.0mm	68.9°	10.6mm
GPD2	4.1mm	3.8mm	85.5°	9.7mm
GPD3	4.9mm	3.9mm	58.8°	10.9mm
GPD4	4.2mm	3.4mm	61.4°	9.4mm
GPSVT45	0.0mm	0.0mm	0.0°	0.0mm
PGD5A	4.6mm	4.1mm	61.7°	10.7mm
PL16	5.6mm	4.9mm	-53.1°	12.9mm
PL17	4.6mm	3.8mm	78.7°	10.4mm
PL18	4.6mm	4.1mm	23.1°	10.7mm

Se anexan las fichas de los puntos con sus respectivas coordenadas (Anexo 3.2 y 3.3).

Las coordenadas están en el sistema de referencia Magna, con proyección al origen 3w y las alturas se han reducido a ortométricas mediante el modelo geoidal Geocol del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

3.2. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES

Para los levantamientos de secciones batimétricas se construyeron poligonales con estación total a lo largo del cuerpo de agua, dejando puntos en cada abscisa marcada para construir la sección respectiva (Figura 3.3), siguiendo los criterios propuestos por el grupo de hidráulica, para localización y levantamiento de secciones. Estos puntos fueron nivelados a partir de procedimientos de nivelación geométrica.

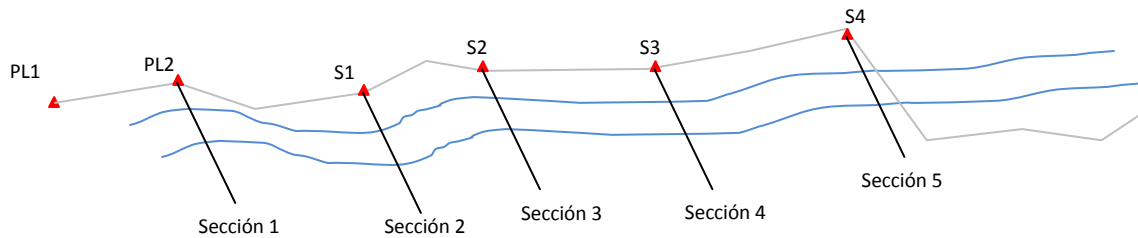


Figura 3.3 Construcción de secciones batimétricas.

Igualmente una poligonal de este tipo, permite calcular y ajustar los errores de cierre lineal, al conocer las coordenadas del punto de llegada, para esto se puede utilizar el método de ajuste deseado como si fuera una poligonal geoméricamente cerrada, es decir se puede aplicar un ajuste crandall, XY, brújula, tránsito, etc.

El desarrollo de este tipo de trabajo es posible porque se cuenta con receptores GPS de precisión que permiten de forma muy ágil, el posicionamiento de puntos de control en los lugares adecuados para la metodología.

Como ventajas inicialmente se debe hablar de la eliminación de ángulos muy agudos, que generalmente se presentan en este tipo de trabajos y generan un potencial grande de error angular y en los casos donde se evita, generan brazos de la poligonal muy cortos en comparación con las distancias entre secciones, que igualmente descompensan la poligonal tanto en ángulo como en distancia (Figura 3.4).

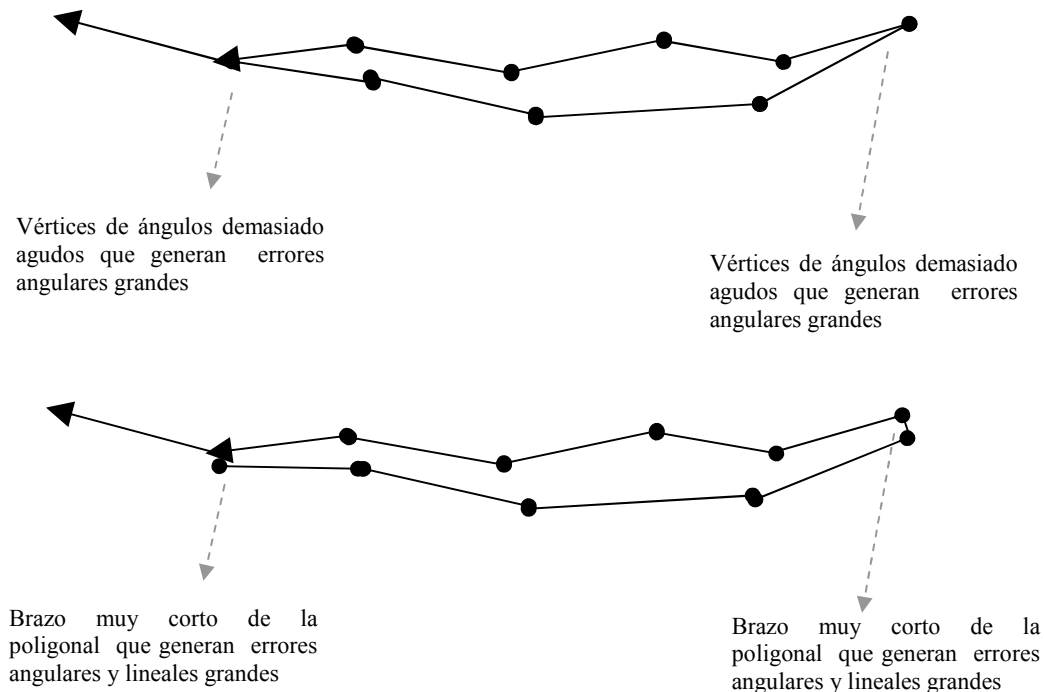


Figura 3.4 Ejemplo de poligonal geoméricamente cerrada en proyectos lineales.

Adicionalmente este procedimiento genera un mayor rendimiento, pues la comisión topográfica no debe regresarse uno o dos kilómetros para buscar el cierre de la poligonal, que generalmente resulta costoso y demorado, más en orillas de cuerpos de agua que generalmente están cubiertos de vegetación.

3.2.1. Toma de datos de Sección

La captura de datos de sección se efectúa en sentido de izquierda a derecha en sentido aguas abajo, indicando la fecha de toma y los niveles del espejo de agua, en todos los casos se toma de forma detallada el lecho seco, capturando todos los quiebres que tenga el cauce, de la misma forma se toman datos de toda la llanura de inundación del cuerpo de agua en la sección, por lo tanto las longitudes de las secciones varían dependiendo de las características del cuerpo de agua en la abscisa estudiada. Los datos de campo se capturaron en formato digital con cartera electrónica y se procesaron en AUTOCAD LAND.

Los espaciados entre secciones varían según el cuerpo de agua y en algunos casos el tramo, las secciones resultantes están conformes con los espaciados acordados con la interventoría del proyecto y el grupo de hidráulica. Para cada sección se incluye la abscisa y en la planta general se puede visualizar su distribución.

En esta actividad se estudiaron los cuerpos de agua que se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Cuerpos de agua con secciones transversales

CUERPO DE AGUA	LONGITUD ESTUDIO	NÚMERO DE SECCIONES
Quebrada El Cogollo	0.895 km	11
Río Dagua	2.272 km	25
Quebrada Cola de Gurre 1	1.061 km	11
Quebrada Cola de Gurre 2	0.794 km	8
Quebrada San Rafael	1.255 km	13

La localización de las secciones levantadas se ilustran en el plano de localización general de secciones transversales de los cuerpos de agua estudiados (Mapa 3.1, Mapa 3.2), y las secciones transversales respectivas se encuentran en el anexo independiente de secciones transversales del municipio de Dagua.

3.3. DISEÑO DE RED DE FOTOCONTROL PARA CONTROL FOTOGRAMÉTRICO

Los puntos de control fotogramétrico proporcionan una referencia de coordenadas del marco geográfico del área cubierta por las fotografías. La adecuada distribución de estos puntos sobre las fotografías permite que en el proceso de aerotriangulación se establezcan

relaciones fuertes en una red consistente de triángulos, arrojando como resultado modelos fotogramétricos correctamente ajustados y por ende la información que se extraiga de estos conserva alta precisión y mínima distorsión en toda el área útil de las fotografías.

Para la selección de los puntos se debe tener en cuenta: que el punto sea claramente identificable en las fotografías, tal como sucede en el caso de este proyecto si el tiempo transcurrido entre la toma de las fotografías y el posicionamiento de los puntos de control es considerable, se debe asegurar que los puntos seleccionados existan tanto en el terreno como en la imagen, son preferibles los detalles ubicados al nivel del piso, sin embargo esquinas de construcciones se pueden usar como control siempre y cuando cumplan con las otras características y se hagan los correspondientes cálculos y descripción clara de la cota o altura del punto, se recomiendan puntos con alto contraste tonal con su entorno, esto dentro de las principales características.

Se construyó el modelo de red de fotocontrol para el municipio y se diseñó su geoposicionamiento GPS con apoyo en el punto MAGNA GPS VT 45 ubicado en el cerro de las tres cruces del municipio de Dagua.

En el municipio de Dagua se seleccionaron 8 puntos de control que dan cobertura a la totalidad de la zona útil de restitución. Estos puntos se identificaron en el terreno y se posicionaron por periodos acordes con la precisión del trabajo que oscilan entre 1 y 3 horas de observación (Figura 3.5).



Figura 3.5 Foto mosaico con todos los puntos de control para el municipio de Dagua.

En este trabajo se seleccionaron puntos identificables en el terreno y en las fotografías, y se efectuó su georeferenciación con GPS, con precisión de 1 a 5 cm. Las Figuras 3.6 y 3.7 muestran como ejemplo la ficha del punto de control D5, ubicado en el centro recreacional del municipio de Dagua, en la esquina de una cancha de baloncesto.



Figura 3.6 Ubicación del punto de control D5, en la esquina de una cancha de baloncesto en el municipio de Dagua.

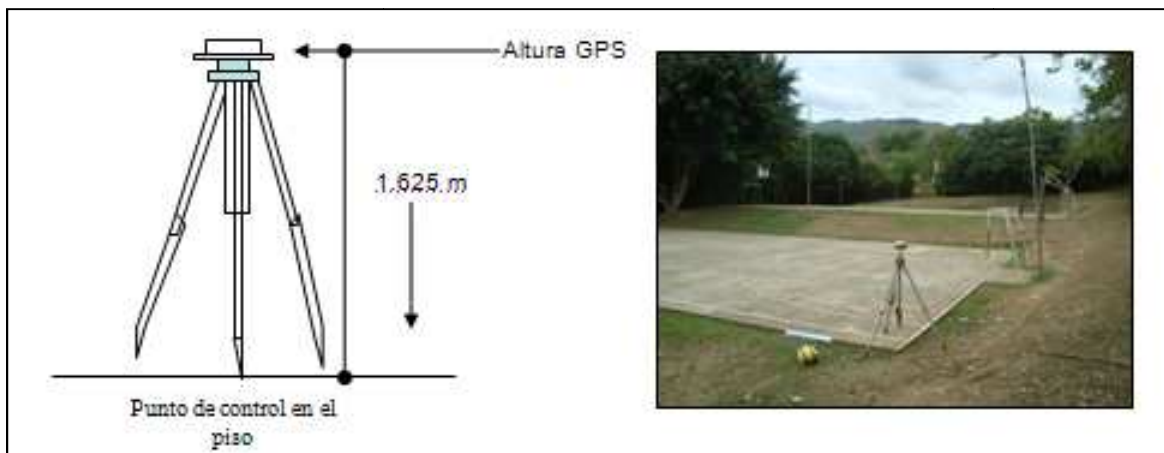


Figura 3.7 Descripción de armada para el cálculo de la elevación del punto de control D5.

Este esquema es importante porque la altura del punto de control se debe calcular en el sitio visible de la imagen, si es la esquina de un techo se debe tomar la altura del mismo.

Se utilizaron dos receptores GPS hiper lite + de la casa fabricante TOPCON y dos receptores GPS 4600 LS de la casa Trimble Navigation en el anexo XX se presentan las fichas técnicas de estos equipos.

Para el cálculo de los periodos de observación, se utilizó la expresión recomendada en estándares del IGS, definida como:

$$T = (5' \times K) + 25'$$

Siendo K el número de kilómetros entre estaciones observadas

En las Tablas 3.3 y 3.4 se pueden apreciar los reportes estadísticos resumen del fotocontrol de Dagua, y en la Figura 3.8 se ilustra el despliegue gráfico de la red de fotocontrol GPS.

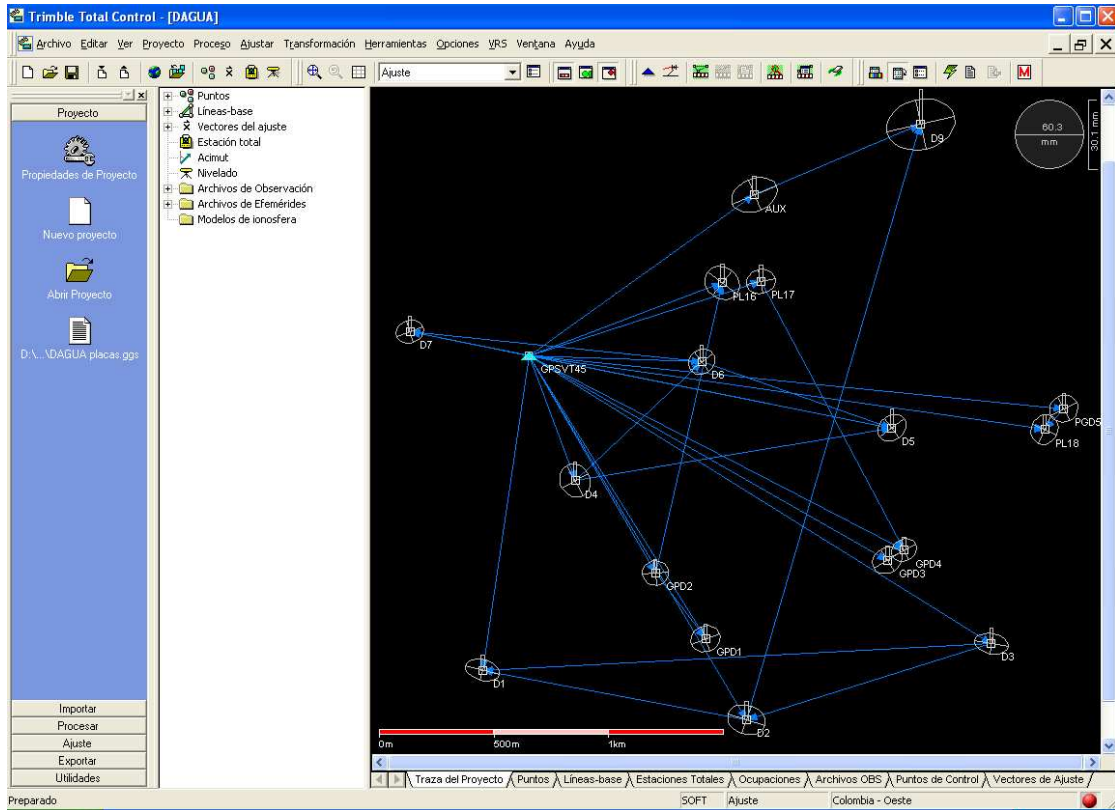


Figura 3.8 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de los puntos de fotocontrol.

Tabla 3.3. Coordenadas geográficas WGS 1984 y desviación típica de los puntos tomados en Dagua.

Punto	Latitud	σ	Logitud	σ	Altitud	σ
AUX	N 3° 40' 01.81205"	13.0mm	O 76° 41' 23.84728"	2.7mm	853.4534m	18.5mm
D1	N 3° 38' 54.30988"	8.3mm	O 76° 42' 02.28401"	7.9mm	1318.6065m	13.6mm
D2	N 3° 38' 47.28698"	11.4mm	O 76° 41' 24.99629"	4.2mm	916.7038m	16.5mm
D3	N 3° 38' 58.03528"	7.8mm	O 76° 40' 50.41834"	6.6mm	1018.5124m	13.6mm
D4	N 3° 39' 21.21376"	12.0mm	O 76° 41' 49.22486"	5.6mm	882.6872m	17.1mm
D5	N 3° 39' 28.69676"	10.7mm	O 76° 41' 04.43605"	18.5mm	936.8550m	17.0mm
D6	N 3° 39' 38.13554"	9.0mm	O 76° 41' 31.37346"	9.5mm	839.3262m	14.5mm
D7	N 3° 39' 42.43156"	8.1mm	O 76° 42' 12.54083"	13.6mm	1296.4093m	13.6mm
D9	N 3° 40' 11.81872"	19.0mm	O 76° 41' 00.32972"	27.3mm	958.1274m	30.1mm

Tabla 3.4. Errores asociados a los puntos de fotocontrol.

Punto	95% confidence radius
AUX	38.7mm
D1	27.5mm
D2	31.7mm
D3	26.2mm
D4	29.6mm
D5	25.0mm
D6	23.4mm
D7	23.5mm
D9	56.6mm
GPSVT45	0.0mm

4. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4.1. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

La información cartográfica recopilada y disponible en formato digital es la correspondiente al plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio y la suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC- la cual se describe en las tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

En la información cartográfica del PBOT aparece disponible la escala de impresión a 1:5000 y como fecha el año 2002, esta información se encuentra en formato DWG con sistema de coordenadas arbitrario.

La información cartográfica disponible en CVC a escala 1:5000 es producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas del vuelo FAL 407 a escalas 1:12650 y 1:13050 del año 1998.

Tabla 4.1. Información Cartográfica del PBOT.

Tema	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
Erosión	BOGOTA	DWG	Línea	Moderado, natural, severo, muy severo, ligero
Parque nacional farallones de Cali	BOGOTA	DWG	Punto, línea	Punto: construcciones, pista de aterrizaje, hospital, hoteles, bomberos, cruz roja, cabaña de control, centro de administración, miradores, senderos de interpretación, sitios arqueológicos, sitios de interés científico, valores paisajísticos, erosión, derrumbes, incendios, inundación, escuelas. Línea: vía pavimentada, vía sin pavimentar, camino o sendero, límite del área del sistema, límite de zona amortiguadora, curva de nivel, curva batimétrica.
Parque nacional cultural farallones de Cali oferta de bienes y servicios	BOGOTA	DWG	Punto, línea	Punto: construcciones, pista de aterrizaje, hospital, hoteles, bomberos, cruz roja, cabaña de control, centro de administración, miradores, senderos de interpretación, sitios arqueológicos, sitios de interés científico, valores paisajísticos, erosión, derrumbes, incendios, inundación, escuelas. Línea: vía pavimentada, vía sin pavimentar, camino o sendero, límite del área del sistema, límite de zona amortiguadora, curva de nivel, curva batimétrica.
Suelos	BOGOTA	DWG	Línea	VCde, JOef, JOefg, QUab, Qed.
Uso suelo	BOGOTA	DWG	Línea	N/C
corregimientos	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Línea: Límite de corregimientos, vías transitables, carretables, senderos, caminos, vía férrea, canales, acequias, cercas, curvas de nivel, ríos, quebradas. Punto: casa escuela, corregimientos, veredas.
Cuencas Dagua Anchicaya	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Punto: corregimientos, veredas Línea: Red hídrica, oleoducto, línea ferrocarril, límite de la cuenca anchicaya, límite de la cuenca Dagua, límite municipal Dagua, vías transportables, vías carretables
Cuencas principales Dagua	BOGOTA	DWG		N/C
Municipio de Dagua	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Línea: Límite de corregimientos, vías transitables, carretables, senderos, caminos, vía férrea, canales, acequias, cercas, curvas de nivel, ríos, quebradas. Punto: casa escuela, corregimientos, veredas.
Dagua área urbana	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: predios. Línea: Vía férrea, perímetro, ríos.
Dagua Urbano	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: vías, zona protección. Línea: Vía férrea, ríos.

Dagua urbano básico	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: predios. Línea: Vía férrea, perímetro, ríos.
Erosión alto Dagua	BOGOTA	DWG		N/C
Localización general	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Línea: Ríos, quebradas, vías, limite municipal. Punto: municipios
Red Hídrica Dagua Anchicaya	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Punto: corregimientos, veredas Línea: Red hídrica, oleoducto, línea ferrocarril, límite de la cuenca anchicaya, límite de la cuenca Dagua, limite municipal Dagua, vías transportables, vías carreteables
micro cuencas	BOGOTA	DWG	Polígono	Sub cuencas (Baja, alta)
Plano hidrográfico de las cuencas del rio Dagua	BOGOTA	DWG		N/C
Uso del suelo urbano	BOGOTA	DWG	Línea, Polígono	Línea: Perímetro urbano, lado de cuadra, río. Polígono: Uso vivienda, uso mixto, uso industrial, uso comercio, uso institucional, uso servicios, área sin construir.
Uso potencial alto Dagua	BOGOTA	DWG	Línea	N/C
Zonas de expansión	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: predios. Línea: Vía férrea, perímetro, ríos.
Zonas de expansión	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: predios. Línea: Vía férrea, perímetro, ríos.

Tabla 4.2. Información Cartográfica Básica CVC de la Cuenca Dagua.

Tema	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
c2301	Bogotá	SHAPE	Punto	Construcciones
c2308	Bogotá	SHAPE	Polígono	Área Construida
c2323	Bogotá	SHAPE	Punto	Construcción
c3101	Bogotá	SHAPE	Línea	Vía Pavimentada ancha
c3103	Bogotá	SHAPE	Línea	Vías Férreas
c3411	Bogotá	SHAPE	Línea	Puentes
c3414	Bogotá	SHAPE	Línea	Línea de Transmisión
c3415	Bogotá	SHAPE	Línea	Tubería – Oleoducto
c5101	Bogotá	SHAPE	Polígono	Ríos Dobles
c5114	Bogotá	SHAPE	Polígono	Ciénagas y Pantanos
c5124	Bogotá	SHAPE	línea	Ríos sencillos y Quebradas
c5201	Bogotá	SHAPE	Polígono	Arena – Río
c5206	Bogotá	SHAPE	Polígono	Isla
c6101	Bogotá	SHAPE	línea	Curvas de Nivel
c7111	Bogotá	SHAPE	Polígono	DAGUA

Tabla 4.3. Información Cartográfica Temática CVC de la Cuenca Dagua.

Tema	Año	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
Bm_00	2000	Bogotá	Coverage	Punto	
pfn		Bogotá	Coverage	Línea	Trazo norte
Geología Estructural_02	2002	Bogotá	Coverage	Línea	Falla, falla Dagua calima, falla de Cisneros, falla de río bravo, falla de río blanco naranjo, falla saladito falla san Bernardo
MI94_99	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Cárcava línea activa, cárcava lineal inactiva, desgarres superficiales, deslizamiento activo, escarpe erosivo, escarpe erosivo con caída, socavamiento del lecho, vertientes con inestabilidad.
Dg		Bogotá	Coverage	Polígono	Estero hondo, estero limoncito, estero limones, quebradas (Aguamona, Aguanegra, Aguabonito, Aguacaliente, aguachinte, aguaclara, aguas claras, alfa, alta gracia, balsitas, bendiciones, bogodo, bono, caballete, calabazas, calimita, caracoles, catanga, cen, centella, chancos, cienaguetas, cordobitas, cumbamba, de la mina, delfina, dos quebradas, el aguacate, el bosque, el castillo, el cedro, el cogollo, el hormiguero, el limón, el mango, el oso, el palmar, el palo, el paraguas, el pijal, el pinal, el polo, el rocío, el salto, el sinai, el tanque, el tiburón, el trapiche, el venado, el zanjon seco, gomez, honda, honduras, ilama, jiguata, jimenez, la alameda, la Argelia, la balastrera, la cedrera, la chillona, la chispona, la Clorinda, la colonia, la colorada, la cristalina, la española, la estrella, la golondrina, la guinea, la hermosa, la honda, la lora, la malta, la maria, la mina, la nevada, la palmera, la pizarra, la platina, la porquera, la reina, la sofía, la tatabra, la victoria, la villa, la viola, la virgen, las bombas, las minas, las pailas, lisa, los angeles, los chorros, los indios, los ladrillos, maria jesus, mataballo, minas, mojahuevos, mondomo, Moravia, mosoco, nacederas, pavenos, penalista, penitas, perico, pitirri, pitirrito, potedo, quebraditas, sabaletas, sacristan, san Antonio, san joaquin, san miguel, san salvador, santa ana, santa barbara, santa rosa, seca, sombrerillos, sombrerillos, sonadora, sucia, sucre, tamboral, timbio, tumbeno, vibarita, zaragosa), Ríos (aguaclara, bitaco, blanco, dagua, el salado, escalerete, grande, jordan, Mozambique, pavas, peditas, san Cipriano, san cristobal, sabaletas, san miguel).
Isoyetas_97	1997	Bogotá	Coverage	Polígono	890, 900,1000, 1100, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000
Pfs		Bogotá	Coverage	Polígono	Trazo sur
Geomorfología_new		Bogotá	Coverage		Depositos de vertientes, llanuras y valles aluviales actuales de las corrientes principales, relieve colinado macizo adosado

					incisión profunda vertientes suaves cimas amplias vertientes cóncavo convexas, relieve montañoso incisión moderada cañones de V abiertos divisorias convexas amplias vertientes cóncavo convexas, relieve montañoso incisión moderada cañones de V estrechos controlados estructuralmente divisorias convexas estrechas vertientes rectilíneas, relieve montañoso incisión moderada cañones de V estrechos divisorias convexas vertientes rectilíneas convexas, relieve montañoso incisión moderada cañones de V estrechos control estructural divisorias convexas estrechas vertientes rectilíneas convexas, terrazas aluviales antiguas altas.
Zonas de Vida_02	2002	Bogotá	Coverage	Polígono	Bosque húmedo montano bajo, bosque húmedo premontano, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo tropical, bosque pluvial tropical, bosque seco premontano, bosque seco tropical, bosque húmedo montano bajo.
Pendientes_02x		Bogotá	Coverage		Escarpado, fuertemente ondulado, fuertemente quebrado, ligeramente ondulado a ondulado, muy escarpado, plano a ligeramente plano, sin datos
Uso Potencial95_02	2002	Bogotá	Coverage	Polígono	Cultivos densos, cultivos limpios, cultivos multiestratos, cultivos semilimpios, reserva forestal Bitaco, reserva forestal rio escalerete y san Cipriano, tierras a recuperar, tierras forestales de producción-protección, tierras forestales de producción, tierras forestales de protección, tierras forestales de protección/producción, tierras para pastoreo, zona de recreación, zona urbana.
Geologia_02	2002	Bogotá	Coverage	Polígono	Batolito de anchicaya, coluviones y derrubios, conos aluviales, depósitos aluviales lacustres, depósitos aluviales recientes, formación Cisneros, formación Cisneros con volcanitas, formación espinal, formación mayorquin, formación raposo, formación volcánica a nivel sedimentario, intrusivos gabroides ind denominados, laterita de gabro, laterita de gabro piroxenico, laterita de tonalita, lateritas de la formación volcánica, manglares, playas y depósitos de marea, stock de El tambor, stock de sabaletas, stock del 18, stock del palmar, stock del tambor, terrazas aluviales.
Municipio		Bogotá	Coverage	Polígono	Buenaventura, calima-Darién, Dagua
Uso Actual95_00	2000	Bogotá	Coverage	Polígono	Aguacate, árboles frutales, avícola, bosque de guadua, bosque de mangle altamente intervenido, bosque natural, bosque natural altamente intervenido, bosque plantado, café, café-plátano, cana platanera, cuerpos de agua, guayaba, hortalizas, maíz, papaya, pasto natural, piña, pitaya, plátano, rastrojo, te,

					tierras eriales, yuca-plátano, zona de recreación, zona urbana.
Suelos95_80	1980	Bogotá	Coverage	Polígono	Asociación (ajicito, anchicaya, belgica, Bombay, buenaventura, calima, Cisneros, cordoba, Dagua, jordan, la cascada, la española, margarita, Miraflores, pescador, playa, queremal, raposo, Restrepo, Samarcanda, Sevilla, tocota, toribio, villacolombia, sabaletas, Zelandia, atuncela, la brea.
Erosión95_99	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Ligero, moderado, muy severo, natural, severo, zona urbana.
Morfología Cuenca		Bogotá	Coverage	Polígono	Alto Dagua, anchicaya, bajo Dagua, rio bitaco, rio grande, rio zabaletas.
Reserva		Bogotá	Coverage	Polígono	
Md94_99		Bogotá	Coverage	Polígono	
Pisos Termicos_02	2002	Bogotá	Coverage	Polígono	Calido, frío, medio
Límite		Bogotá	Coverage	Polígono	Dagua
Provincias de Humedad_02	2002	Bogotá	Coverage	Polígono	Húmedo, perhumedo, subhumedo

Tabla 4.4. Información Cartográfica Básica de Planchas 1:5000¹.

Plancha	Tema	Año	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
261ib4	1201	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
261ib4	1202	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de aerotriangulación
261ib4	1999	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
261ib4	2110	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Corregimiento, cultivos, veredas
261ib4	2301	1999	Bogotá	Coverage	polígono	construcciones
261ib4	2307	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Canchas
261ib4	2308	1999	Bogotá	Coverage	polígono	Área Construida
261ib4	2309	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Zonas de parques
261ib4	2310	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Muro
261ib4	2311	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Cercas
261ib4	2330	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Loteo
261ib4	2339	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Piscinas
261ib4	2343	1999	Bogotá	Coverage	línea	Jarillón

¹ Producto de restitución fotogramétrica realizada por FAL Ltda para la CVC.

261ib4	3107	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía sin pavimentar ancha
261ib4	3108	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Senderos
261ib4	3120	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Carreteables
261ib4	3121	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía pavimentada ancha
261ib4	3123	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía sin pavimentar angosta
261ib4	3411	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Puentes
261ib4	4107	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Bosques
261ib4	4201	1999	Bogotá	Coverage	punto	arboles
261ib4	5101	1999	Bogotá	Coverage	polígono	Ríos dobles
261ib4	5103	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Acequias
261ib4	5112	1999	Bogotá	Coverage	polígono	Lagos
261ib4	5114	1999	Bogotá	Coverage	polígono	Ciénagas y pantanos
261ib4	5124	1999	Bogotá	Coverage	línea	Ríos sencillos
261ib4	5201	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Arena Rio
261ib4	6101	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Curvas de nivel
261ib4	Texmarca	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Marcas
261ib4	Texsitio	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto sitio
261ib4	texvereda	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Vereda

4.2. ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA

La información geográfica y cartográfica generada en el proyecto MIDAS a través de las diferentes actividades realizadas se estructura conforme a las políticas y estándares establecidos tanto a nivel nacional por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, como por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC.

La información cartográfica obtenida y generada en el sistema de referencia con datum Bogotá es migrada al nuevo Sistema de Referencia Nacional MAGNA, conforme a la política nacional se utiliza el modelo de Molodensky Badekas y los parámetros de transformación de la región VI.

La información geográfica y cartográfica generada por el proyecto MIDAS es la correspondiente al uso del suelo urbano y cobertura de suelo, geomorfológico y morfodinámico, geológico, unidades superficiales, isoyetas mensuales multianuales, anual,

precipitaciones máximas, puntos de infiltración, muestreos geotécnicos, líneas geofísicas, secciones transversales, modelo digital de elevación y ortofotomapa.

Se presenta la propuesta de estructuración para la temática de uso de suelo urbano, cobertura de suelo, puntos de infiltración y muestreos geotécnicos, para las temáticas de procesos morfodinámicos, geológico, unidades superficiales, pendientes e isoyetas, se presenta la estructura con las adiciones propuestas. Se anexa propuesta de estructuración (Anexo 4.1) y de adiciones a la estructuración planteada por CVC (Anexo 4.2).

4.3. GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

información primaria, por medio de restitución fotogramétrica, levantamientos topográficos de campo y levantamientos de información de los profesionales de diferentes grupos como historicidad, hidráulica, geología, geotecnia e hidrología, toda esta información se integra para su posterior edición y estructuración SIG para finalmente obtener los mapas temáticos con las especificaciones solicitadas por la CVC.

En la Figura 4.1, se ilustra el flujo de procesos y productos cartográficos del proyecto.

4.3.1. Mapa básico

El mapa básico de la zona urbana y de expansión del municipio de Dagua se presenta en escala de impresión 1:5000 (mapa 4.1), y se realizó a partir de la información cartográfica a escala 1:5000, producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas disponibles y más recientes adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:15250 correspondientes a las 123,124 y 125 de la línea de vuelo C-2783 F-1 del año 2006 (figura 4.2), escaneadas a una resolución de 15 micrones. La restitución se realizó en modo 3D utilizando herramientas CAD y software de fotogrametría, los archivos de salida son Archivos DGN y/o DXF, los elementos restituidos se relacionan en la tabla 4.5.

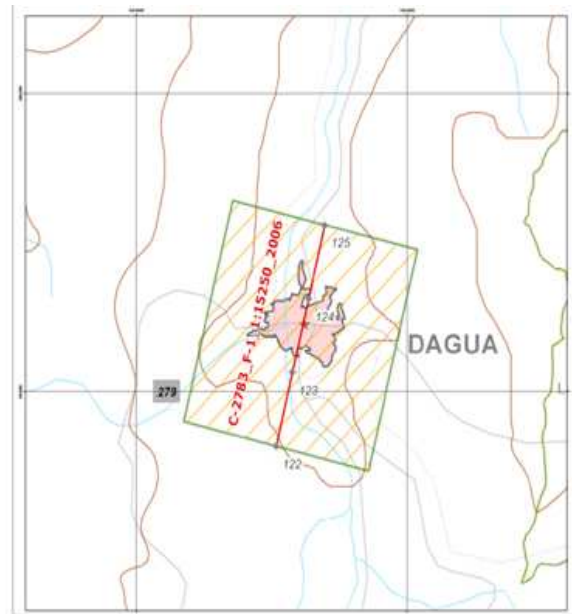


Figura 4.2 Cubrimiento de fotografías aéreas.
Fuente: IGAC

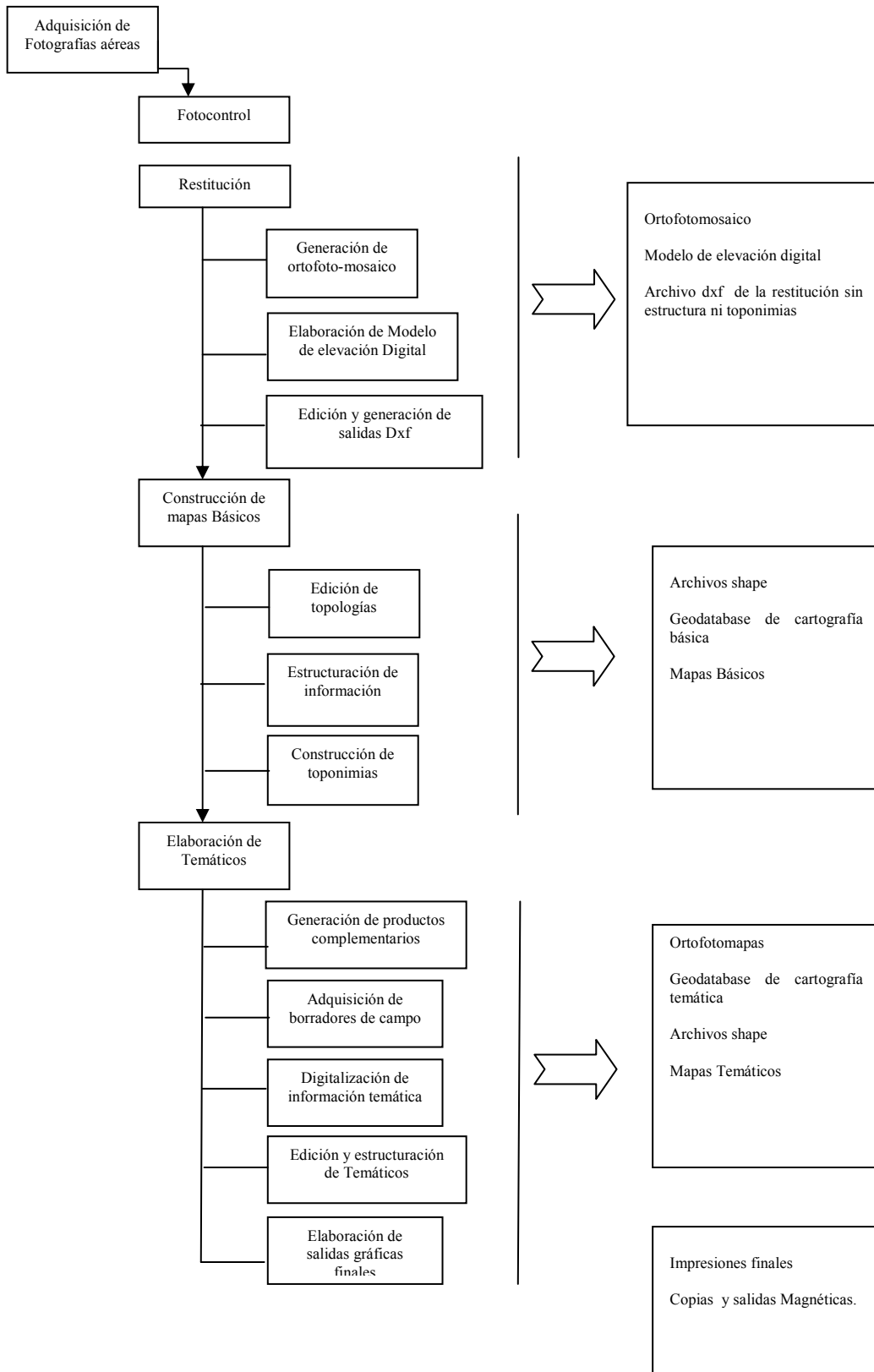


Figura 4.1 Flujo de procesos y productos cartográficos del proyecto.

Tabla 4.5. Elementos restituidos.

Modelo 2000	Descripción
5124	Drenaje sencillo
5101	Rio drenaje doble
5103	Canal sencillo
5112	Laguna
5114	Pantano
5102	Canal doble
2343	Terraplen
3103	Via ferrea
3105a	Sendero
3105b	Via peatonal urbana
3112a	Limite de via
3112b	Carreteable
	Camino
3120	Separador
3411a	Puente vehicular, viaducto
3411b	Puente ferreo
3411c	Puente peatonal
3414	Red alta tension
3415	Tuberia
3417	Torre
3418	Antena parabolica
3420	Poste
4107	Bosque
4102	Zona verde
	Grupo arboles
4202	Curva índice
6101a	Curva intermedia
6212b	Zona deportiva
2307	Parque
2309	Muro

2310	Cerca alambre
2311	Cerca viva
	Banco arena
5201	Limite manzana
2332	Limite manzana aproximada
2333	Tanque
2341	Piscina
2339	Edificacion
2301	Patio
2335	Tapa de camara
2336	Punto esteroscopico
1103	Punto aerotriangulacion
1201	Punto control fotogramétrico
1202	Esquema
	Breakline
	Via Pavimenda - Carretera
	Claro
	Jarillon
	Cultivos
	Cantera

Las curvas de nivel generadas por la restitución fotogramétrica se encuentran con intervalos de espaciamento cada 2 metros, a éstas curvas se le integraron los puntos topográficos cogo correspondientes a las secciones transversales realizadas en el municipio y las curvas de nivel de las planchas a escala 1:5000 de CVC, para la elaboración del modelo digital de elevación con resolución de 5 metros, a partir del cual se generaron las curvas de nivel cada 5 metros y se presentan en el mapa básico cada 10 metros.

4.3.2. Mapa Geológico

El mapa geológico incluye las unidades geológicas y estructurales identificadas por el grupo de geología, la representación geométrica de ésta temática se realizó a partir de la digitalización de la cartografía realizada por el grupo, producto del trabajo de campo y fotointerpretación de fotografías aéreas disponibles de los años 1957, 1998 y 2006 y el modelo digital de elevación de 30 metros de resolución, en este mapa se integraron los procesos morfodinámicos identificados por el grupo. Este mapa es realizado en el sistema

de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:5000 (Mapa 5.1).

4.3.3. Mapa Geomorfológico y Morfodinámico

Con base en el mapa geológico, el grupo de geología establece las unidades geomorfológicas clasificadas según el origen como denudacional, fluvial y denudacional estructural. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5.000 e impreso a escala 1:5.000 (Mapa 5.2).

4.3.4. Mapa de Unidades Superficiales y Morfodinámico

Partiendo de la compilación realizada por el grupo de geología de la información de interés, este grupo realizó la fotointerpretación de los procesos morfodinámicos y su verificación con trabajo de campo, realizando la cartografía de ésta temática, integrando estos procesos a las unidades geológicas superficiales, dentro de las cuales se identifican suelo residual, suelos coluviales, llanuras aluviales y abanicos aluviales. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:5.000 e impreso a escala 1:5.000 (Mapa 5.3).

4.3.5. Mapa de Uso de Suelo Urbano

Este mapa es el producto del trabajo de campo del grupo de Hidrología, el cual tomó como base el mapa de uso de suelo urbano del PBOT, actualizando los usos dentro del perímetro urbano y de la zona de expansión sobre cartografía base a escala 1:5.000.

Para la definición de cobertura de suelo de las zonas adyacentes a la zona urbana y de expansión, se realizó una identificación previa sobre la ortofoto, digitalizando los polígonos correspondientes a diferentes coberturas, las cuales fueron corroboradas y actualizadas en campo por el grupo de hidrología, con lo cual se creó esta capa de información y se integró a la de uso de suelo urbano.

Este mapa es realizado en el sistema de referencia MAGNA sobre la base cartográfica a escala 1:5000, y está impreso a escala 1:5000 (Mapa 7.1).

4.3.6. Mapa de Isoyetas Mensuales Multianuales y Mapa de Precipitaciones Máximas con periodos de 24, 48 y 72 horas

Para la generación de esta temática, el grupo de Hidrología recopiló la información necesaria de las estaciones, las cuales se encontraban en coordenadas geográficas, y fue necesario hacer la conversión a coordenadas planas, tomando como Dátum de coordenadas geográficas el de Bogotá y origen de proyección el Oeste.

Con la información compilada, el grupo de hidrología generó las isoyetas mensuales, anual e isolíneas con valores de precipitación máxima de periodos de 24, 48 y 72 horas cada uno

con tasas de retorno de 10, 30 y 100 años en el sistema de referencia con dátum Bogotá, por tanto se procedió a realizar la conversión a coordenadas geográficas y la transformación a dátum Magna para la conversión a coordenadas planas Gauss Kruger con origen de proyección oeste. Esta información fue generada como geometría de tipo línea y fue necesario generar entidades con geometría de tipo polígono para representar regiones con promedio de precipitación entre isolíneas.

Las isolíneas de precipitación máxima cubren parte de los municipios de Buenaventura, Darién y Dagua, de la cual se extrajeron las isolíneas correspondientes al área de estudio del municipio de Dagua.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25.000 a nivel del municipio de Dagua, previamente migrada al dátum Magna, e impresos a escala 1:250.000, esta información será presentada como anexo del grupo de hidrología.

Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan con las tasas de retorno de 10, 30 y 100 años, sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25.000, en 42x50 cm a escala 1:20.000, en el sistema de referencia Magna (Mapa 7.2).

4.3.7. Mapa de Zonas con mayor frecuencia de Inundaciones y Deslizamientos

Este mapa contiene los sitios identificados por el grupo de historicidad, donde se tiene registro de ocurrencia de algún evento de inundación.

Este mapa se realizó sobre la base cartográfica a escala 1:5000 e impreso a escala 1:10000 en tamaño carta (Figura 2.4).

4.3.8. Ortofotomapa

En el procesamiento de las fotografías aéreas adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se realizó el proceso de ortocorrección para eliminar los errores propios de la geometría de las imágenes, generando una ortofotografía en la cual se integró la información generada correspondiente a vías, red hídrica, manzanas y toponimia conformando de esta manera el ortofotomapa presentado en el mapa 4.2.

4.3.9. Modelo de Elevación Digital

El modelo digital de elevación (MDE) que se presenta en el mapa 4.3 es producto de la integración de las curvas de nivel generadas en el proceso de restitución fotogramétrica, los levantamientos topográficos correspondientes a las secciones transversales realizadas en el Municipio y las curvas de nivel de las planchas 1:5000 de CVC, con resolución de 5 metros; éste MDE es utilizado como insumo para el grupo de geotecnia e hidráulica para los respectivos análisis para la determinación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa y avenidas torrenciales.

4.3.10. Localización General de Secciones Transversales

La localización de las secciones transversales levantadas en los cuerpos de agua estudiados (Tabla 3.2) se presenta en los mapas 3.1 al 3.2 como sigue:

Mapa 3.1.: Localización de secciones transversales de la Quebrada El Cogollo, Río Dagua y la Quebrada San Rafael.

Mapa 3.2.: Localización de secciones transversales de la Quebrada Cola de Gurre 1 y Quebrada Cola de Gurre 2.

5. GEOLOGÍA

5. GEOLOGÍA

En virtud del contrato interadministrativo 188 entre CVC y UNIVALLE (Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente, OSSO), a continuación se describe la geología, las formaciones superficiales, la geomorfología, los fenómenos morfodinámicos y de remoción en masa, presentes en la cabecera municipal de DAGUA y sus alrededores, con el fin de establecer las bases de un mejor conocimiento de las amenazas geológicas, direccionadas a evaluar su posible afectación a sectores vulnerables de la población y su infraestructura.

5.1. OBJETIVO

Cartografiar a la escala apropiada las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, suelos, formaciones superficiales y rasgos geomorfológicos, morfométricos y morfodinámicos de la zona, con énfasis en las zonas propensas o con presencia de movimientos de remoción en masa que puedan constituir amenaza a la población y su infraestructura.

5.2. ALCANCE

Identificar, localizar y describir aquellas zonas o sitios, con rasgos de procesos morfodinámicos: erosión, deslizamientos, reptación, caída de bloques, volcamientos, flujos, propagación lateral, subsidencia y avenidas torrenciales, que puedan afectar directa e indirectamente la cabecera municipal de Dagua; la zona urbana y de expansión. La información obtenida, clasificada y descrita, servirá como insumo fundamental para la evaluación *de la amenaza por remoción en masa* y la *vulnerabilidad* de sitios, infraestructura y la comunidad de Dagua.

5.3. METODOLOGÍA

5.3.1. Consulta preliminar

Se realizó la consecución, consulta y evaluación de la información geológica, geomorfológica y morfodinámica disponible sobre el municipio de Dagua. Con este fin, se analizaron los informes y mapas realizados por diferentes entidades: CVC, INGEOMINAS, POT, CLOPAD, empresas particulares y centros académicos.

5.3.2. Compilación temática

Se acopió de manera resumida la información más relevante en la bibliografía consultada; en especial la relacionada con la temática de los procesos morfodinámicos.

5.3.3. Fotointerpretación

Se realizó la fotoidentificación e interpretación geológica y geomorfológica preliminar de la zona, mediante las aerofotografías Nos. 177-178 del vuelo FAL 407 a escala 1:13000 y 168 a 172 a escala 1:12000, del IGAC. Se inspeccionaron las imágenes obtenidas de Google Earth y se examinaron fotografías de campo horizontales, tomadas previamente por la geógrafa Magnolia Aponte durante su trabajo de apoyo al grupo de Topografía del Proyecto Midas; las cuales muestran aspectos morfológicos típicos de las laderas de la zona, fenómenos de remoción en masa y rasgos de fallamiento activo.

5.3.4. Trabajo preliminar

Al tener en cuenta que el alcance del trabajo geológico y sus temas afines es la identificación de las amenazas por remoción en masa; el análisis que se realizó de los mapas geológicos existentes, fotografías aéreas y bibliografía en general, se orientó prioritariamente a la selección de las formaciones geológicas, geoformas y estructuras propensas para la ocurrencia de estos fenómenos: escarpes, pendientes abruptas, rocas meteorizadas, sitios con fracturamiento intenso, zonas de falla, coluviones, zonas con fenómenos de remoción en masa antiguos y actuales y sitios de erosión potencial del río Dagua y algunas quebradas corrientes de agua menores.

Las zonas seleccionadas o sitios *a priori*, como potencialmente inestables o propensas para la ocurrencia de fenómenos morfodinámicos, se plasmaron en un mapa de pendientes, con el drenaje y las curvas de nivel sobrepuestos, con el fin de utilizarse como guía en el trabajo de campo (mapa base o preliminar). Además se adicionaron rasgos estructurales y litológicos a *grosso modo*. Antes de iniciar el trabajo de campo, se confrontó la información del *mapa preliminar* con la información de Historicidad sobre amenazas geológicas, obtenida previamente por las profesionales en historia Ángela Mazuera y Nathaly Mazo participantes en el Proyecto Midas. También se captó información directa de algunas personas de la región sobre vivencias o conocimiento de lugares donde han tenido lugar estos fenómenos en épocas anteriores.

5.3.5. Trabajo de campo

Comprende la cartografía geológica sistemática, geomorfológica, y morfodinámica o de procesos de remoción en masa y erosión, la cual se realizó sobre mosaicos y fotografías aéreas.

5.3.5.1. Mapa geológico

Para la elaboración del mapa geológico, se inspeccionaron las unidades litoestratigráficas más notables, sus estructuras: fallas, zonas de cizalladura, micro pliegues, diaclasas y sus características. Fallas sismogénicas o activas. Y suelos y depósitos no consolidados de diferente origen.

5.3.5.2. Cartografía geomorfológica

Comprende la caracterización geomorfológica de las unidades que conforman el paisaje en Dagua y sus alrededores, e incluye, mediciones morfométricas e interpretación de los procesos morfogenéticos. La morfología incluye los aspectos descriptivos del paisaje. La morfometría; la medición del relieve relativo, la pendiente, longitud de la ladera y de manera opcional el tipo de drenaje. En cuanto a la *morfogénesis*, se identificaron los diferentes ambientes morfogenéticos existentes en el área de estudio, relacionándolos de manera general con los procesos endógenos y exógenos, y más detalladamente con los agentes morfoestructurales, denudativos y agradacionales, que han operado en esta parte de la Cordillera Occidental. Es preciso destacar que los procedimientos morfométricos se concentraron alrededor de las zonas con *fenómenos morfodinámicos*; erosivos y de remoción en masa.

5.3.5.3. Mapas finales

Los datos obtenidos en trabajo de terreno y precisados con fotointerpretación directa en el campo, se plasmaron en el mapa geológico y geomorfológico a escala 1: 5.000 y se transfirieron a mapas de presentación final a escala 1:10, 000. El mapa de *unidades superficiales* se elaboró a partir de la interpretación de los mapas anteriores.

5.4. TRABAJOS ANTERIORES

A continuación se destacan algunas opiniones generales de trabajos anteriores sobre la geología del municipio de Dagua, y lo concerniente a los problemas de estabilidad del terreno.

En el año 2003, el grupo de cartografía, perteneciente a la Subdirección de Planeación de la CVC, realiza el Sistema de Información Geográfica de la Unidad de Manejo de Cuenca Alto Dagua - La Cumbre – Restrepo en el cual se describe detalladamente la geología, la geomorfología y la morfodinámica de Dagua, a partir de la conclusión de diferentes expertos, definen las unidades geológicas: Grupo Dagua, dividido en la Formación Cisneros y la Formación Espinal y el Grupo Diabásico, a la vez que detallan los diversos estudios y la evolución geológica que los motivó, realizados en la zona. También hacen referencia al problema de erosión que presenta la cuenca alta del río Dagua principalmente generada por la agricultura y las prácticas deficientes de protección de suelos y la ganadería extensiva, el sistema vial por la alta densidad de vías que aportan una cantidad importante de sedimentos, esto debido a las bajas especificaciones con las que fueron construidas. También se encontró que las amenazas geológicas existentes en el municipio de Dagua son: Carcavamiento lineal activo, escarpes erosivos, erosión laminar, socavamiento del lecho del río Dagua.

En el año 2001, la Alcaldía de Dagua, realiza El PBOT de Dagua, el cual presenta una síntesis del diagnóstico del municipio, hecho a partir de la dimensión socio-económica y ambiental, en esta última se encuentra la descripción de la erosión y degradación de las tierras; en donde también presenta un análisis geológico, haciendo referencia al marco

geológico regional y sus características., De igual forma exponen la geología estructural definida por las principales fallas que atraviesan el área de estudio y por último la geología relacionada con la economía, en donde se especifican los recursos mineros más importantes para su explotación.

En el año 1999, el grupo de Infraestructura, perteneciente a la subdirección de Gestión Ambiental de la CVC, realizó un informe técnico sobre el proceso de carcavamiento en el barrio la Esneda, en la margen izquierda de la Quebrada El Cogollo, en donde los procesos erosivos y de remoción en masa observados, son principalmente deslizamientos evidenciados a partir de cicatrices, caminos de ganado, flujos de escombros y surcos en los taludes de la vía a la María. Las principales causas del fenómeno se relacionan con la concentración de agua debido al aumento en la cantidad, intensidad y velocidad del escurrimiento difuso, intensificadas por el aumento en el caudal de los drenajes intermitentes que atraviesan el barrio la Esneda por el vertimiento de las aguas de escorrentía colectadas y encauzadas por la vía Dagua – La María, las altas pendientes del sector y la existencia de drenajes intermitentes, además de esto, la zona afectada se encuentra sobre material no consolidado (rocas fracturadas cubiertas por depósitos de pendiente) que facilita este tipo de fenómenos, sin embargo, el avance de las cárcavas ha sido lento por la paulatina revegetación espontánea que presentan.

El estudio trae a colación las recomendaciones hechas en estudios anteriores realizados en los años 1989 y 1995, tales como, la reubicación de viviendas localizadas en el cono de deyección del drenaje afectado por el carcavamiento, realizar el mantenimiento adecuado de las alcantarillas y el pontón, manejar las aguas de escorrentía por un lugar diferente al de la vía a La María fuera del área de carcavamiento, encauzándolas en cunetas revestidas o llevar estas aguas a otro drenaje, estudiando claro está que no se traslade el problema a otro sector. Por último recomiendan aislar las áreas afectadas de toda práctica agropecuaria y en sitios de gran pendiente, permitiendo de esta forma la recuperación natural.

5.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

A continuación se hace una descripción de las características principales de la geología de la Cordillera Occidental; litologías, estructuras predominantes, y factores exógenos, que dieron lugar a los procesos morfodinámicos presentes en el municipio de Dagua y alrededores.

La Cordillera Occidental es la más nueva de las tres cordilleras de los Andes colombianos, en cuya parte central, en una depresión tectónica, se encuentra la población de Dagua. Dentro de su proceso evolutivo esta cordillera ha sufrido cambios derivados de la mecánica de levantamiento, desde el fondo oceánico, de los flujos basálticos, e intrusivos de diabasa y gabro, conocidos como Formación Volcánica o PLOCO, y la deformación y metamorfismo de sus intercalaciones sedimentarias tales como chert, grauwaca, caliza y sedimentos finos, anteriormente conocidos como Grupo Dagua. Estos conjuntos rocosos

cuyas edades pueden estar alrededor de 80 – 60 millones de años, han dado lugar a morfologías variadas y contrastantes, dependientes de la abundancia relativa de sus diferentes rocas, su composición, geometría, y actitud de sus fallas y diaclasas, y de los procesos exógenos de interperismo y erosión que han actuado sobre todo el conjunto rocoso durante milenios.

Entre estos procesos se ha identificado un prolongado período erosivo y denudativo, actuante durante una relativa quietud tectónica, que condujo al “aplanamiento” o peniplanación de gran parte de la Cordillera Occidental, supuestamente durante el Terciario superior (25 millones de años) aún más reciente. El tectonismo posterior, que continuó hasta el presente, deformó la superficie de peniplanación, la falló mediante varios pulsos de eventos neotectónicos, creando una serie de mesetas desplazadas en forma escalonada en cuyos remanentes aún conservan sus rasgos de aplanamiento, dando lugar a un paisaje ondulado con inclinaciones suaves, con algunos remanentes de rocas más resistentes, en forma de promontorios topográficos, notables al occidente de Dagua, y al oriente en la región de La Cumbre, Pavas, Bitaco y Restrepo, al oriente de la población. Estos rasgos están ligeramente borrados de la topografía en regiones de mayor levantamiento tectónico relativo, como hacia el eje de la Cordillera Occidental, donde se facilita la destrucción del paisaje por procesos denudativos. De igual manera ocurre en el frente montañoso regional que mira hacia el valle del río Cauca donde sólo quedan pocos vestigios de la peniplanicie.

El escalonamiento tectónico de la peniplanicie a lo largo de las fallas principales del sistema de Dagua-Calima, se hace más notable hacia la región del Queremal y Dagua y se extiende por centenares de kilómetros cuadrados hacia la región de Calima – Darién y el norte del departamento del Valle. En el centro de la cordillera el sistema de fallas de Dagua–Calima marca una morfología con expresión topográfica notable; lineamientos, escarpes y facetas triangulares, desde las faldas occidentales de los Farallones de Cali.

Hacia la región de Loboguerrero y Darién. La vertiente oriental de la Cordillera Occidental, desde la divisoria de aguas hasta el contacto con la parte plana del Valle, (región de Cali, Yumbo, Vijes, Yotoco) es más corta y abrupta, o de mayor pendiente que la vertiente occidental, desde la divisoria de aguas, hasta la llanura del Pacífico. Este rasgo se relaciona con el límite de una cuenca tectónica distensiva que originó la depresión del valle geográfico del río Cauca, limitada al occidente por el sistema de la falla de Cali-Patía y al oriente por fallas pertenecientes al sistema de fallas de Romeral.

Hacia el filo de la Cordillera, la alta elevación y clima de los Farallones de Cali, ha tenido una gran influencia en la conformación y volumen de los abanicos aluviales, avalanchas y otras formaciones superficiales, derivados de esa región y emplazados hacia la base de los frentes montañosos. Por lo general los abanicos más relevantes y con buen desarrollo longitudinal provienen de la zona de los Farallones de Cali, donde se produjo el derretimiento de antiguos glaciares desde finales del Pleistoceno y comienzos del Holoceno, hace unos 10 mil años, cuyas aguas transportaron los productos de la meteorización de las rocas y los depositó hacia las zonas deprimidas, con una notable gradación longitudinal de tamaños de los fragmentos rocosos. Por otro parte, los abanicos

menos extensos y de geoformas aplanadas, provienen de las partes de la Cordillera donde la divisoria de aguas está por debajo de la altura de las antiguas nieves perpetuas. Algunos de estos abanicos se hallan emplazados en formas topográficas colapsadas por tectónica distensiva, cuyo nivel es ligeramente más alto, que los depósitos aluviales del río Cauca. Ejemplos de ellos son los de Yumbo, Vijes y Yotoco, entre otros.

Algunos depósitos de ladera estratificados, en la vertiente oriental, conocidos como Formación Jamundí, conforman una serie de superficies discontinuas e inclinadas hacia el valle, desde la media ladera del frente montañoso hasta la parte plana, con un espesor superior a los 100m. Se asume que esta unidad litológica se desarrolló con anterioridad a los abanicos aluviales coalescentes presentes en el frente de la Cordillera (ríos Jamundí, Lili, Pance, Meléndez, Cañaveralejo y Cali).

Los flujos y abanicos presentes hacia la vertiente occidental de la cordillera, son más extensos y por lo general están cubiertos por vegetación selvática.

Al oriente de Dagua, en la región de Pavas, Restrepo y Darién, el desarrollo de suelos residuales espesos (algunos lateríticos), ha dado lugar a formas topográficas suaves, onduladas y extensas que predominan en los remanentes erosivos de la peniplanicie, que por su naturaleza, permitió la acción prolongada de las aguas subterráneas, e impidió la rápida escorrentía de las aguas lluvias, favoreciendo los factores de meteorización química de las rocas.

El valle plano del río Cauca corresponde a un relleno de materiales de origen aluvial con partículas de diferente tamaño, proveniente de la destrucción lenta de las dos cordilleras, acumulados no solamente por el aporte de los ríos locales sino de toda la cuenca hidrográfica o de drenaje del río Cauca, desde el Macizo Colombiano, al sur en el departamento del Cauca.

5.5.1. Litología

A continuación se describen las unidades rocosas de la Cordillera Occidental, de manera muy general, teniendo en cuenta su presencia en vecindades y en el sustrato de Dagua, tales como la Formación Volcánica (Kv) y el Complejo Estructural Dagua que comprende: la Formación Cisneros (Kc), la Formación Espinal (Ke), y el Stock del Palmar (Kgp y Khgp). Por lo tanto se omiten las descripciones de aquellas unidades y estructuras alejadas de la cabecera municipal, que no tienen mayor significado en la morfogénesis y desarrollo de procesos morfodinámicos del área. De igual manera se hace énfasis en la descripción de las fallas geológicas cuya actividad y deformación del terreno es significativa para la estabilidad de las laderas del municipio. Ver Figura 5.1.

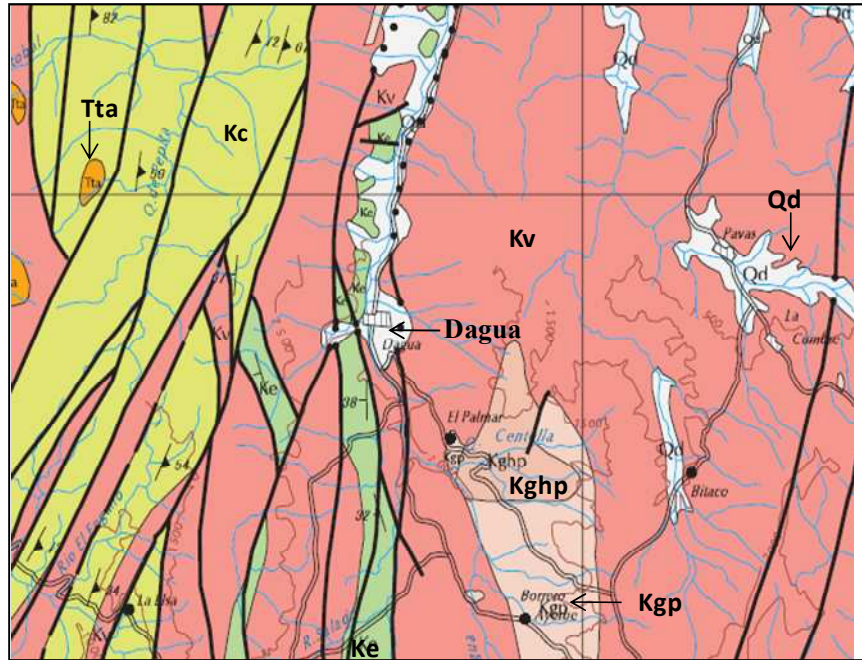


Figura 5.1 Entorno geológico del municipio de Dagua.

Tta: Apófisis del Batolito de Anchicayá: Dioritas, cuarzodioritas y tonalitas horbléndicas. Kc: Formación Cisneros: Filitas, pizarras y esquistos. Kv: Formación Volcánica: Flujos masivos localmente almohadillados o con diaclasamiento columnar de basaltos toleíticos masivos intruidos por diques y silos doleríticos. Ke: Formación Espinal: Lodolitas silíceas y arcillosas interestratificadas con chert negros y wacas líticas. Kgph: Stock del Palmar: Gabros horbléndicos. Kgp: Gabros incluyendo noritas. Qd: Aluviones sin diferenciar (Tomado de Ingeominas, 1992).

5.5.1.1. Formación Volcánica (Kv)

Las rocas de la Formación Volcánica presentes en toda la Cordillera Occidental y en los alrededores de Dagua, consisten esencialmente en lava basáltica, incluyendo diabasa, cantidades menores de brecha volcánica, secuencias estratificadas de tobas básicas, y delgados horizontes de rocas sedimentarias. El basalto es una roca oscura de grano muy fino, por lo general de tonalidad verde oscura, que varía de verde oliva a grisáceo y ocasionalmente azuloso. Por lo general ocurren como flujos masivos, que a veces presentan desarrollo de lavas almohadilladas y estructuras columnares, debido al rápido enfriamiento del material en contacto con el agua del océano. La diabasa tiene una composición mineralógica similar a la del basalto pero su textura es más gruesa. En la mayoría de los casos forma diques o silos, emplazados en los flujos. Estas rocas en estado fresco son de color verde azuloso y meteorizan a colores marrón y amarillo. Los afloramientos de roca sana sobre las laderas son escasos, y se encuentran únicamente en los cauces de caños y riachuelos. Su edad promedio se considera en 84.7 m.a de acuerdo a Nivia (2001). Edad que no es precisa, y se le ha asignado a la mayoría de las rocas de la PLOCO, por lo cual a la Formación Espinal, que a continuación se describe, se le ha dado una edad similar, aunque estratigráficamente es más joven.

Comúnmente la roca se presenta ligeramente meteorizada dando lugar a las conocidas estructuras “bolares” o en “cebolla” que se descomponen en cáscaras concéntricas, como producto de la alteración e hidratación de los silicatos, y, a lo que se denomina “roca muerta”, que aun mantiene las características de la roca. La transformación se produce por procesos de interperismo: hidratación e hidrólisis, principalmente en las rocas más cercanas a la superficie, como un proceso gradual hacia el desarrollo de suelos.

5.5.1.2. Complejo estructural Dagua

Las intercalaciones sedimentarias con algún grado de metamorfismo de bajo grado se conocen como las formaciones Cisneros, Espinal, Ampudia y Rio Piedras. Estas formaciones consisten en chert, lodolitas, arenitas, guacas, calizas, tobas y aglomerados. La alta deformación cataclástica de las lodolitas da lugar a lo que se ha denominado pizarras y filitas. Las variedades más silíceas en estado fresco son de color gris, y meteorizan a colores amarillo, amarillo crema y ocre. Las superficies meteorizadas por lo común contienen óxidos de hierro y localmente grafito.

El chert es la roca más abundante en el cinturón montañoso al W de Dagua, es de color negro y gris. Localmente se presentan capas gruesas intercaladas con lodolitas. El chert es una roca que se deforma fácilmente dando lugar a numerosos repliegues de tamaño mesoscópico. Las capas de chert presentan *buzamiento*, son rocas muy competentes y resistentes por el alto contenido de sílice y su deformación es de tipo frágil. En las vecindades de las fallas geológicas es común encontrar abundantes bancos de chert, lo cual conduce a pensar que se han desarrollado mediante un proceso de silicificación, por la migración de la sílice durante la deformación tectónica, a lo largo de planos de debilidad estructural.

Las arenitas y wacas líticas se presentan en estratos masivos, cuyo espesor alcanza unos 2 metros y localmente más. Estas rocas por lo general se presentan estratificadas con lodolitas y limolitas silíceas. Algunas capas de caliza micrítica de color negro, se presentan en bancos gruesos hacia la inspección de policía de La Cascada, a veces presentan laminación fina y se deforman en pliegues similares de tamaño mesoscópico. La caliza con frecuencia contiene fragmentos de roca pequeños y granos angulares de cuarzo.

5.5.1.2.1. Formación Cisneros (Kc)

De acuerdo a Aspden (1984), consiste de un cinturón alternante de pizarra y filita, caliza, conglomerado y chert, con bajo grado de metamorfismo y fuertemente tectonizado, dando lugar a milonitas y protomilonitas; limitado al Este por las fallas de Bellavista, Río Bravo y Cristales, y al W por la falla de Aguaclara.

5.5.1.2.2. Formación Espinal (Ke)

Definida por Hubach y Alvarado (1934). La formación consiste de cherts bandeados, lodolitas arcillosas fisiles, unidades gradadas de arenitas, lodolitas, y limolitas que también contienen en menor cantidad caliza. Los fenómenos de metamorfismo cataclástico han dado lugar a rocas de aspecto milonítico foliado. Por lo general a nivel regional la Formación se

encuentra asociada a zonas de grandes fallamientos y en algunos casos parece que su alto contenido en sílice fuera de tipo secundario.

5.5.1.2.3. Stock del Palmar (Kgp y Khgp)

La unidad fue definida por Aspden (1985), y consiste de gabros horbléndicos (Khgp) y gabros ortopiroxénicos (Kgp), que se presentan como un cuerpo plutónico al sur oriente de Dagua. Este cuerpo está recubierto por una capa espesa de suelo residual en gran parte laterítico.

5.5.13. Tectónica

El sistema de fallas dominante en el área es el de Dagua-Calima, que se desprende de los Farallones de Cali y sigue una dirección NNW, hasta el sur de Dagua a través de la zona axial de la Cordillera Occidental. En este sector la falla toma un rumbo N-S, y luego se dirige con dirección NNE hasta la región de Riofrío, en el Norte del Valle, donde converge con otras fallas regionales del sistema de fallas de Cali-Patía. La falla se sitúa entre los paralelos 3°20' y 4° 10' Norte. El plano de falla regionalmente se ha estimado que buza 70° al Este. El sistema lo conforman varias fallas paralelas y semi-paralelas, de tipo normal, con buzamiento alto al Este, y muestra evidencias fuertes de neotectonismo; son numerosos los rasgos de deformación tectónica tales como lomos de presión, silletas de falla, silletas de falla “hijas”, estructuras en “copa de vino”, escarpes de falla, quiebres de pendiente, depósitos cuaternarios colgados, conos aluviales deformados y lineamientos topográficos. Y un contundente desplazamiento de la superficie de erosión o peniplanación del Terciario, donde las fallas dislocan la peniplanicie dando lugar a un paisaje escalonado, definido por las diferentes trazas de la falla.

El sistema de Dagua-Calima, en su conjunto, separa dos regiones con diferencias litológicas y estructurales marcadas; al occidente de la Cordillera afloran las rocas sedimentarias y metamórficas de las formaciones Espinal y Cisneros, con intercalaciones basálticas, y al oriente, las rocas volcánicas basálticas, diabasa y gabro de la formación Volcánica. Estas últimas no muestran una deformación penetrativa tan notable. Aunque los rasgos morfológicos a lo largo de la traza de falla, desde el sur de Dagua hasta la región de Darién, y la estratigrafía visible en la excavación de trincheras indican que el sistema de fallas de Dagua-Calima es normal, con el techo de la falla o bloque oriental cayendo hacia el Este. La estría de fricción medida en rocas del Cretáceo, parece indicar que la falla es de movimiento sinistral. Este dato puede corresponder a deformaciones tectónicas anteriores al Cuaternario, y es posible que el desplazamiento distensivo no haya sido registrado de manera dinámica en los planos de falla o fractura.

5.6. GEOLOGÍA EN LOS ALREDEDORES DE DAGUA

A continuación se describen las unidades litológicas, sus estructuras, y depósitos no consolidados, presentes en el municipio de Dagua y sus alrededores próximos. Dichas

unidades comprendes parte Formación Volcánica (Kv) de la Formación Espinal (Ke). Ver Mapa 5.1.

5.6.1. Formación Volcánica (Kv)

La Formación volcánica infrayace la zona comprendida por la zona urbana del municipio de Dagua, al E de la falla de Dagua-Calima y del río Dagua. La roca dominante es diabasa y algo de basalto cuyos afloramientos, relativamente sanos, se encuentran hacia el norte del área en la vía al Piñal, la roca sana es dura de color gris-verdoso, con cuatro juegos de diaclasas. Tal como se muestra en la Foto 5.1. La roca sana no aflora cerca de la población. En el sustrato de Dagua, sólo predominan los suelos residuales y debajo roca completa o altamente meteorizada, que localmente deja ver algo del saprolito basáltico. Son notables los fragmentos rocosos sueltos y flotantes, sub angulares a sub redondeados, cuyo tamaño varía de 0.30 a 0.80m en promedio, y algunos de forma esferoidal.



Foto 5.1 Afloramiento de diabasa en la vía al Piñal, al norte de Dagua.

Nótese el color característico y la distribución de 4 familias principales de diaclasas.

Los espesores de los flujos de basalto son desconocidos. La alta deformación por los procesos tectónicos y la homogeneidad del material, no permiten hacer distinción entre flujos diferentes sobrepuestos, ni medir espesores. Por lo general el basalto, en la región, se encuentra hidrotermalizado en comparación con los diques de diabasa que rara vez lo están. Se cree que los *lomos topográficos* que conforman el sector del *Cementerio Anglicano*, al sur del barrio Bellavista, y de la escuela *Indalecio Liévano*, están conformados por diques de diabasa de dirección SEE, algo meteorizados y sobrepuestos por suelos residuales delgados generalmente limo-arenosos de poco espesor. Por otra parte, numerosos cantos de roca rodados muestran una composición gabroide de grano medio a grueso, los cuales pueden estar relacionados con el denominado Stock del Palmar compuesto por gabro, el cual aflora algo meteorizado unos pocos kilómetros al sur de

Dagua sobre la carretera que conduce a Cali. Su extensión puede llegar hasta el casco urbano, pero la abundancia de suelos residuales y algunos coluviones, no permite hacer diferenciaciones de contactos entre diferentes rocas o definir la extensión geográfica de ellas.

La meteorización de las rocas básicas por procesos químicos y físicos da lugar a una capa de *suelo residual*, que cubre casi todo el sector alrededor de Dagua, tal como se muestra en el Mapa 5.1, y puede alcanzar varios metros de espesor. Dicho suelo eventualmente está sobrepuesto por derrubios de pendiente meteorizados, bloques residuales sueltos, y suelo transportado a sitios cercanos, dando lugar a una especie de *Glacis*. Su descripción se hace en el capítulo y mapa de Formaciones Superficiales, Mapa 5.3.

5.6.2. Formación Espinal (Ke)

La Formación Espinal se encuentra conformando el sustrato de la parte abrupta del terreno situado al W de Dagua y al escarpe de la traza de la falla de Dagua-Calima, tal como se ilustra en el Mapa 5.1. Sus mejores afloramientos se presentan a lo largo de las paredes del valle aluvial de la quebrada Cogollo, que desemboca en sentido W-E en el río Dagua.

La formación comprende en este sector una serie de estratos silíceos, principalmente chert negro, limolita silícea y lodolita arcillosa de aspecto “filítico”, dispuestas en capas cuyos espesores varían de 5 a 12cm y ocasionalmente mayores. Las capas silíceas están altamente deformadas, plegadas y localmente contienen estructuras de budinamiento, debidas a la deformación cataclástica que han sufrido probablemente durante los procesos de acreción continental. La vecindad de las fallas mayores les da un aspecto foliado por la presencia ocasional de milonitas. La meteorización incipiente produce fragmentos tabulares y aplanados en forma de pequeñas lascas tal como se muestran en la Foto 5.2. Los suelos residuales derivados de la Formación Espinal, comprenden fragmentos y partículas detríticas, cuya granulometría varía de tamaño limo a grava, de forma alargada, prismática y tabular.



Foto 5.2 Fragmentos de limolita silíceas laminada con meteorización Incipiente.

Lo anterior da lugar a un cascajo de fragmentos pequeños aplanados que hacen parte de la superficie de las laderas abruptas situadas al W. de Dagua.

5.6.3. Depósitos recientes no consolidados

Los *depósitos no consolidados* comprenden los depósitos aluviales del río Dagua y la quebrada Cogollo, coluviones, abanicos, y depósitos de ladera, tal como se muestran en el Mapa 5.1. Su descripción detallada se presenta en el capítulo de *Unidades Superficiales*.

5.6.3.1. Depósitos aluviales del río Dagua

Se desarrollan en una faja de topografía deprimida, a lo largo de la falla de Dagua-Calima, tal como se muestra en el Mapa 5.1, Comprende zonas hasta de 100m a lado y lado del cauce del río Dagua dentro del cual el valle, evolucionó a partir de un valle más ancho hasta encajarse por socavación de fondo y erosión lateral, dando lugar al espacio que hoy día ocupan los aluviones actuales. La antigua margen oriental, después de la migración del río varios metros al occidente, dejó un escarpe erosivo y fue posteriormente ocupada por depósitos de ladera, principalmente coluviones y algunos derrubios, donde se establecieron algunos barrios de la ciudad ligeramente inclinados.

5.6.3.2. Depósitos aluviales de la quebrada El Cogollo (Qca y Qca₂)

Conforman un cono de deyección próximo a la desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua. A lo largo del valle aluvial, se presentan bloques de rocas básicas, provenientes del filo de la cordillera, abundante chert y rocas silíceas, y gravas arenosas intercaladas con arenas limosas.

5.6.3.3. Coluviones (Qc y Qc_1)

Estos depósitos corresponden a material que generalmente reposa sobre las laderas y se asume que han sido transportados por efectos de la gravedad con algo de actividad hídrica.

5.6.3.4. Depósitos de ladera (Stp)

Corresponden a mantos relativamente delgados de suelos transportados de fuentes cercanas, que han ocupado ligeras concavidades en las laderas, tales como los que infrayacen el casco urbano de la ciudad. Corresponden a lo que se podría denominar “*un glacis*”. Se presentan principalmente hacia el centro de la población, ocupando un sector entre los dos lomos topográficos atribuidos a posibles diques de diabasa tal como se muestran en el Mapa 5.1.

5.6.3.5. Depósitos de Talus (Qda)

Como tales se han clasificado los depósitos de fragmentos roca y suelo que descienden por una ladera y prácticamente se acumulan cuesta abajo en un cambio de pendiente cóncavo, que impide su posterior movimiento.

5.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura geológica local del Municipio de Dagua está enmarcada dentro de los rasgos de evolución tectónica de la Cordillera Occidental, descritos en el capítulo 5.2, los cuales a nivel local, corresponden a las fallas del sistema de Dagua-Calima de tipo normal, con buzamiento al E y la falla antitética a la cual se le da el nombre de falla del Piñal, que buza al W, las cuales conforman al *Graben de Dagua*. A excepción de la falla de Dagua-Calima, las estructuras no muestran la contundencia de la observación que se hace a nivel regional a escalas menores de trabajo.

Los rasgos estructurales y tectónicos ocurren con mayor desarrollo en el sector montañoso al W del río Dagua, donde se presentan pendientes abruptas y valles encañonados, tal como se muestra en los Mapas 5.1 y 5.3. Los mejores afloramientos ocurren a lo largo de la quebrada El Cogollo, en cuya ladera izquierda las capas muestran un buzamiento alto al W y aún vertical; en la margen derecha el buzamiento de las capas es menor y varía entre 12 y 35° al W, con algunos pliegues menores y pequeñas dislocaciones de tipo normal, con el plano de falla inclinado al E al igual que la falla mayor. Esta diferencia de actitud a lado y lado del cañón de la quebrada, y la profundidad de este, sugiere la posibilidad de que por allí corra una falla inferida en sentido perpendicular a la Dagua-Calima, cuya existencia se deja planteada tentativamente, para ser comprobada en estudios, posteriores.

Las discontinuidades medidas en las paredes del cañón, se presentan muy próximos entre sí, RQD < 25%, ligeramente abiertas, onduladas y lisas, con brechas de falla locales, cizalladas, algo meteorizadas, y con continuidad moderada. Los repliegues de las capas de chert son comunes. Y por lo menos tres juegos de diaclasas están presentes. Esto arroja una mala calidad para el macizo rocoso conformado por rocas silíceas de la Formación Espinal, con una morfología de laderas empinadas, teniendo en cuenta, además, que el macizo

bordea uno de los mayores accidentes tectónicos del sector como es la falla activa de Dagua-Calima.

El rumbo general de la foliación, paralela a la estratificación, a lo largo del sector montañoso, es por lo común al NNW y NNE, el cual sigue la dirección principal de la cordillera y sus principales estructuras.

Al oriente del río Dagua, donde se asienta la mayor parte de la cabecera municipal y las zonas de expansión urbana, la estructura geológica no es claramente visible debido al notable desarrollo de suelos residuales profundos, roca altamente meteorizada y a depósitos de superficie, pero hacia el norte de la zona, hacia la región del Piñal (tal como se muestra en los Mapas 5.1, 5.2 y 5.3 y Figuras 5.3, 5.4 y 5.5) se presentan afloramientos frescos de basalto con un marcado fracturamiento que buza al W, y que en las fotografías aéreas aparenta ser “capas” gruesas bien estratificadas. Se ha interpretado que la estructura penetrativa de este fracturamiento, corresponde a una familia de *fracturas antitéticas*, junto con la falla del Piñal, asociadas a la Falla principal de Dagua-Calima, dentro del Graben de Dagua. Es probable que toda esta estructura se prolongue hacia el sur por debajo de los suelos residuales que dominan el sector urbano de Dagua y sus alrededores.

5.7.1. Falla de Dagua – Calima

La falla de Dagua-Calima marca un notable contraste topográfico y morfológico en la zona, separando las rocas sedimentarias de la Formación Espinal, al occidente, de la Formación Volcánica, al oriente. El corto trayecto lineal sobre el cual se evidencia la falla cerca a Dagua, hace parte de un extenso lineamiento como el que se ilustra en la Foto 5.3 que se extiende desde los Farallones de Cali, al sur, y se pierde al norte de Darién y Riofrío.

La evidencia morfológica más notable de la falla es el fuerte escarpe que mira al Este, y que serpentea la Cordillera Occidental, en su parte axial. Dicho escarpe presenta un importante número de facetas triangulares, en diferentes estados de erosión y declinación, las cuales se ilustran en la Foto 5.4, cuya nitidez se ha tomado como evidencia de actividad neo tectónica, entre otras. La conservación y claridad de los rasgos morfológicos evidencian que la tasa de erosión de la zona no ha sido suficiente como para enmascarar el trazo de falla. Algunas de estas facetas presentan incisiones por erosión en forma de surcos indicando una edad moderadamente avanzada para estas facetas. De otra parte se observan otras facetas hijas o menores, mejor conservadas, evidenciando movimientos recientes de la falla. Aunque algunos de estos rasgos están claramente representados, es importante citarlos con el fin colocar a la falla de Dagua-Calima, dentro de un contexto sismotectónico real.



Foto 5.3 Lineamiento topográfico de la Falla Dagua-Calima.

Obsérvese el lineamiento topográfico, hacia el fondo, a lo largo del trazo de la falla de Dagua-Calima. La carretera corre paralela al río Dagua, por la margen derecha, la cual presenta numerosos sitios de inestabilidad. Parte de la población se observa abajo a la derecha sobre una morfología más suave de depósitos coluviales y suelos residuales. Vista al norte.



Foto 5.4 Escarpe, alineamiento y facetas triangulares de la Falla Dagua-Calima.

Al fondo, sobre la cima se observan los escarpes de la falla Rio Bravo y remanentes de la peniplanicie del Terciario tardío. Dagua en el centro. Vista al Oeste.

Sobre el corredor de la carretera que conduce a Loboguerrero, ligeramente al norte de la zona, en el talud derecho de la vía son notables las estructuras de deformación tectónica por efecto de los movimientos de la falla de Dagua-Calima; estrías y acanaladuras de fricción, espejos de falla, cataclasis, y brechamiento, relativamente cercanas a la ronda del río Dagua. Todas estas características indican que la faja de rocas paralela a la zona de falla es inestable por causa de la alta deformación, trituración y cizallamiento de la roca vecina a lo largo del corredor de la vía; que en algunos sectores han desestabilizado la carretera. Lo cual se ha manifestado en numerosos deslizamientos del talud y aún de la banca, desde la apertura de la carretera.

Dentro del casco urbano de Dagua cercano al río, al sur de dichas localidades, la roca basáltica y sus estructuras de deformación no afloran, pero es posible que estén en el subsuelo, al proyectar su trazo regional en dirección N-S. A su cruce por la ciudad, la zona de falla, cataclasis y cizallamiento, esta enmascarada por los aluviones del río Dagua y los coluviones de su margen derecha. La zona podría en consecuencia presentar problemas de inestabilidad debido a esta situación estructural particular, pues el *escalonamiento* topográfico en superficie, con presencia de escarpes y deslizamientos antiguos, tal como se muestra en los mapas citados, puede corresponder a los efectos de dicho fracturamiento sobre los depósitos superficiales.

5.7.2. Falla El Piñal

Esta falla no está referenciada en la literatura geológica consultada, pero se describe de manera breve en el presente trabajo, pues hace parte del contexto estructural dentro del cual se encuentra la zona de estudio. Tal como se anotó en el capítulo 5.4, y se ilustra en la Foto 5.5, la falla hace parte del límite oriental del Graben de Dagua, la cual tiene una dirección al NNW y se extiende al sur desde la región del Queremal hasta la región del lago Calima, al norte. Su trazo y propiedades aún no han sido investigados al detalle. El plano de falla buza al Oeste y ha desarrollado numerosas facetas triangulares, con notable desgaste, lo cual insinúa cierta inactividad de la falla durante un prolongado período de tiempo.



Foto 5.5. Falla El Piñal.

Obsérvese al fondo la morfología abrupta, de la falla del Piñal, con algunas facetas triangulares desgastadas. En el campo cercano se observa parte de la población de Dagua sobre una morfología ondulada de colinas suaves en suelos residuales. Vista al oriente.

5.8. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia la formación del paisaje y las relaciones entre las formas del terreno, los materiales que la conforman y los procesos que le dan origen; tipo de litología, suelo, drenaje y tectónica, entre otros. Su aplicación dentro de los estudios geológicos del municipio de Dagua, constituye una herramienta fundamental para evaluar el comportamiento del terreno, sus procesos morfodinámicos y factores de amenaza.

Los rasgos geomorfológicos son importantes en muchos aspectos de manejo ambiental y pueden contribuir a la evaluación de las amenazas naturales ya que la morfodinámica juega un papel notable en la identificación de procesos que dan forma al paisaje dentro de un contexto de peligro o de amenaza para la población.

El origen geomorfológico de las diferentes unidades está relacionado a procesos exógenos y endógenos dominantes, responsables de su existencia, así por ejemplo: ciertas formas estructurales tales como escarpes de falla, facetas triangulares, fracturas maestras, y pliegues, se clasifican dentro de un origen por procesos endógenos o internos en la corteza las formas derivadas de procesos exógenos o externos, el origen principal en primera

instancia se relaciona con el tipo de roca y el producto de su meteorización residual (suelos), dando una forma característica de terreno. Es así, como las facetas triangulares se asocian con fallas activas, una topografía kárstica siempre se asocia a calizas, mientras que formas como terrazas, planicies de inundación o partes superiores de deltas se asocian con depósitos aluviales.

El método de mapeo geomorfológico utilizado en el presente trabajo se basó en el “Sistema ITC” (Verstappen et. al., 1975 y Van Zuidam et. al., 1979), pero de acuerdo a la finalidad del Proyecto Midas, el mapa geomorfológico, también se basa en la agrupación de las diferentes formas de la superficie del terreno dentro de una variedad de categorías, con base en la similitud de las características del terreno y de rangos de pendientes dominante, tal como se muestra en el mapa de pendientes, Mapa 5.2. El mapa geomorfológico, se elaboró mediante la interpretación de fotografías aéreas, y posteriormente se realizó control de campo que consistió en la revisión de las unidades geomorfológicas obtenidas mediante observaciones de campo y fotointerpretación, tomando como orientación el *mapa geológico*. Se presentaron algunas dificultades al clasificar unidades que comprenden una superposición entre unidades denudacionales y estructurales, por lo tanto se unen los dos orígenes translapantes en una clase única: formas de origen estructural/denudacional. De igual manera, existen superposiciones entre origen denudacional y deposicional; tomándose una clase única más práctica *denudacional/ agradacional*. Ver Mapa 5.2.

5.8.1. Procesos Morfogenéticos

Los agentes geodinámicos en la Cordillera Occidental, a gran escala, han dado lugar a procesos morfogenéticos que han actuado con diferente intensidad en las rocas de afinidad oceánica o Formación Volcánica y la Formación Espinal, desde finales del Cretáceo, las cuales constituyen al basamento geológico del municipio de Dagua. Dentro de este contexto, el municipio de Dagua, comprende dos dominios principales: la región montañosa fuertemente quebrada al Oeste de la población y de la falla de Dagua-Calima, y la región de lomas con topografía moderada situada al Este de ella, separadas por los depósitos asociados al valle aluvial del río Dagua tal como se muestra en la Figura 5.2.

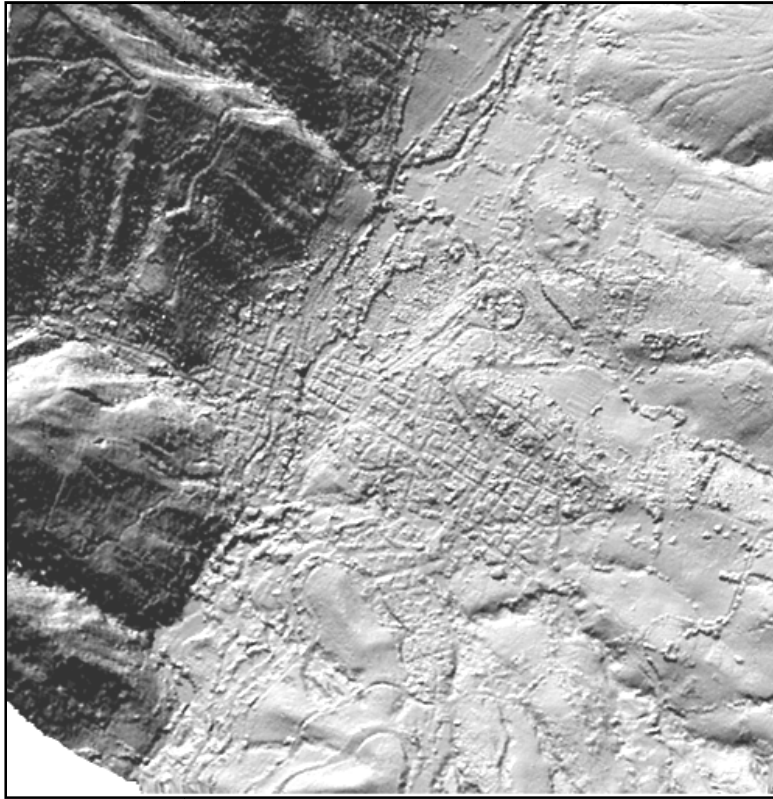


Figura 5.2 DTM con las principales geoformas dentro del área de estudio.

A la izquierda (W), el sector montañoso escarpado. El medio el valle aluvial del río Dagua y a la derecha (E) las geoformas de topografía moderada, donde se encuentra la mayor parte del casco urbano de la población.

5.8.2. Unidades genéticas de relieve

El relieve alrededor de Dagua, en la zona de estudio, se ha dividido en cuatro unidades de genéticas: Estructural/Denudacional; Denudacional; Denudacional/Agradacional; y Fluvial.

5.8.2.1. Unidades de origen estructural/denudacional

Estas unidades comprenden geoformas derivadas de un proceso predominantemente endógenos y en menor proporción exógenos. Los factores endógenos comprenden procesos tectónicos y sismo-tectónicos regionales que han actuado durante largo tiempo geológico los cuales a menor escala, están afectados por procesos de tipo denudacional: erosión y deslizamientos.

5.8.2.1.1. Cerros montañosos escarpados (Sm)

Corresponden a la geoforma dominante en la cordillera al W del río Dagua y de la falla de Dagua-Calima. Son laderas escarpadas y entalladas por la dinámica fluvial y socavación abrasiva de la quebrada El Cogollo y sus cortos afluentes. Su valle aluvial está limitado por altas pendientes y algunos depósitos de ladera con detritus y suelos transportados que atenúan localmente la topografía quebrada.

5.8.2.1.2. Cuestas y pendientes estructurales (Sc)

Corresponde a sectores escarpados cuyas geformas resultan de la denudación de estructuras mayores, planos de estratificación o foliación y diaclasas maestras. Se localizan hacia el noreste del Mapa 5.3.

5.8.2.1.3. Pendientes estructurales (Dft)

Corresponden a planos de facetas triangulares, parcialmente denudados, e incididos por *nichos* longitudinales de erosión. Las facetas se han generado por la erosión del escarpe de la falla de Dagua-Calima, que transcurre por la base del frente montañoso local a lo largo del río Dagua. Es posible que los *nichos* hagan parte del proceso de desarrollo de *facetas triangulares hijas*, por el reactivamiento tectónico de la zona. Estaría por investigar.

5.8.2.1.4. Lomos denudacionales (Dca)

Corresponden generalmente a divisorias de aguas locales de formas alargadas y fuertemente inclinadas. Presentan morfología típica de *lomo*. Se observan al sur del barrio Bellavista, en el sector del Cementerio Anglicano. Estructuralmente parecen corresponder a diques de diabasa, con meteorización y desarrollo de suelo residual poco profundo.

5.8.3. Unidades de origen denudacional

Se desarrollan por la acción de agentes denudacionales o erosivos hídricos; principalmente el agua de escorrentía y corrientes menores de bajos caudales. La erosión laminar ha originado pendientes redondeadas en los suelos residuales, y el agua canalizada ha facilitado el desarrollo de depresiones u oquedades longitudinales.

5.8.3.1. Laderas planas a ligeramente inclinadas (Dp)

Corresponden a laderas con formas suaves y onduladas, poco disectadas y que generalmente están constituidas por suelos residuales provenientes de basalto, diabasa y gabro y localmente cenizas volcánicas. Se distribuyen ampliamente hacia todo el sector oriental del río Dagua, donde se encuentra parte del sector urbano de la población. Sobre estas laderas se levantan las geformas de mayor inclinación.

5.8.3.2. Laderas fuertemente inclinadas (Dc)

Corresponden a laderas con acumulación local de detritus, algunos fragmentos gruesos de rocas básicas flotantes y eventuales derrubios de pendiente. Esta unidad, en la región montañosa situada al W del río Dagua, se encuentra presente en menor proporción dentro de zonas fuertemente quebradas, de origen morfoestructural.

5.8.3.3. Depresiones (Dn)

Corresponden a oquedades del terreno de forma alargada producidas por erosión concentrada a lo largo de quebradas de bajo caudal y corrientes de agua menores.

5.8.4. Laderas de origen denudacional/gradacional

Son depósitos de suelos finos y algo de material grueso transportado, provenientes de la denudación de zonas cercanas topográficamente sobresalientes, y los cuales han sido objeto del mayor asentamiento de la ciudad.

5.8.4.1. Depósitos de ladera (Dl)

Corresponde a depósitos de pendiente moderada, formados por transporte hídrico lento y laminar y la acción de la gravedad. La erosión de suelos en pendientes prominentes ha dado origen a mantos o acumulaciones de suelo transportado en zonas topográficamente más deprimidas, que predominan bajo el sector urbano de la población. Depósitos de mayor espesor conforman las laderas próximas a las márgenes del río Dagua, que generalmente corresponden a depósitos coluviales y derrubios de pendiente. El sector urbano del Municipio, está concentrado principalmente en una superficie ligeramente deprimida, la cual posteriormente fue *agradada* por depósitos coluviales, similares a un “*glacis*”, con muy escasos afloramientos, dando lugar a un depósito denudacional-gradacional. Parte del *glacis* se acomoda dentro del espacio de un antiguo valle más amplio del río Dagua, donde el escarpe erosivo que cae de oriente a occidente sobre el cual se recuestan los depósitos, marca un fuerte cambio topográfico dentro de la población.

5.8.4.2. Depósitos de deslizamiento (Dd)

Corresponde a material acumulado, que hace parte del cuerpo de un deslizamiento traslacional. El único ejemplo se localiza al SW del Barrio Gran Colombia y el cono de deyección de la quebrada Cogollo.

5.8.5. Formas de origen fluvial/gradacional

Los agentes geodinámicos dominantes son de tipo fluvial y gravitacional, los cuales producen la acumulación de materiales de diferente tamaño, textura y composición; acumulación de sedimentos en llanuras de inundación, y depósitos torrenciales a lo largo de cauces menores; coluviones, conos de deyección y abanicos. Comprende la faja de terreno a lo largo del valle de divagación antiguo y actual del río Dagua, el cauce de la quebrada El Cogollo y parte del terreno que infrayace el casco urbano. Presenta depósitos de origen puramente gradacional; unos con superficie plana a lo largo del valle aluvial moderno y otros ligeramente inclinados, de origen coluvial y de flujos, más antiguos.

5.8.5.1. Llanura de inundación y terrazas (Fal)

Esta unidad se caracteriza por conformar zonas planas angostas y alargadas, dejadas por acumulación de material depositado a lado y lado del río Dagua y sus principales afluentes. En menor proporción y tamaño, se ubican geoformas de este tipo en las quebradas afluentes del río Dagua en la margen derecha.

5.8.5.2. Cono de escombros (Fc)

Cono de deyección conformado por depósitos de escombros derivados de las geoformas estructurales-denudacionales de la Cuenca de la quebrada Cogollo. Morfológicamente conforma un cono de “*detritus*” caóticos correspondiente posiblemente antiguas avalanchas

estacionales, con menor aporte de depósitos estratificados de arenas gravas y limos, típicamente fluviales.

5.9. MAPA DE UNIDADES SUPERFICIALES

El propósito de este mapa es identificar, caracterizar y cartografiar las diferentes unidades de suelo residual y transportado, roca en los diferentes estados de meteorización y unidades de tipo aluvial y coluvial, de acuerdo con las unidades litológicas y materiales presentes en el área de estudio. Ver Mapa 5.3

5.9.1. Unidad de Suelos Residuales

Representa las mayores áreas en el mapa de *unidades superficiales* dentro del municipio de Dagua y comprenden los suelos residuales resultados de la descomposición física y química de la Formación Volcánica y la Formación Espinal.

Suelo Residual de la Formación Volcánica (Sv)

A partir de la Formación Volcánica se desarrollan suelos residuales espesos de diferentes colores, de los cuales predominan el rojo, naranja y pardo rojizo, con menor cantidad de suelos claros como amarillos y cremas. La granulometría es homogénea en toda la unidad, sobresaliendo los suelos limo-arenosos que resultan de la meteorización física y química intensa en toda la unidad volcánica, con presencia local de suelos areno-limosos a tamaño arena, que provienen de la descomposición de las facies de grano más grueso de la Formación Volcánica. En algunas localidades de meteorización moderada, se alcanza a identificar la textura de la roca madre, especialmente cerca a las zonas donde se encuentran derrubios de fragmentos con meteorización esferoidal. De la meteorización esferoidal resultan grandes bloques de basalto y diabasa redondeados, con lascas en forma de capas de cebolla, tal como se muestra en la Foto 5.6.

En sectores de mayor alteración de la roca se presentan suelos residuales de colores amarillentos a rojizos claros sin presencia de bloques residuales aislados de diabasa.



Foto 5.6 Ejemplo de “meteorización bolar” o “esferoidal” de basalto en los suelos residuales al Este de Dagua.

Nótese el desprendimiento de capas delgadas de roca meteorizada, que finalmente llega a constituir fragmentos muy pequeños hasta quedar haciendo parte del suelo residual.

Suelo Residual de la Formación Espinal (Sre)

Desarrollados a partir de la unidad litológica Formación Espinal, comprenden suelos detríticos, provenientes de chert, limolita, y rocas silíceas, cuya granulometría varía de arenas limosas a gravas arenosas de partículas angulares a sub angulares. El tamaño de los granos y la textura, también ha resultado de la actividad la falla de Dagua Calima, que tritura las rocas dejando fragmentos brechosos, y angulares envueltos por una matriz gravo-arenosa. El espesor de los suelos en laderas empinadas es en promedio de 80cm, pero en las zonas de pendiente moderada se pueden alcanzar los 2m.

5.9.2. Unidad de suelos transportados

Corresponden básicamente a suelos residuales y depósitos superficiales movidos y depositados sobre las laderas y depresiones próximas y a los productos de remoción en masa antiguos.

Suelo Coluvial de la Formación Volcánica (Sco₁)

Distribuido en áreas cercanas al río Dagua, en la parte E del Valle del cauce. Sobresalen dos tipos de depósitos, unos ubicados en la parte baja de las laderas contra el valle aluvial y otros ubicados al centro y centro norte del municipio. Las unidades ubicadas más cerca al cauce, están compuestas por fragmentos de bloques redondeados hasta de 50cm, que han resultado de la meteorización esferoidal presente en Formación Volcánica. Los bloques se

encuentran envueltos por una matriz caótica que varía en granulometría de gravas arenosas a arenas limosas como muestra la Foto 5.7.

Dentro de la unidad es común encontrar algunos fragmentos flotantes de arcillolitas silíceas, limolitas cuarzosas y cherts de la Formación Espinal, con formas sub-angulares. Estos fragmentos se encuentran esporádicamente en toda la región oriental de la zona de estudio, y pueden ser remanentes de la meteorización y denudación de dicha unidad en el pasado remoto.



Foto 5.7 Suelos coluviales de la Formación Volcánica.

Suelo Coluvial de la Formación Espinal (Sco₂)

Los suelos coluviales de la Formación Espinal corresponden a un depósito desarrollado sobre un antiguo movimiento en masa, ubicado al SW de la zona de estudio, sobre la margen izquierda del río Dagua, en el barrio Gran Colombia. Este depósito comprende suelos de arenas gruesas que envuelven fragmentos angulosos de mayor tamaño de rocas de la Formación Espinal, en los cuales sobresalen chert y arcillolita silíceas y limolita.

5.9.3. Unidad de Suelos Aluviales

Asociada a los cauces fluviales activos de la zona de estudio; se desarrollan en llanuras y abanicos aluviales, de los cuales sobresale la llanura aluvial del río Dagua y la quebrada Cogollo.

Llanura Aluvial del río Dagua (Sal₁)

Comprende zonas hasta de 100m a lado y lado del cauce del río Dagua. Esta llanura se ve localmente interrumpida por el abanico aluvial de la quebrada Cogollo, en su desembocadura en el río Dagua, y vuelve a presentarse en la parte norte, en el sector donde comienza el barrio La Estación. Si bien el cauce actual lleva como carga bloques hasta de 2m de diámetro, la llanura de inundación del río Dagua se compone de depósitos de arenas oscuras sobrepuestas por capas de limos arenosos.

Abanico aluvial de la quebrada Cogollo (Sal₂)

Corresponde al cono de deyección de la quebrada Cogollo, depositado en su desembocadura en el río Dagua, Conformando un abanico aluvial típico, de pendiente homogénea que se ensancha hacia el este y el norte, en la zona de confluencia. Este depósito presenta bloques de rocas máficas, ultramáficas y silíceas, que ha transportado la quebrada, junto con paquetes de gravas arenosas intercalados con arenas limosas y algunos bloques de hasta 50cm. En la actualidad este abanico aluvial ha sido utilizado en su totalidad para el desarrollo urbano, y puede ser la zona expuesta a una mayor amenaza por futuras avenidas torrenciales o avalanchas, provenientes de la cuenca hidrográfica de la quebrada Cogollo.

5.10. PROCESOS MORFODINÁMICOS

Los procesos morfodinámicos se presentan en el mapa las Unidades Superficiales del terreno Mapa 5.3, y su génesis de manera amplia se deriva de las dos grandes divisiones morfológicas del área: la zona escarpada al W del río Dagua y la zona ondulada, al oriente de esta. Los diferentes fenómenos de remoción en masa se relacionan de manera sintética en la Tabla 5.1.

5.10.1. Región al W del Río Dagua

En esta parte de la cordillera por ser montañosa y escarpada, la erosión fluvial da lugar a cañones profundos y a pendientes de mayor gradiente, tal como se ilustra en el Mapa 5.3. La abundancia de rocas sedimentarias de composición silícea no ha permitido la descomposición química profunda que muestran las rocas volcánicas basálticas, y por lo tanto la capa de suelo residual es de un espesor moderado. Hacia la parte superior de la cuenca de la quebrada Cogollo (por fuera del Mapa 5.3), sobre el bloque levantado de la falla, afloran suelos residuales aparentemente profundos, provenientes de la meteorización de la *peniplanicie*, que posiblemente suprayacen cuerpos rocosos de la Formación Volcánica, la cual aflora al occidente de la Formación Espinal (por fuera del Mapa 5.3). Son capas de suelo “colgado” potencialmente susceptibles a ser desestabilizados, debido a que la erosión remontante en las cabeceras de la quebrada progresa hacia ellos.

Tabla 5.1. Sitios con remoción en masa y erosión.

CÁRCAVAS DEL ÁREA URBANA DE DAGUA					
FENÓMENO	FORMACIÓN	ÁREA (HA)	COORDENADA X	COORDENADA Y	LOCALIZACIÓN
Dag1	Nicho	2,445	1042398,315E	897401,264N	Al occidente del municipio, al norte de la Quebrada Las Ángeles, cerca a la vía férrea. Foto
Dag2	Nicho	0,569	1042411,383E	897223,868N	Ubicada a 150 metros hacia el sur de la Dag1 y 300 metros aproximadamente al norte, de la Quebrada Las Ángeles.
Dag3	Cárcavas activas	3,889	1043300,09E	896822,488N	Al nor-orienté del municipio entre la vía a Buenaventura y el barrio El Povenir.
Dag4	Cárcavas activas	1,466	1044061,268E	896871,307N	Al nor-orienté del municipio a 550 metros aproximadamente de la Dag3, al orienté del barrio El Povenir.
Dag5	Nicho	0,725	1042400,474E	896587,526N	Al nor-occidente de la vía férrea, al sur de la Quebrada Las Ángeles aproximadamente a 300 metros.
Dag6	Nicho	0,547	1042429,93E	896468,619N	Al nor-occidente de la vía férrea y el barrio Bomberos, aproximadamente a 200 metros al sur de la Dag 5.
Dag7	Nicho	0,92	1041909,96E	896156,475N	Al occidente del municipio sobre una de las quebradas que llegan a la Quebrada El Cogollo, en donde termina el perímetro urbano a 100 metros aproximadamente del barrio la Esneda.
Dag8	Nicho	0,931	1042048,735E	896333,436N	A 100 metros aproximadamente de la Dag7, hacia el orienté sobre una quebrada que llega a la Quebrada El Cogollo en el barrio La Esneda.
Dag9	Nicho	1,206	1042168,498E	896244,556N	A 100 metros aproximadamente al orienté de la Dag8 en el barrio La Esneda. Al sur de Las Tres Cruces.
Dag10	Nicho	0,81	1042061,936E	895747,379N	Al sur-occidente del municipio sobre una quebrada que llega a la Quebrada El Cogollo al sur del barrio La Esneda.
Dag11	Nicho	0,549	1042321,838E	895781,336N	Al sur-occidente del municipio sobre una quebrada que llega a la margen derecha de la Quebrada El Cogollo al sur-orienté del barrio La Esneda.
Dag12	Nicho	1,071	1042499,471E	895696,372N	Al sur-occidente del municipio, en la margen izquierda aguas abajo del río Dagua en el extremo sur del barrio Gran Colombia.

Continuación de la Tabla 5.1...

Dag13	Cárcavas activas	0,15	1043417,084E	895869,909N	En las colinas bajas al oriente del municipio entre el barrio El Ricaurte y el Cementerio Católico.
Dag14	Cárcavas activas	0,514	1043635,854E	895901,43N	A 150 metros de la Dag13, entre el Taller Rural y el Cementerio Católico.
Dag15	Nicho	0,842	1042541,35E	895531,731N	Al sur-occidente del municipio, aguas abajo sobre la margen izquierda del río Dagua, frente a los Molinos de Dagua.
Dag16	Cárcavas activas	0,359	1043592,17E	895740,965N	En las colinas bajas al oriente del municipio aproximadamente a 100 metros del Cementerio Católico.
Dag17	Cárcavas activas	1,23	1043855,8E	895740,922N	En las colinas bajas al sur-oriente del municipio, ubicado entre el Taller Rural y aproximadamente 150 metros del barrio Buenos Aires.
Dag18	Nicho	0,208	1042681,95E	895476,626N	En la margen izquierda aguas abajo del río Dagua, frente a los molinos de la Harinera del Valle.
Dag19	Nicho	0,242	1042664,082E	895422,243N	Aguas abajo en la margen izquierda del río Dagua aproximadamente 150 metros al norte del Charco El Muerto.
Dag20	Nicho	0,407	1042583,213E	895400,464N	Aguas abajo en la margen izquierda del río Dagua a la altura del Charco El Muerto.
Dag21	Nicho	0,372	1042345,011E	895336,37N	Al sur-occidente del municipio aproximadamente a 200 metros del Dag20.
Dag22	Nicho	1,204	1042328,575E	895217,428N	Aguas abajo en la margen izquierda del río Dagua aproximadamente 50 metros al sur del Charco El Muerto.
Dag23	Cárcavas activas	1,029	1043217,438E	895364,632N	Al centro-oriente inferior del municipio aproximadamente a 500 metros del barrio Bella Vista.
Dag24	Cárcavas activas	2,783	1043673,134E	895252,019N	Pasa por el barrio Bella Vista al sur-oriente en las colinas bajas.
Dag25	Cárcavas activas	0,75	1043724,711E	895427,739N	Al nor-oriente de la Dag24 aproximadamente a unos 125 metros en uno de los brazos de una quebrada (sin nombre) que pasa por el sector. A unos 200 metros del barrio Bellavista
Dag26	Cárcavas activas	0,786	1043737,791E	895510,105N	Aproximadamente a unos 25 o 50 metros al norte de la Dag25. Al sur del barrio Buenos Aires.
Dag27	Hundimiento	0,293	1042567,52E	895621024N	Al sur del barrio Gran Colombia. Al occidente del río Dagua.

Los procesos morfodinámicos potenciales que pueden constituir amenaza en esta geoforma, son; las avalanchas provenientes de la cuenca hidrográfica alta de la quebrada Cogollo, los posibles flujos de suelo y detritus a lo largo de los nichos de erosión del frente montañoso, los cuales se ilustran en la Foto 5.8. Y los deslizamientos en la cuenca de la quebrada Cogollo, en especial en las laderas del valle aluvial.



Foto 5.8 Topografía escarpada al W. de Dagua. Cuenca hidrográfica de la quebrada El Cogollo y los remanentes de la peniplanicie al fondo arriba.

La falla de Dagua-Calima, corre a lo largo del cambio topográfico (abajo), marcado por las pendientes abruptas de las facetas triangulares. Hacia la parte media de la quebrada, se pueden observar algunos deslizamientos antiguos en la ladera izquierda. Vista al occidente.

5.10.1.1. Avalanchas potenciales

La cuenca hidrográfica de la quebrada Cogollo, la cual se muestra en la foto 5.9 con pendientes abruptas y muy inclinadas, roca fracturada, detritus y suelos residuales, se presta para la generación potencial de *avalanchas*, tal como parece que lo han registrado los depósitos caóticos con bloques de variado tamaño presentes en el *cono de deyección* de la quebrada, cerca de su desembocadura en el río Dagua; y algunos depósitos similares a lo largo del valle aluvial. Aguas arriba en la cuenca hidrográfica y hacia la parte topográficamente alta, se encuentran espesos remanentes de suelos residuales de la antigua peniplanicie y en la mayoría de las laderas abunda *detritus* de la Formación Espinal. La mayoría de ellos posiblemente requiere condiciones de altas precipitaciones con saturación y aumento de la presión de poros, para que lleguen a un estado crítico de estabilidad, gatillados por un episodio sísmico conexo. Por comunicación oral del ingeniero Oscar, hace unos 40 a 50 años ocurrió un episodio de avenida torrencial que destruyó numerosas viviendas.

Tal como se observa en la Foto 5.8 (arriba), a lo largo del cauce de la quebrada Cogollo, quedan evidencias de deslizamientos antiguos hacia el cauce, provenientes principalmente de la ladera izquierda. Estos materiales, en su momento, debieron taponar el flujo de la quebrada y el desbloqueo, como en la mayoría de los casos, conlleva al desarrollo de

avalanchas y avenidas torrenciales cuya magnitud generalmente depende del volumen de agua represado.



Foto 5.9 Deslizamiento traslacional muy antiguo, barrio Gran Colombia.

Nótese las viviendas hacia la pata del fenómeno. Vista al SW.

5.10.1.2. Deslizamientos

Es preciso destacar que a pesar de la *mala calidad* de la roca de la Formación Espinal, cercana al frente montañoso; con discontinuidades muy próximas entre sí, $RQD < 25\%$, ligeramente abiertas, onduladas y lisas, con brechas de falla locales, algo meteorizadas, con continuidad moderada y laderas empinadas; los *deslizamientos* no han sido muy frecuentes en un lapso de varios miles de años, tal como se deduce del Mapa 5.1. La explicación a este fenómeno, entre otros, posiblemente radica en parte, en que el sentido del buzamiento de las capas, por lo común hacia el Oeste, en este sector de la cordillera, no facilita dichos movimientos de masa en el frente montañoso.

Un deslizamiento posiblemente de tipo traslacional tal como se ilustra en el Mapa 5.4, y la Foto 5.9, corresponde a un fenómeno de remoción de suelo residual con fragmentos de roca, en una pendiente altamente quebrada, dejando arriba un escarpe de mayor pendiente. Otros fenómenos similares no se presentan sobre la extensión de las facetas triangulares, o el escarpe de falla, sobre la ladera que mira al río Dagua. A menor escala ha habido pequeños deslizamientos, no cartografiables hacia la base de la faceta triangular al sur del barrio GRAN COLOMBIA. Los depósitos de talus abundan a lo largo de la ladera izquierda del río Dagua. Estos fenómenos se encuentran por fuera de la zona de estudio,

pero hacen parte del contexto geológico y de amenazas potenciales en la región y ameritan un estudio detallado en el futuro.

5.10.1.2.1. Deslizamientos menores.

Deslizamientos menores locales, no cartografiados, se presentan en el barrio GRAN COLOMBIA en la margen izquierda del río Dagua y en el barrio LA CABAÑA, en la margen derecha del río Dagua alrededor de la carrera 14 con calle 13. De igual manera en el barrio LA ESNEDE, en el valle de la quebrada El Cogollo, en una zona más amplia, se han presentado deslizamientos de la ladera, tal como se muestra en el Mapa 5.1.

5.10.1.3. Nichos

Los nichos tienen longitudes que varían entre 100 y 400m, con anchuras promedio de 30m y profundidad de 10 a 15m. Algunos, hoy día, están auto-colonizados por arbustos, pero en la mayoría de ellos la erosión ha sido muy activa. Su forma típica en la zona se muestra en la Foto 5.10. La carrilera del ferrocarril, al Norte del barrio los BOMBEROS, podría eventualmente ser objeto de algún deslizamiento o derrumbe menor sobre la vía.

La abundancia de *nichos de erosión* en la ladera del escarpe de falla; sus áreas y otras propiedades no se cuantifican debido a que la posible amenaza se limita a la zona poco poblada, en la margen izquierda del río, enfrente de los Molinos de Dagua. Sin embargo, Es preciso mencionar que el fenómeno de *denudación general* del frente montañoso en el pasado geológico, ha sido muy activo, pues se debe recordar que las *facetas triangulares* son el resultado de prolongados períodos de erosión sobre el escarpe de falla. Proceso que no es muy evidente a simple vista y su cuantificación requiere de mediciones morfométricas detalladas y sistemáticas.



Foto 5.10 Nichos profundos de erosión lineal, sobre la faceta triangular de la margen izquierda de la Falla de Dagua-Calima.

Algunos nichos están colonizados por vegetación, tal como se observa en el paisaje, pero otros están expuestos al proceso erosivo. Hacia el pié de la ladera se han presentado deslizamientos menores de suelos que han afectado levemente algunas viviendas. Vista al occidente desde la carretera a Dagua.

5.10.2. Región al E del Río Dagua

El proceso dominante en esta región es la erosión en suelos residuales de diabasa, la cual se presenta principalmente en forma de cárcavas y en menor cantidad como surcos y nichos, y algunos fenómenos de erosión laminar.

5.10.2.1. Cárcavas de erosión

Al oriente del río Dagua, en las laderas onduladas de suelos residuales de la Formación Volcánica, el proceso erosivo más activo corresponde a *las cárcavas de erosión* de gran extensión longitudinal, en comparación con su ancho, las cuales se concentran hacia la parte sur oriental del la zona del Mapa 5.3. Las cárcavas son alargadas en el sentido del drenaje, localmente ensanchadas y por lo general con paredes verticales o escarpadas de 3 a 5m. Internamente desarrollan *nichos* o *surcos* menores de erosión y se forman por lo general en suelos profundos limo-arenosos, a lo largo de corrientes de agua poco caudalosas y secas en verano.

En la mayoría de ellas son notables los bloques de diabasa o núcleos residuales aislados por meteorización *bolar o esferoïdal*, tal como se ilustra en la Foto 5.11, que también muestra el desarrollo incipiente de algunos *estoraques* y la acumulación de bloques subredondeados, de tamaño que varía entre 0.90 y 1.30m. Su acumulación no se debe a transporte horizontal, como aparenta ser, aunque puede tener algún componente de él. Su

desplazamiento ha sido principalmente en la vertical, al ser removida por la erosión la matriz de suelo residual donde quedaron embebidos los fragmentos rocosos. El progreso de estas cárcavas es lento y se realiza mediante el mecanismo de desprendimientos casi verticales de suelo y bloques, paralelos a las paredes de la oquedad. Su profundización se realiza mediante arrastre del material deslizado.

Al norte de la zona, entre los barrios EL PORVENIR y SINDICAL, y cerca a la zona de expansión y de la carretera allí presentes, se desarrolla una gran cárcava de forma irregular, la cual se ilustra en la Foto 5.12, cuyas características se muestran en la Tabla 5.1.

En la zona de expansión urbana, situada al NE del barrio BUENOS AIRES, se presenta una faja de carcavamiento profundo, longitudinal, a lo largo de la quebrada que por allí corre. Esta cárcava hace parte de un conjunto, que también se ha desarrollado al Sur de dicho barrio y al SE del barrio BELLAVISTA, donde hay viviendas instaladas en el cauce de la quebrada Cola de Gurre, que podrían estar bajo amenaza en cuanto la quebrada corre por a través de tuberías subterráneas.



Foto 5.11 Procesos erosivos internos dentro de una cárcava, al SE del barrio Bellavista.

Nótese los núcleos residuales sueltos de rocas diabásicas y el desarrollo incipiente de estoraques protegidos por bloques de roca.



Foto 5.12 Conjunto de cárcavas con numerosos nichos y surcos, al NW del barrio El Porvenir.

La *zona de expansión* situada al sur del barrio BELLAVISTA, se encuentra afectada por varias cárcavas que convergen aguas abajo hacia la carretera que conduce a Cali. Sin embargo el lomo topográfico que hace parte de esta zona, está conformado en el subsuelo por roca diabásica muy cercana a la superficie, lo que aparentemente impide el avance del carcavamiento. En la Foto 5.13, se ilustra este fenómeno. Otras cárcavas menores rodean el sector del Cementerio Católico tal como se muestra en el Mapa 5.4.

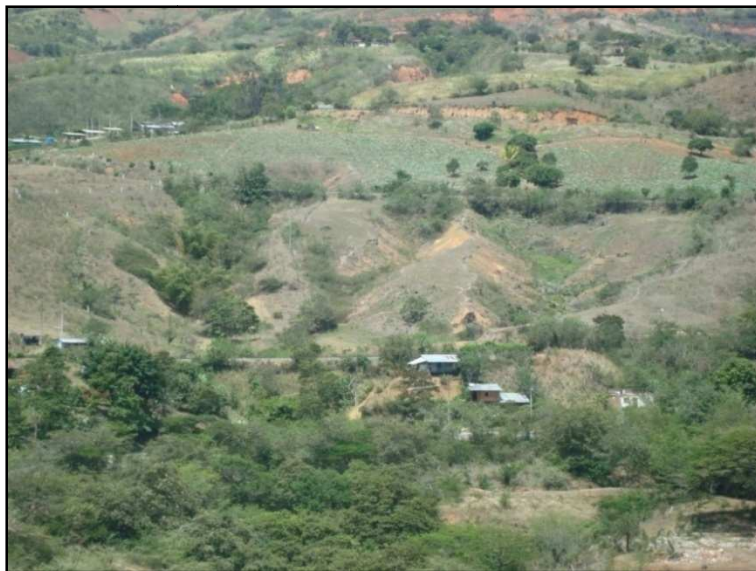


Foto 5.13 Vista cercana de la fotografía anterior.

Nótese la afectación severa del suelo por el carcavamiento remontante. La zona de expansión se encuentra próxima a la izquierda, por fuera de la fotografía. Vista al Oriente.

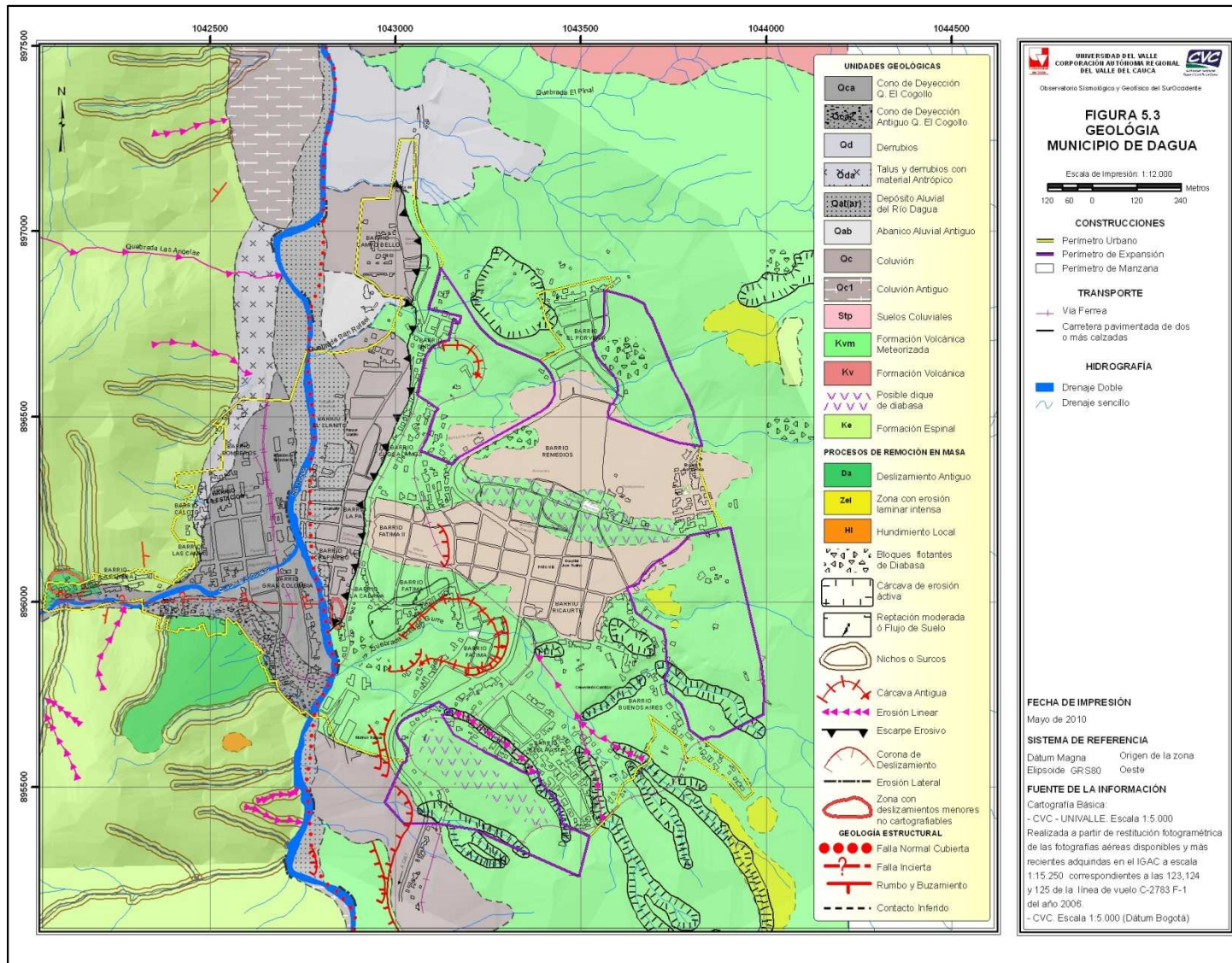


Figura 5.3 Mapa geológico de Dagua.

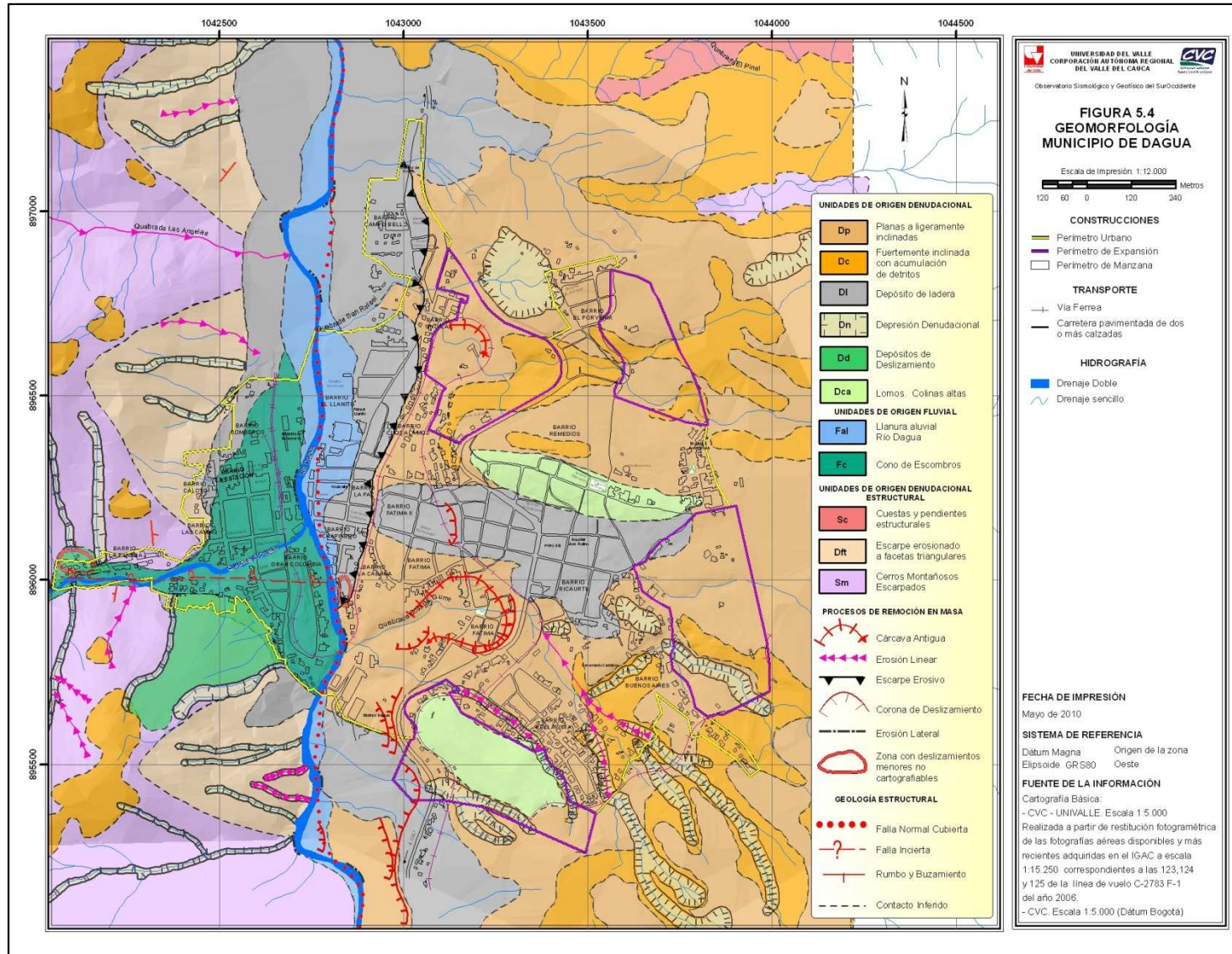


Figura 5.4 Mapa geomorfológico de Dagua.

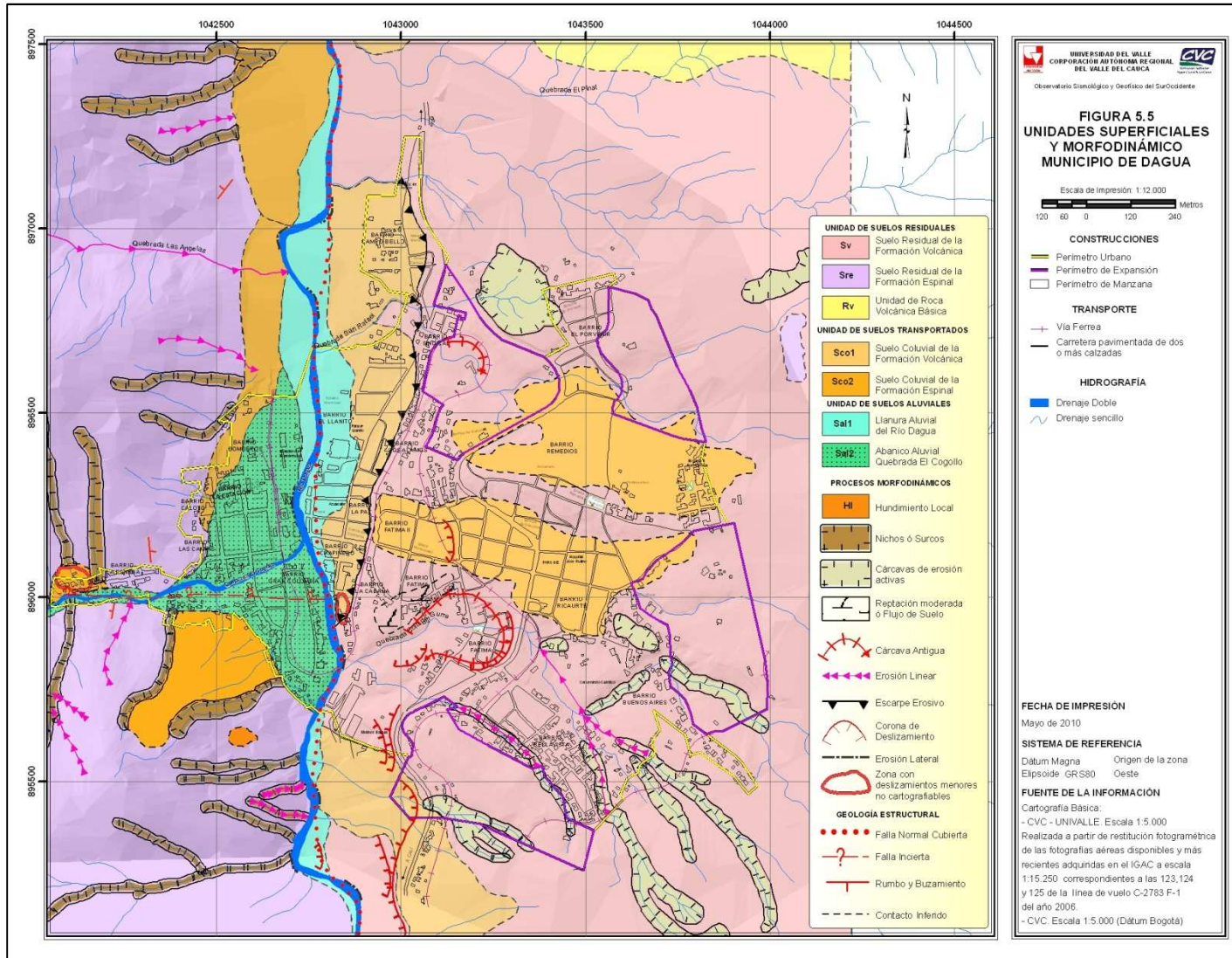


Figura 5.5 Mapa de unidades superficiales y morfodinámico de Dagua.

6. GEOFÍSICA

6. GEOFÍSICA

6.1. OBJETO

Se realizó una exploración con métodos indirectos sobre el terreno (ensayos de refracción sísmica), con el objeto de determinar la continuidad lito-estratigráfica del sector, alcanzándose los siguientes objetivos a saber:

- Explorar el subsuelo para definir los diferentes horizontes de velocidad de los materiales existentes en el sector.
- Determinar los espesores de dichos horizontes.
- Con los valores de velocidad definir la consistencia de dichos materiales.
- Definir los sectores donde se realizara la (Geotecnia) exploración directa del subsuelo.
- Definir la profundidad de perforación para la toma de muestras a ser analizadas en laboratorio.

6.2. LOCALIZACIÓN

La exploración se realizó en las zonas de expansión previstas por el Municipio en el Esquema de Ordenamiento Territorial, de acuerdo a los ajustes realizados. Se ejecutaron un total de 11 líneas de refracción sísmica.

La longitud de las líneas de refracción sísmica en superficie alcanzó los 130 pies, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros, el espaciamiento entre geófonos se realizó cada 3.00 metros.

6.3. METODOLOGÍA

Corresponde como cualquier exploración convencional a saber:

- Recolección de la información del sector.
- Visita preliminar al área del proyecto.
- Levantamiento geológico detallado del sector.
- Toma en campo de los respectivos ensayos geofísicos (líneas de refracción sísmica).
- Interpretación de los sismogramas obtenidos.
- Cálculo de las velocidades y profundidades de los diferentes horizontes explorados.
- Correlación geológico-Geofísica.
- Informe final.

6.4. GEOFÍSICA

Los métodos de prospección geofísica, se caracterizan por el estudio de las variaciones en el espacio de un parámetro físico de las rocas o los suelos. Entre los métodos más utilizados frecuentemente son la prospección eléctrica o de resistividades y la prospección sísmica por refracción. Constituyen medidas indirectas tomadas en superficie.

6.4.1. Equipos

El equipo corresponde a un Sismógrafo Modelo RAS-24 (Foto 6.1), con doce geófonos (Foto 6.2), conectados a través de un cable de emisión (Foto 6.3). Para generar las ondas sísmicas de los puntos específicos de las líneas sísmicas, se utilizó una platina de hierro y un “mazo” de 20 libras de peso (Foto 6.4).



Foto 6.1 Sismógrafo modelo Ras-24, para refracción sísmica.



Foto 6.2 Geófonos para recepción de ondas.



Foto 6.3 Cable de emisión.



Foto 6.4 Platina y mazo utilizado como fuente de energía.

6.4.2. Método Exploratorio

Previa a la iniciación de las labores de campo, se localizaron cada una de las líneas para realizar los ensayos geofísicos: Líneas de Refracción Sísmica. La prospección sísmica estudia la propagación en el subsuelo de una sacudida producida por una explosión. El parámetro medido es el tiempo de recorrido, función de la elasticidad de las rocas.

El dispositivo de medida consta en superficie de una fuente de explosión (E) y una línea de receptores sonoros (geófonos) regularmente espaciados y un registrador (sismógrafo) (Figura 6.1). En la línea de recepción los geófonos regularmente espaciados, están agrupados en 12 en cada línea, la longitud es función de la profundidad de investigación y de la precisión del trabajo en la prospección.

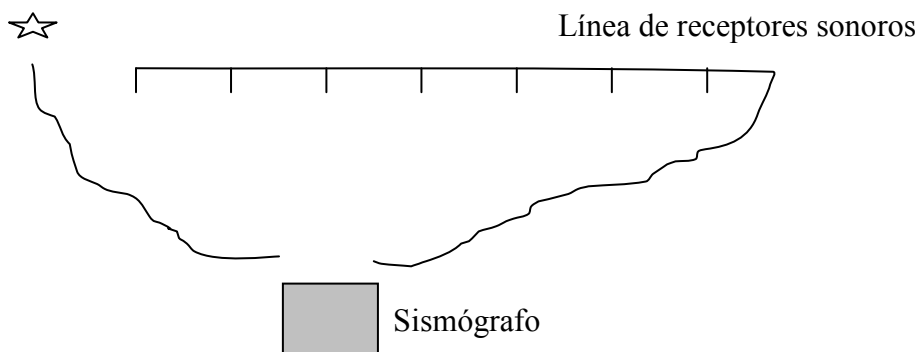


Figura 6.1 Dispositivo de prospección sísmica y disposición de los geófonos sobre el terreno.

Si en un punto del terreno se provoca una sacudida, ésta se propaga amortiguándose; el tiempo necesario para que llegue a los receptores (geófonos), dependiendo de la naturaleza y disposición de las formaciones geológicas. Los geófonos transmiten los impulsos que reciben al sismógrafo y el registro obtenido es un sismograma, para calcular dichos tiempos de recorrido se utiliza habitualmente el registro de la primera onda llegada al geófono considerado. Para el cálculo de las diferentes velocidades de las capas se realiza mediante una grafica de coordenadas X y Y a la cual se denomina dromocrónica.

6.4.3. Interpretación Geofísica

Se ejecuto mediante la interpretación de cada una de las dromocrónicas de los ensayos de refracción sísmica afinada en un programa de computación, se realizaron 11 líneas de refracción sísmica distribuidas en las zonas de expansión. Para la interpretación de los sismogramas se utilizó el programa SEISVIEW, la profundidad de exploración alcanza los 15.00 metros. Ver Figura 6.2 con la ubicación de las líneas sísmicas.

6.4.3.1. Línea sísmica L-1

Se corrió en la zona de expansión localizada en el extremo nororiental de la cabecera municipal, en el centro de dicha zona (Foto 6.5), en dirección E-W y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.3).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.20	243	Suelos residuales.
> 1.20	715	Roca meteorizada.



Foto 6.5 Localización Línea de Refracción Sísmica L-1, en el área de expansión nororiental.

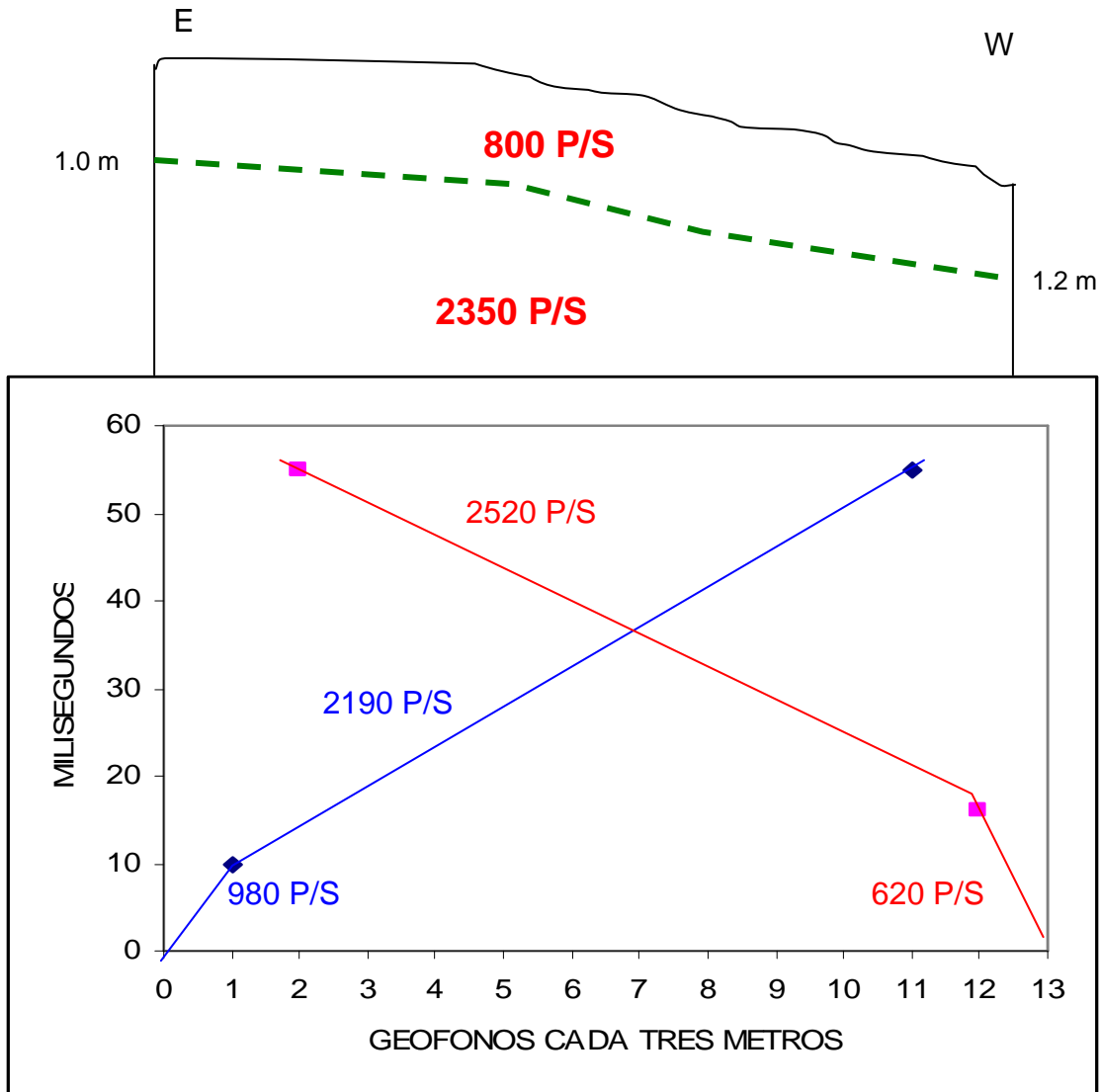


Figura 6.3 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-1.

Resultados que nos define dos horizontes de meteorización; el primero hasta una profundidad de 1.20 metros y velocidad de 243 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de color amarillento-rojizo con presencia de bolos de diabasa presentando meteorización “Esferoidal”, de tamaños hasta de 1.00 metro de diámetro, dichos suelos tienen una consistencia blanda. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada perteneciente a la Formación Volcánica con velocidad de 715 metros/segundo, de consistencia dura.

6.4.3.2. Línea sísmica L-2

Se corrió en la misma zona de expansión al norte de esta (Foto 6.6), en dirección E-W y longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.4).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 0.90	315	Suelos residuales
0.90 – (2.70)(3.90)	518	Roca meteorizada.
> (2.70)(3.90)	750	Roca muy fracturada.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 0.90 metros y velocidad de 315 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda a media. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada de consistencia media-dura, alcanza una profundidad de 2.70 a 3.90 metros y velocidad del orden de 518 metros/segundo. El tercer horizonte corresponde muy posiblemente a la roca muy fracturada perteneciente a la Formación Volcánica con velocidad del orden de 750 metros/segundo.



Foto 6.6 Localización Línea de Refracción Sísmica L-2, al norte de la línea de refracción sísmica L-1.

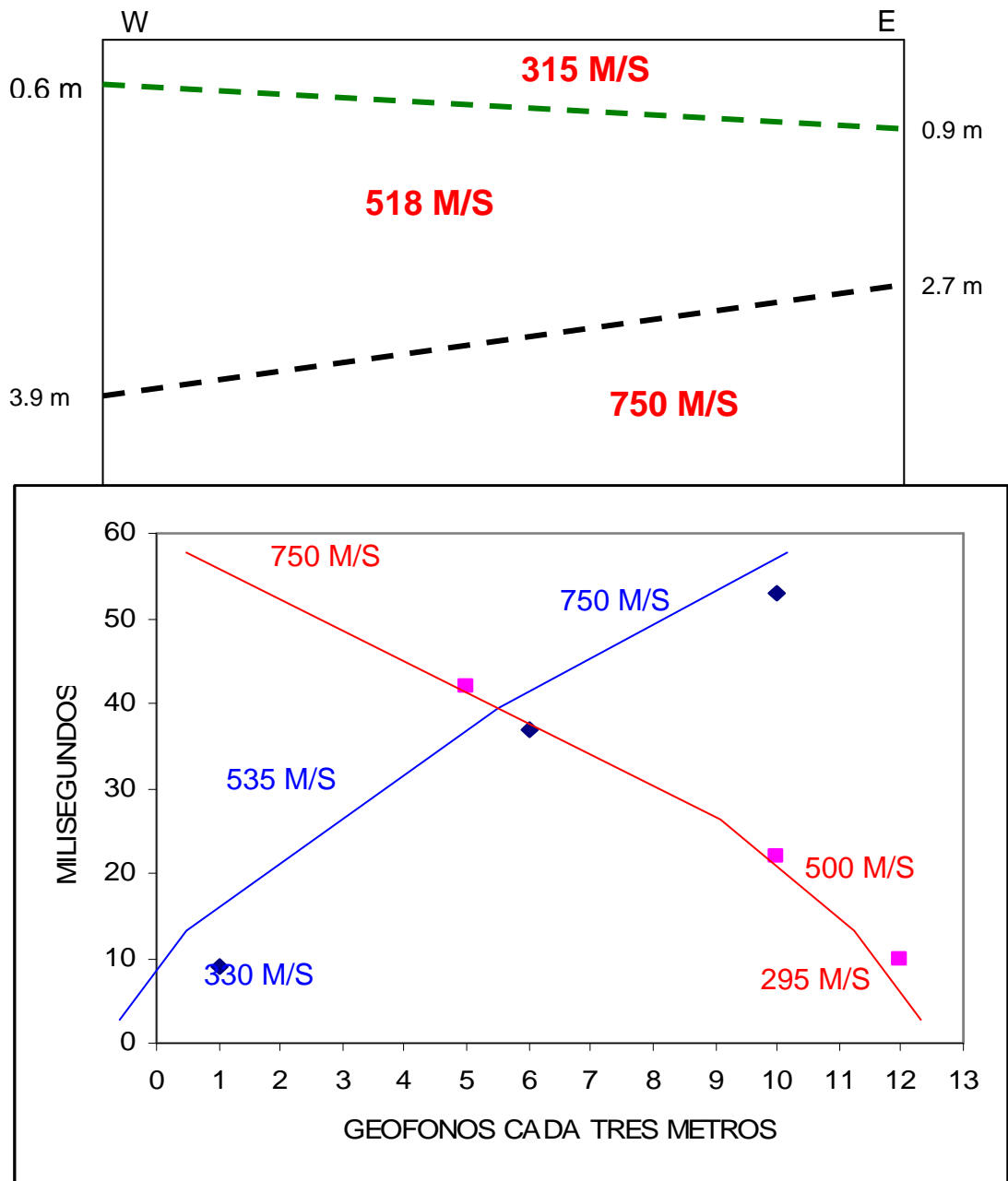


Figura 6.4 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-2.

6.4.3.3. Línea sísmica L-3

Se corrió entre el área de expansión oriental y nororiental (Foto 6.7), en dirección E-W y una longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.5).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – (1.00)(2.00)	310	Suelo residual.
2.00 – 5.30 E	600	Roca meteorizada.
> (1,00)(5.30)	950	Roca fracturada.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.00 a 2.00 metros con velocidad promedio del orden de 310 metros/segundo, correlacionable con suelos transportados color amarillento rojizo de consistencia blanda-media. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada con velocidad de 600 metros/segundo de consistencia dura, solamente se presenta al extremo oriental de la línea de refracción sísmica. El tercer horizonte corresponde al basamento rocoso, constituido por diabasas pertenecientes a la Formación Volcánica, de consistencia muy dura y velocidad de 950 metros/segundo.



Foto 6.7 Localización Línea Sísmica L-3, al oriente del casco urbano.

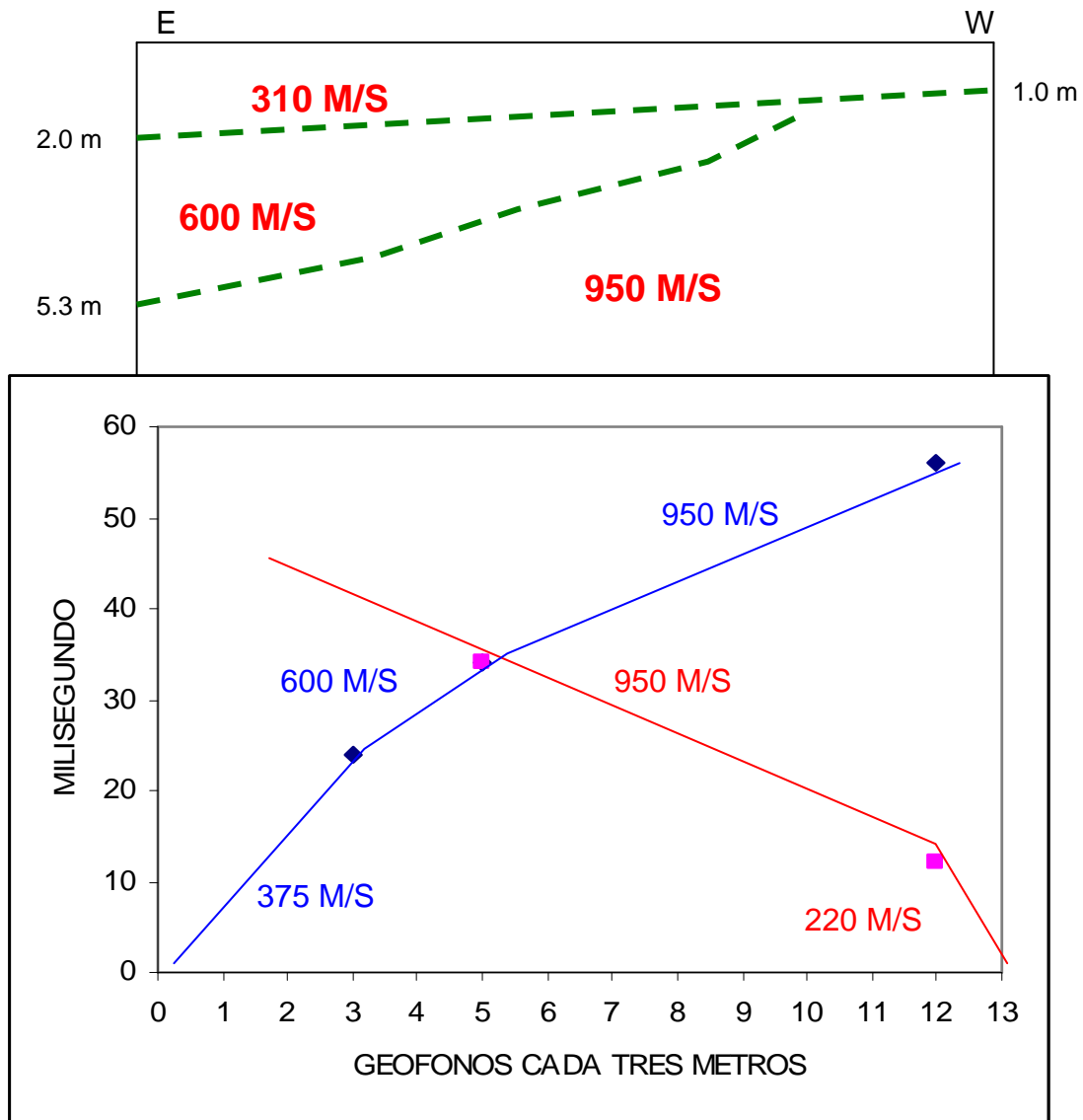


Figura 6.5 Dromocrónica Línea de Refracción sísmica L-3.

6.4.3.4. Línea sísmica L-4

Se corrió paralela a la línea sísmica L-3, al norte del plan de vivienda Fundevir (Foto 6.8), en dirección NW-SE y una longitud de 35 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.6).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	230	Suelo residual.
> 1.00	460	Roca Meteorizada.

Resultados que nos define dos horizontes de velocidad; el primero corresponde a suelos residuales de color amarillento, consistencia blanda, hasta una profundidad de 1.00 metro y velocidad del orden de 230 metros/segundo. El segundo horizonte corresponde posiblemente a la roca meteorizada de consistencia media con velocidad de 460 metros/segundo.

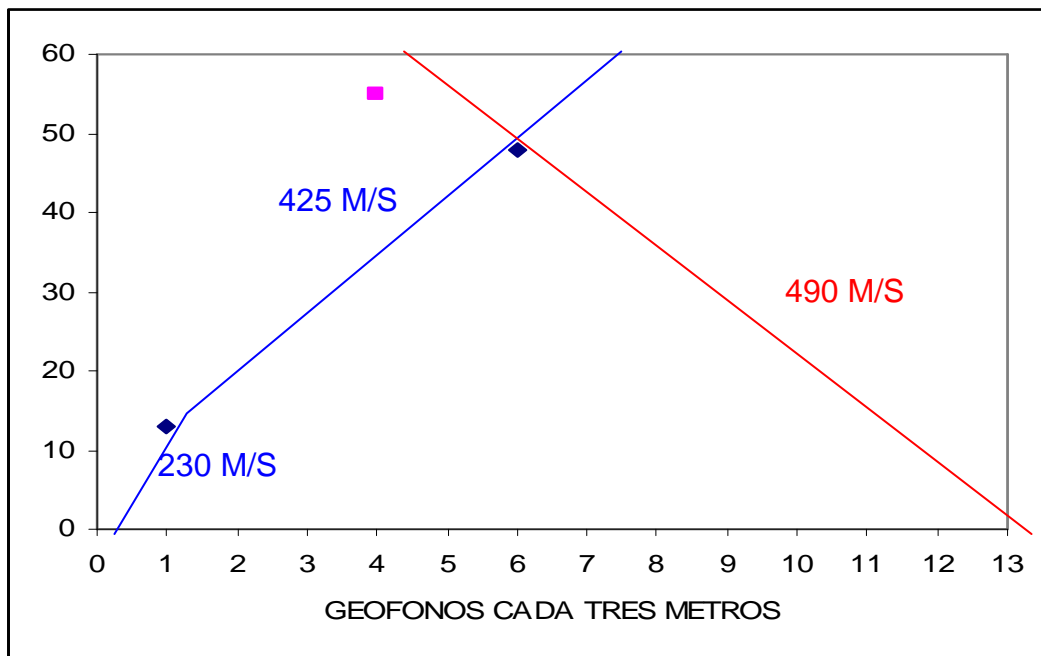


Figura 6.6 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-4.



Foto 6.8 Localización Línea de Refracción Sísmica L-4, en el área de expansión oriental de la cabecera municipal.

6.4.3.5. Línea sísmica L-5

Se corrió en el área de expansión oriental (Foto 6.9), en dirección NW-SE y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.7).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	195	Suelo residual.
1.00 – 6.00	295 a 480	Suelo residual.
> 6.00	620	Roca meteorizada.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.00 metro y velocidad del orden de 195 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales rojizos de consistencia blanda. En el segundo horizonte se define la presencia de un suelo residual de color amarillento-rojizo de consistencia blanda con velocidad de 295 metros/segundo en el extremo Suroriental de la respectiva línea de refracción sísmica, mientras que en el extremo noroccidental se define la presencia muy posiblemente del mismo suelo o la roca meteorizada con velocidad de 480 metros/segundo, durante la etapa de geotecnia nos permitirá corroborar o no la presencia de dicha capa. El basamento corresponde a la roca meteorizada perteneciente a la Formación Volcánica, con velocidad de 620 metros/segundo, de consistencia dura.



Foto 6.9 Localización línea de Refracción Sísmica L-5, en el área de expansión oriental de la cabecera municipal de Dagua.

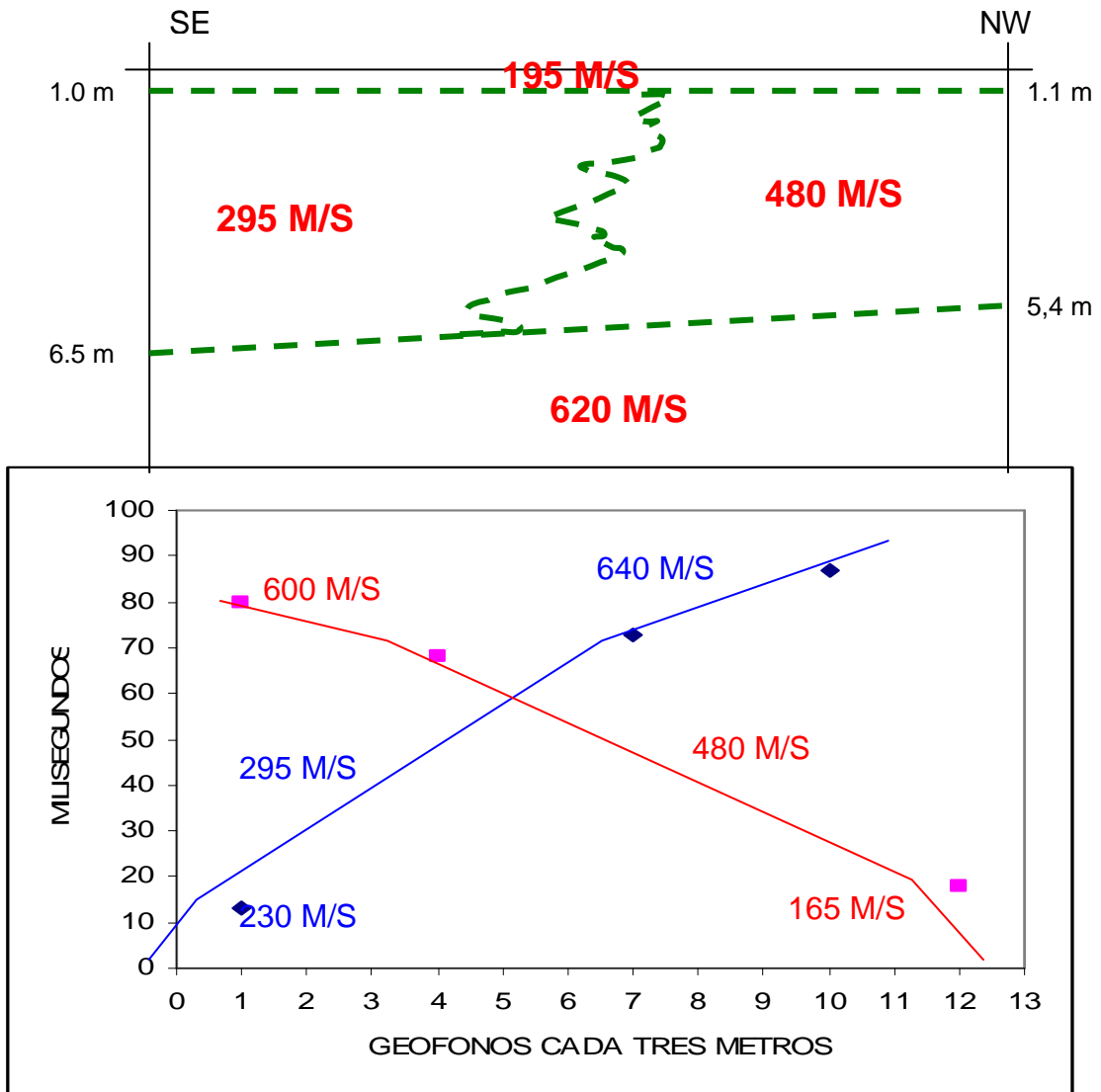


Figura 6.7 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-5.

6.4.3.6. Línea sísmica L-6

Se corrió en el área de expansión oriental, al occidente de la línea de refracción sísmica L-5 (Foto 6.10), en dirección E-W y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.8).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	240	Suelo residual
1.00 – (3.20)(6.00)	380	Suelo residual.
> (3.20)(6.00)	645	Roca meteorizada.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.00 metro y velocidad del orden de 240 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda. El segundo horizonte alcanza una profundidad entre 3.20 a 6.00 metros y velocidad promedio del orden de 380 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia media. El basamento está definido por la roca meteorizada perteneciente a la Formación Volcánica con velocidad de 645 metros/segundo, de consistencia dura.



Foto 6.10 Localización Línea Sísmica L-6, en el área de expansión oriental.

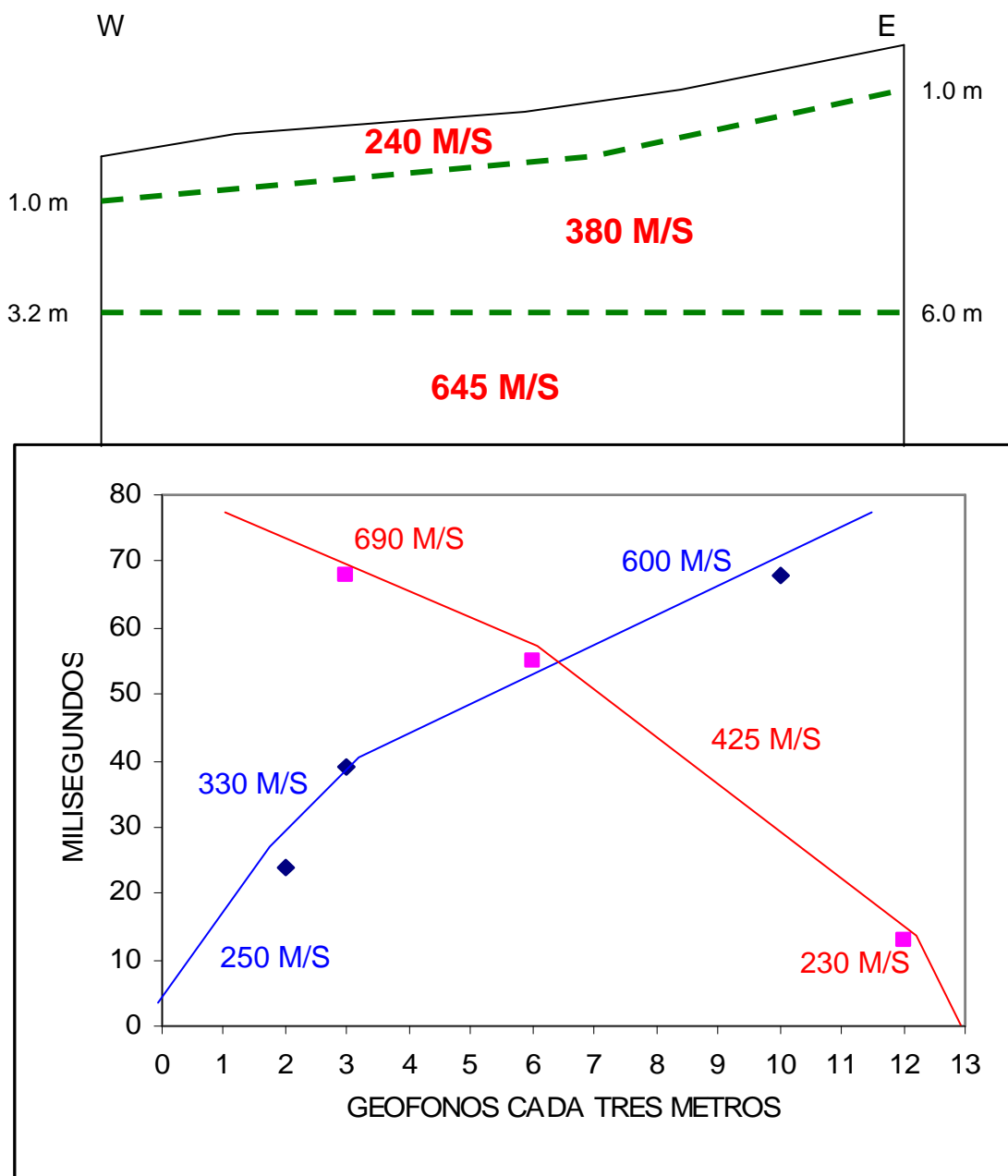


Figura 6.8 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-6.

6.4.3.7. Línea sísmica L-7

Se corrió en el área de expansión norte, paralela a la vía principal (Foto 6.11), en dirección W-E y una longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.9).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.60	125	Lleno mecánico.
1.00 – 4.00	350	Suelo residual.
> 4.00	835	Roca fracturada.



Foto 6.11. Localización Línea de Refracción Sísmica L-7, área de expansión norte.

Se definen tres horizontes de velocidad; el primero corresponde a actividad humano que consiste en llenos mecánicos, alcanzan una profundidad de 1.00 metro y velocidad del orden de 125 metros/segundo, de consistencia muy blanda. El segundo horizonte alcanza una profundidad de 4.00 metros y velocidad de 350 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda-media. El basamento rocoso está definido por rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica, con velocidad de 835 metros/segundo de consistencia muy dura.

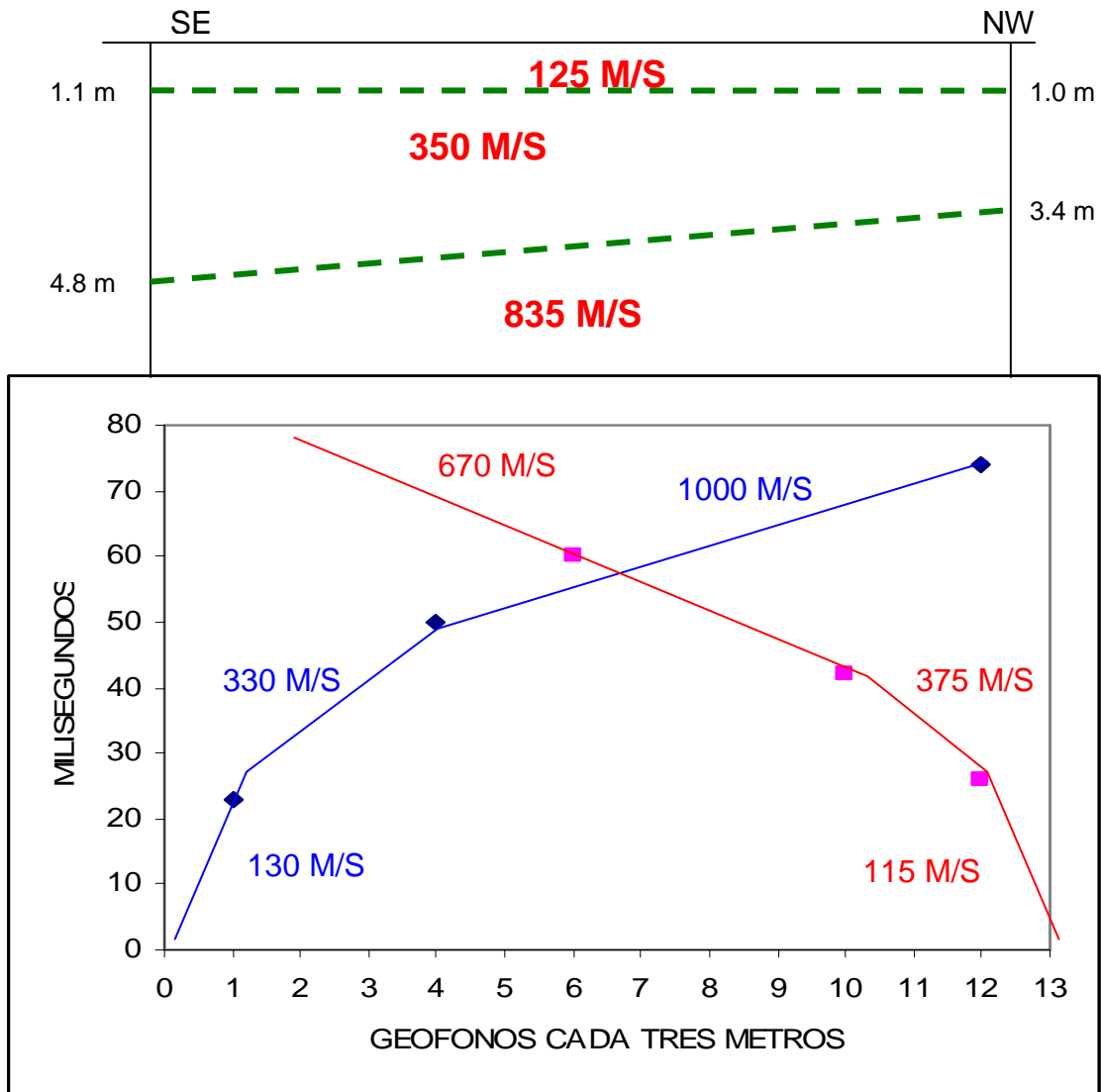


Figura 6.9 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-7.

6.4.3.8. Línea sísmica L-8

Se corrió al suroriente del área de expansión norte (Foto 6.12), en dirección NE-SW y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.10).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – (1.00)(2.00)	255	Suelo residual.
(1.00)(2.00) – (3.10)(7.70)	645	Roca meteorizada.
> (3.20)(7.70)	1195	Roca fracturada.



Foto 6.12 Localización Línea de Refracción Sísmica L-8, en el área de expansión norte de la cabecera municipal.

Resultados que nos indican la litología típica del sector, se definen tres horizontes de velocidad; el primero hasta una profundidad de 1,00 a 2,00 metros y velocidad de 255 metros/segundo, correlacionado con suelos residuales de consistencia blanda. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada de consistencia dura, alcanza una profundidad entre 3.10 y 7.70 metros con velocidad de 645 metros/segundo. El basamento rocoso está definido por las rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica.

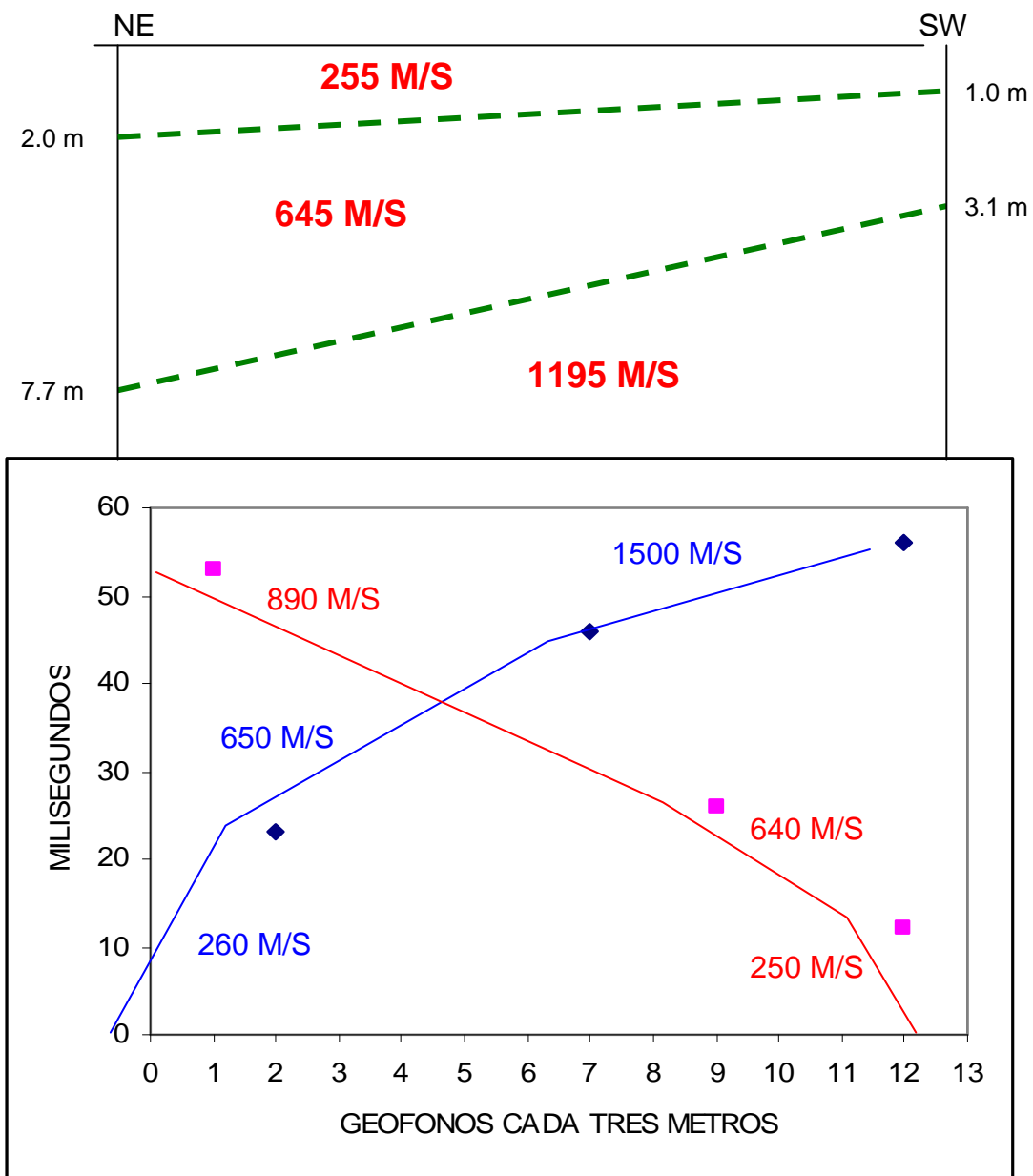


Figura 6.10 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-8.

6.4.3.9. Línea sísmica L-9

Se corrió en el área de expansión sur en la cabecera municipal de Dagua (Foto 6.13), en dirección NW-SE y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.11).

Profundidad (m.)	Velocidad (p/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	175	Suelo residual.
1.00 – (2.40)(4.40)	435	Suelo residual.
> (2.40)(4.40)	760	Roca meteorizada.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad, el primero hasta una profundidad de 1.00 metro y velocidad de 175 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia blanda. El segundo horizonte corresponde a los mismos suelos residuales pero de consistencia dura, alcanzan una profundidad entre 2.40 a 4.40 metros y velocidad promedio del orden de 435 metros/segundo. El basamento alcanza velocidades de 760 metros/segundo y se correlaciona con rocas diabásicas meteorizadas pertenecientes a la Formación Volcánica.



Foto 6.13 Localización Línea de Refracción Sísmica L-9, en el área de expansión sur de la cabecera municipal de Dagua.

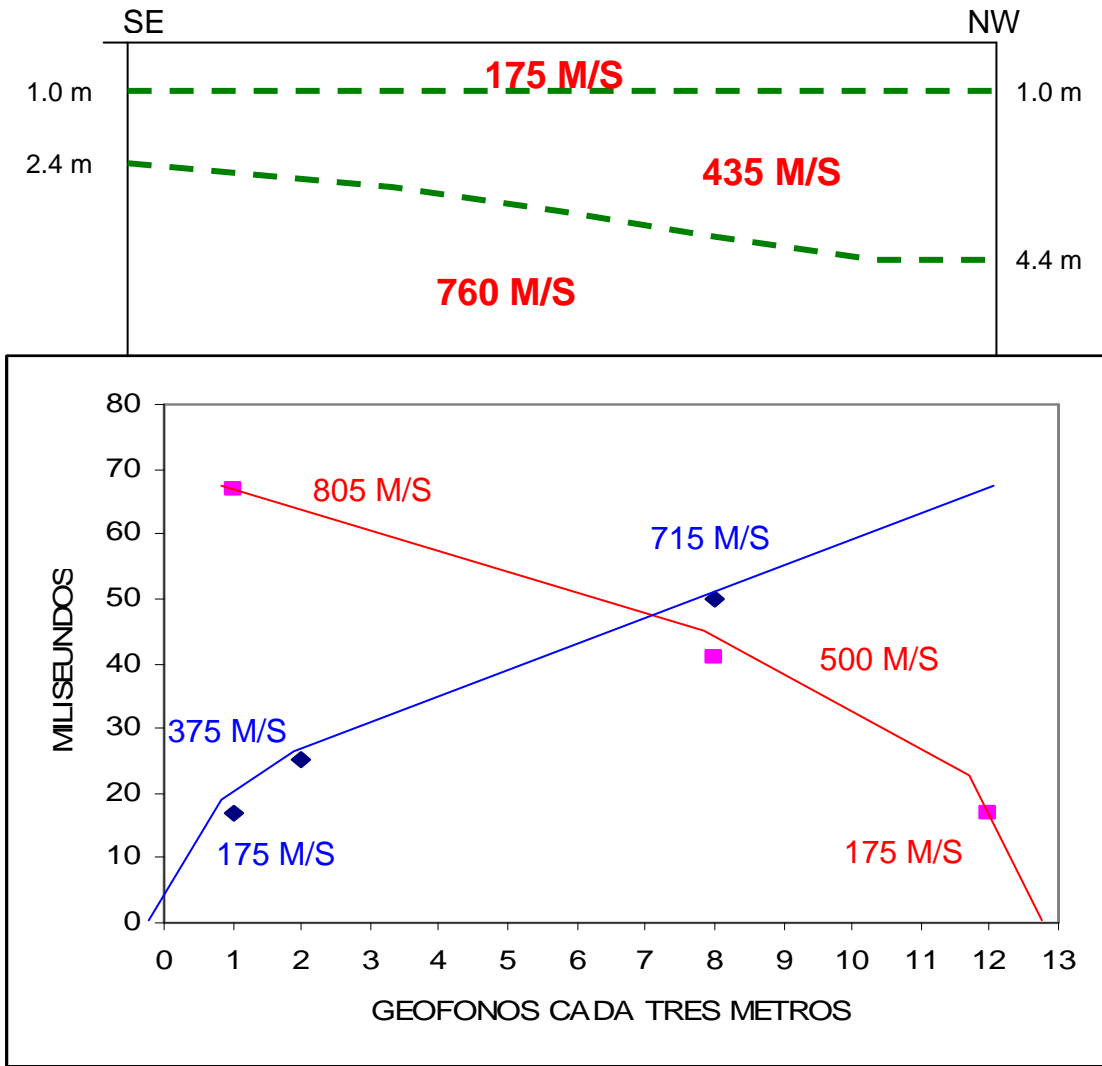


Figura 6.11 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-9.

6.4.3.10. Línea sísmica L-10

Se corrió paralela a la línea de refracción sísmica L-6 (Foto 6.14), en dirección NW.SE y una longitud de 38 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.12).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	360	Suelo residual.
1.00 – 2.60	760	Roca meteorizada.
> 260	1000	Basamento.

Resultados que nos define la litología típica del sector; el primer horizonte alcanza una profundidad de 1.00 metro y velocidad promedio del orden de 360 metros/segundo, correlacionable con suelos residuales de consistencia media. El segundo horizonte alcanza una profundidad de 2.60 metros y velocidad del orden de 760 metros/segundo, correlacionable con la roca meteorizada de consistencia dura. El basamento rocoso presenta velocidades de 1000 metros/segundo y se correlaciona con rocas fracturadas pertenecientes a diabasas de la Formación Volcánica.



Foto 6.14 Localización Línea de Refracción Sísmica L-10, al norte de Fundevir.

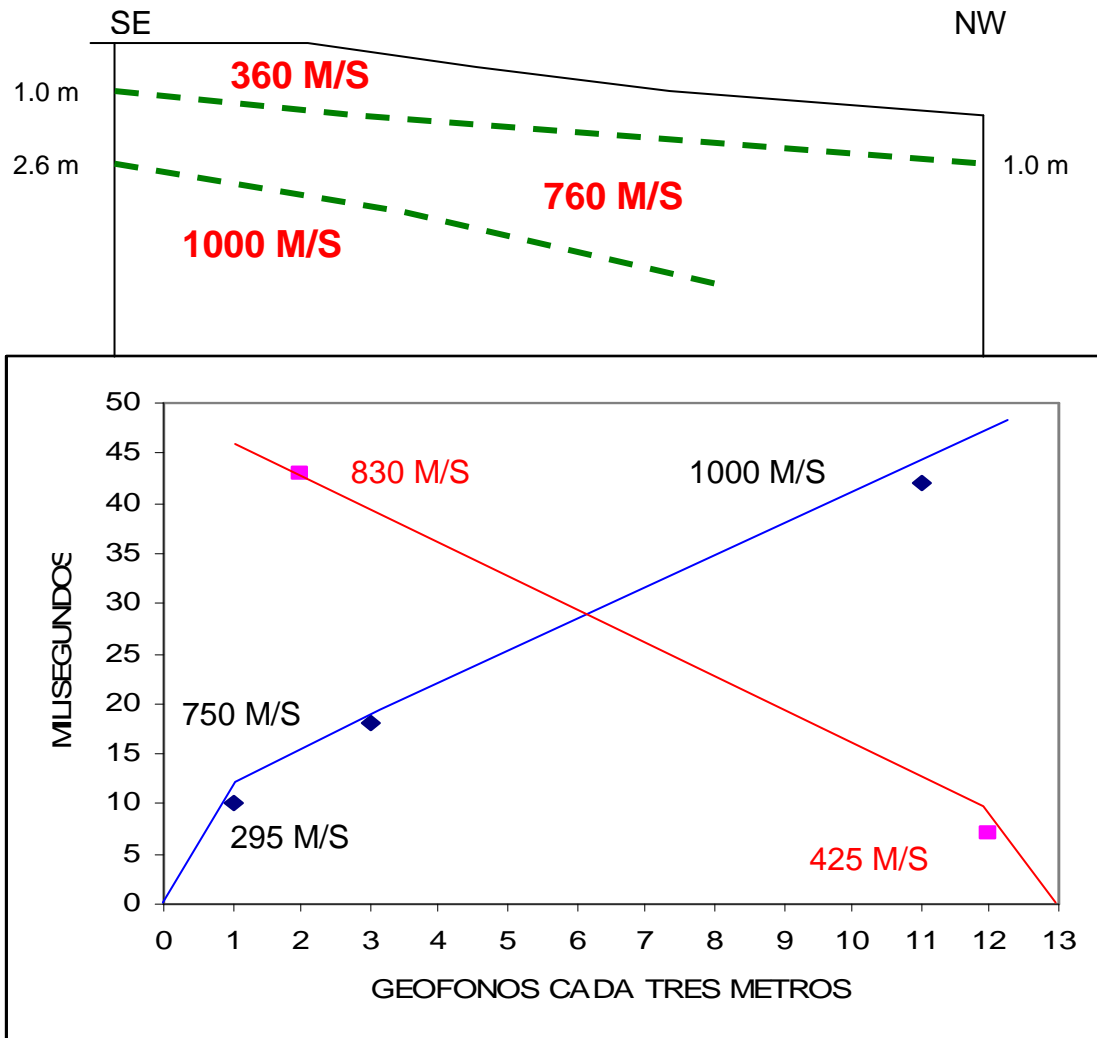


Figura 6.12 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-10.

6.4.3.11. Línea sísmica L-11

Se corrió en el área de expansión sur de la cabecera municipal (Foto 6.15), en dirección NW-SE y una longitud de 38 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.13).

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	335	Suelo residual.
1.00 – 2.80	865	Roca meteorizada.
> 2.80	960	Roca fracturada.

Se define la litología típica del sector; el primer horizonte corresponde a los suelos residuales con velocidad de 335 metros/segundo hasta una profundidad de 1.00 metro. El segundo horizonte corresponde a la roca meteorizada-fracturada, hasta una profundidad de 2.80 metros y velocidad de 865 metros/segundo. El basamento rocoso con velocidad de 960 metros/segundo, correlacionable con rocas diabásicas fracturadas de consistencia muy dura.



Foto 6.15 Localización Línea de Refracción Sísmica L-11, en el área de expansión sur de la cabecera municipal.

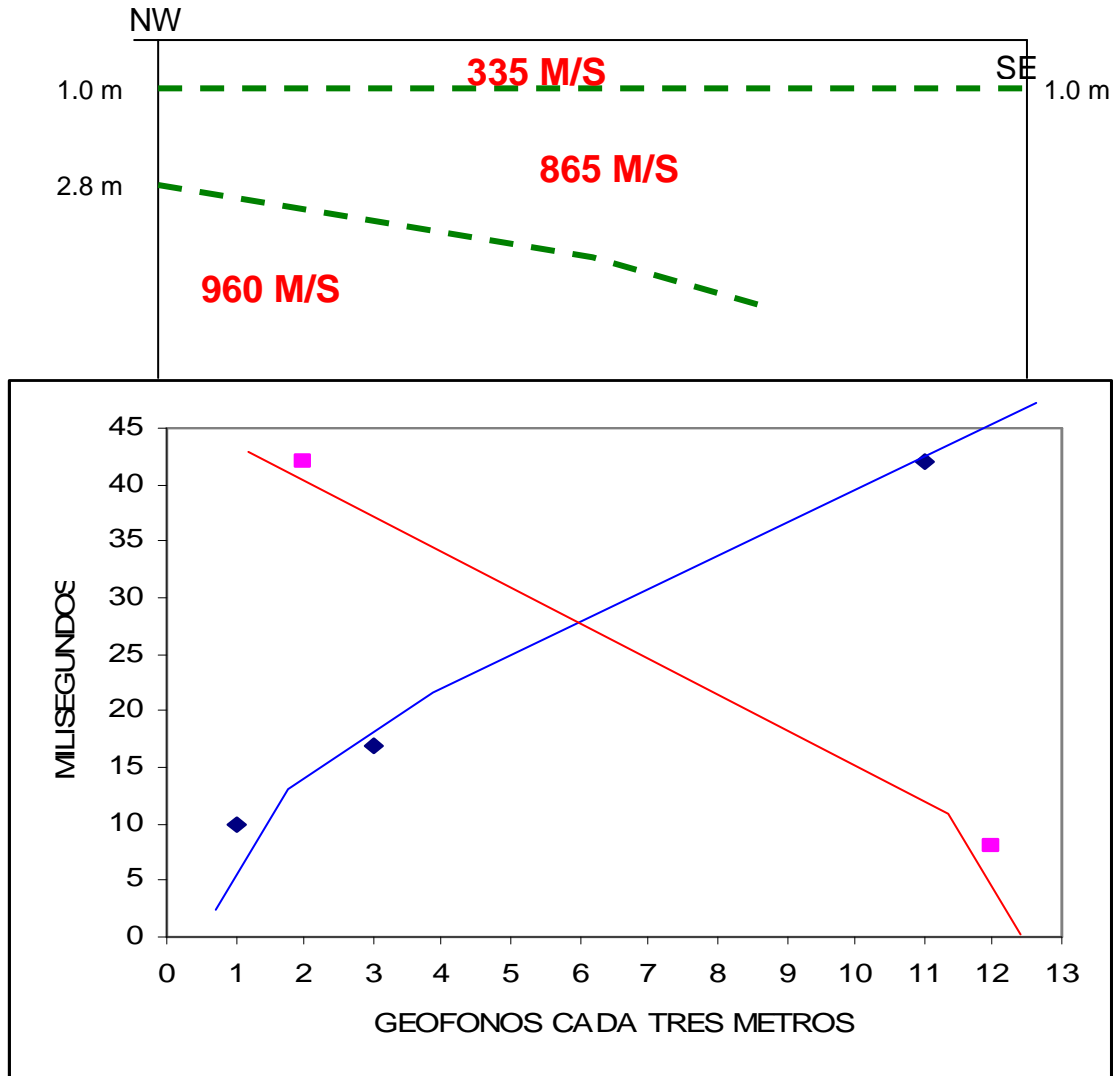


Figura 6.13 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-11.

7. HIDROLOGÍA

7. HIDROLOGÍA

El presente informe es resultado del trabajo realizado por el grupo de Hidrología en el municipio de Dagua en el marco del proyecto “Zonificación de Amenazas y Escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión de los Municipio de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión” (MIDAS). Entre las actividades realizadas por el grupo de hidrología para el municipio de Dagua, se encuentran, la revisión de información secundaria, se recolectó y analizó información hidrometeorológica de estaciones cercanas, para lo cual se consultaron algunas instituciones como CVC, CENICAFE, SMURFIT Cartón de Colombia e IDEAM.

Se realizaron dos visitas al municipio, la primera de reconocimiento y la segunda con el fin de analizar el uso del suelo, la infiltración y los perfiles de suelo, además se aforaron El Río Dagua y la Quebrada el Cogollo con el fin de generar algunas de las entradas de los modelos hidrológicos e hidráulicos, utilizados para analizar el impacto de las mismas, sobre el municipio. Con los datos de las estaciones seleccionadas se realizó un análisis temporal y espacial de la precipitación para determinar precipitaciones máximas, el régimen de humedad en la zona, también se generaron algunos mapas con las isoyetas para el municipio y por último se hizo el análisis de intensidad frecuencia y duración de las lluvias máximas.

7.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN

7.1.1. Información hidrológica recopilada

La Cuenca Hidrográfica del Río Dagua se encuentra ubicada al occidente del Departamento del Valle del Cauca, en jurisdicción de los municipios de Restrepo, La Cumbre, Dagua, Buenaventura, Restrepo, Vijes y Yotoco. Tiene una extensión aproximada de 1401,21 km² de los cuales 572,20 km², corresponden al municipio de Dagua, equivalentes al 40,83% del área total de la cuenca. Geográficamente está ubicada entre las coordenadas 3° 20' a 3° 53' latitud norte y 76° 22' a 77° 05' longitud oeste. Limita por el norte con el divorcio de aguas del Río Calima, por el sur con el divorcio de aguas del Río Anchicayá, por el oriente con el divorcio de aguas del Río Cauca y por el occidente con el Océano Pacífico en el cual desemboca finalmente.

El municipio de Dagua tiene un área total de 899 km², de los cuales 572,2 km² corresponden a la Cuenca del Río Dagua equivalentes al 63.65% del territorio municipal, y el 36.35%, del territorio del municipio de Dagua corresponde a la Cuenca del río Anchicayá.

En la parte alta de la cuenca Dagua se presentan suelos profundos, con alta acumulación orgánica, pH ácido, textura entre media y gruesa, bajo contenido de fósforo y bases, cuya consistencia es frágil, porosa, con gran capacidad de infiltración, permeabilidad, percolación y retención de humedad. Estas características muestran a nivel general suelos de mediana a baja fertilidad y de fácil proceso erosivo.

7.2. MEDICIONES Y DETERMINACIONES DE CAMPO

7.2.1. Visita 1; Reconocimiento de la zona de estudio

La primera visita realizada al municipio de Dagua tuvo la finalidad de socializar el proyecto a las autoridades locales de esta localidad. En la Foto 7.1 se presenta reunión de socialización del proyecto con el señor alcalde y el jefe de planeación.



Foto 7.2 Reunión con personal de planeación municipal de Dagua.

Otros de los propósitos de esta primer visita fue el de recolectar información básica existente en entidades como la CVC y la Alcaldía municipal, y a su vez definir la zona urbana y el área de expansión. En horas de la tarde se hizo un recorrido por el casco urbano y la zona de expansión del municipio de Dagua, con el acompañamiento de funcionarios de la CVC.

Una vez se observó la cabecera desde el mirador de las tres cruces el grupo se dirigió a la quebrada El Cogollo la cual genera problemas por inundaciones. En la Foto 7.2 se puede observar la desembocadura de la quebrada el Cogollo la cual se señala con la flecha roja tomada desde el puente Chapinero sobre el Rio Dagua.



Foto 7.2. Desembocadura de la quebrada el Cogollo al río Dagua; Tomada desde el puente Chapinero.

Dentro de los aspectos que se observaron que generan riesgos a la población, uno de lo más preocupantes es la invasión de banca del río, lo cual pone en peligro a las personas que allí habitan, en la siguiente foto se logra apreciar que algunas viviendas de 1 y 2 pisos invaden el cauce del río Dagua.

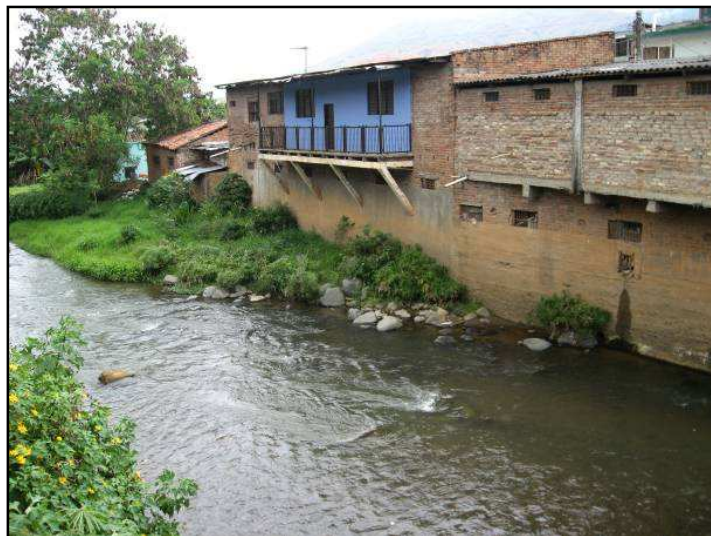


Foto 7.3 Invasión de viviendas en el lecho del río Dagua; Tomada desde el puente Chapinero.

Otra de las quebradas que se visitó fue la quebrada San Rafael, ver Foto 7.4, la cual en época de lluvias presenta amenaza por inundaciones. En esta quebrada se observó falta de mantenimiento y limpieza, esta situación se agudiza más ya que algunas personas acostumbran arrojar basuras y escombros a ella.



Foto 7.4 Quebrada San Rafael.

7.3.2. Visita 2; Reconocimiento del uso del suelo

En la visita técnica el día 2 de septiembre de 2009 se realizó un recorrido por la zona rural y urbana del municipio de Dagua con la finalidad de observar el uso actual del suelo y algunos problemas de deslizamiento que presenta la zona.

El recorrido comenzó por la vía al Mar que viene desde Cali, después de pasar el alto del Kilómetro 18, se toma a mano izquierda por el kilómetro 27 por la vía a Tocotá, el sector se encuentra en gran porcentaje parcelado con predominio de cultivos a pequeña escala tales como el maíz, plátano, café y frijol, además de algunas fincas utilizadas para recreación (Ver Foto 7.5).

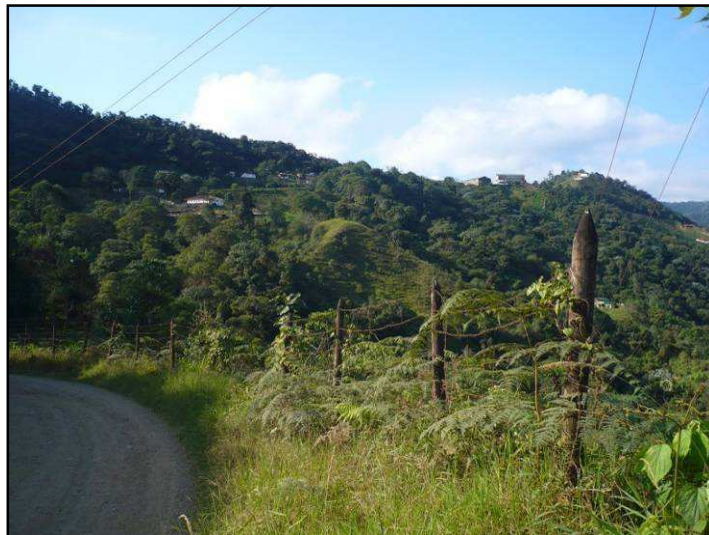


Foto 7.5 Sector de Tocotá parte alta de la cuenca Dagua.

En la carretera que de Tocatá conduce al Queremal se observó diferentes cultivos como: Piña, café, plátano, maíz, ají y pastos, en esta zona también es importante la actividad pecuaria principalmente la cría de pollos y ganado a pequeña escala.



Foto 7.6 Cultivos de maíz y lulo vereda el Jordán.



Foto 7.7 Cultivos de piña vereda el Machado.

En este recorrido también se observó algunos problemas de erosión en la parte alta de la cuenca Dagua que se presentan principalmente por el aumento intensivo de algunos cultivos en detrimento del bosque natural, uno de los cultivo que causa más daño es el de la piña, ya que se cultiva en zona de ladera sin control alguno, lo que facilita los procesos de remoción de suelos.



Foto 7.8 Problemas de erosión vereda el Machado.

Además del reconocimiento de los usos del suelo en la zona alta de la cuenca que amenaza el casco urbano y las aéreas de expansión del municipio de Dagua, se observaron algunas de las características climáticas e hidrológicas al tiempo que se visitaron algunas de las estaciones más cercanas al área de estudio.

7.3.3. Uso actual del suelo

Durante las visitas técnicas al municipio de Dagua, se realizó igual que en la zona alta de la cuenca pero de forma más detallada, un reconocimiento del uso del suelo en zona urbana y en la de expansión teniendo en cuenta la cartografía de usos del suelo entregada por la CVC y algunos recorridos diseñados para dicho reconocimiento.

En dichos recorridos se pudo hacer la revisión de usos de suelo con gran detalle evaluando permanencias y cambios del uso del suelo en el área urbana y de expansión del municipio, esta última usualmente se desarrolló a partir georeferenciación de puntos con GPS y fotografías (aéreas y en el campo) para delimitar áreas y cambios de uso. Además, se adecuaron las delimitaciones previas y establecidas en el trabajo de campo a un sistema único de clasificación de uso de suelo.

Debido a la particularidad y diversidad topográfica del municipio, se hizo una revisión de este mapa de uso actual de suelo. Ya que las zonas delimitadas como *Predio urbano no edificado* serán corroboradas por el experto en geomorfología, Gabriel Paris.

Mediante trabajo de campo y cartografía básica se conceptualizaron previamente algunas categorías de uso de suelo de la siguiente manera:

- **Agrícola:** las tierras, aguas y bosques cuyo uso corresponde a las actividades del sector primario de manera permanente, por lo que son susceptibles de explotación renovable agrícola, pecuaria, piscícola o forestal.

- **Dotación:** comprende las instalaciones para alojar las funciones requeridas como satisfactores de necesidades comunitarias. Se pueden incluir dentro de esta categoría. Se consideran como usos condicionados, requiriendo para su aprobación, la revisión de su localización, la determinación de las características del uso propuesto y su compatibilidad con los usos circundantes asegurándose de que no cause perjuicio a los vecinos.
- **Industria:** es la unidad económica de producción o transformación de materias primas; propiedad de uno o varios individuos acreditada como tal por constancia o certificación del Ministerio de Industria. Las actividades industriales se clasifican en diferentes categorías, que van desde la industria artesanal hasta la industria pesada.
- **Comercial:** Entiéndase por uso comercial la actividad destinada al intercambio de bienes al por mayor o al detal.
- **Residencial:** Todo terreno que de acuerdo con el concepto general de urbanización se adecue específicamente para el uso principal de la vivienda, constituye un desarrollo urbanístico residencial; éstos se podrán desarrollar en cualquier parte del área urbana, con excepción de las zonas que específicamente se restringen por razones de incompatibilidad con otros usos asignados, inestabilidad, seguridad u otras razones ambientales.
- **Mixto:** En estas zonas se admiten predominantemente las actividades relacionadas con la generación de empleos y comprenden indiscriminadamente al conjunto de actividades heterogéneas como comercio, servicios, industrias no molestas, institucionales e incluso residenciales de mediana y alta densidad, ya sea aisladas o combinadas en una misma parcela.
- **Predio no edificado:** son predios urbanos cuyas construcciones o edificaciones tengan un área inferior al 20% al área del terreno y un avalúo catastral en el que su valor sea inferior al veinticinco por ciento (25%) del valor del terreno.

Se decidió por trabajar con levantamiento topográfico, planimétrico y poligonal directamente debido a las características y extensión de la zona urbana que se quería representar.

Ya establecidas las categorías que van a ser asignadas para la realización del mapa de usos de suelo, mediante el trabajo de campo y los levantamiento de información espacial antes mencionadas, se obtuvo información georeferenciada de asentamientos urbanos y sus respectivos atributos. Posteriormente se utilizó el programa ArcGIS 9.2 para digitalizar las coberturas y definir el sistema de coordenadas.

Cabe mencionar que el centro urbano de la ciudad donde se desarrollan concentraciones comerciales se encuentra en la parte baja del cañón de Dagua, a esta zona se le asignó un atributo de mixto ya que dicha actividad se combina con usos residenciales.

Por la morfología de la ciudad se puede deducir que Dagua no ha tenido un crecimiento urbano radial, incluso grandes zonas de suelo urbano no edificable están presentes entre el área urbana como se ve en la zona aledaña al ferrocarril al norte de la ciudad. En el municipio de Dagua, ahí poca presencia (casi nula) de actividad agrícola en el área municipal debido a la baja calidad de los suelos sobre todo en zonas de ladera como se muestra en la Foto 7.10.

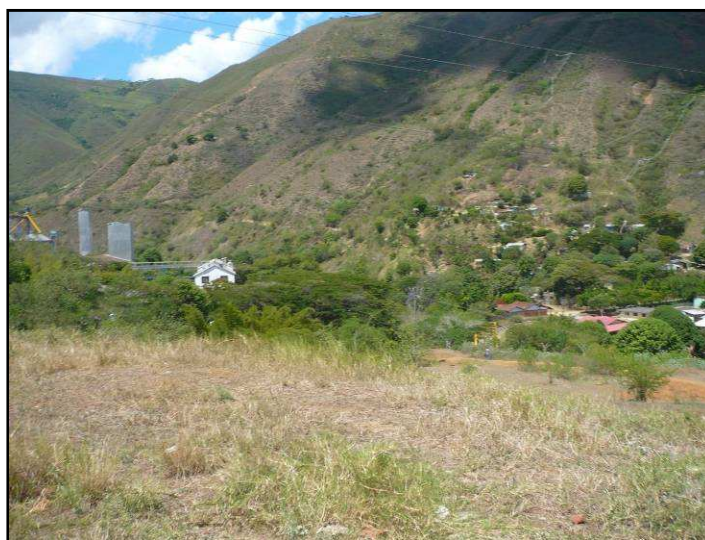


Foto 7.9 Zona de invasión cerca al Molino de la harinera de Dagua.

A continuación se presenta el mapa de uso actual del suelo, ver Figura 7.1 y Mapa 7.1 y su clasificación en la Tabla 7.1 de acuerdo al área y porcentaje de la zona urbana y de expansión.

Tabla 7.1. Clasificación de los suelos de la zona urbana y expansión del municipio de Dagua

Uso del suelo	Áreas (m ²)	%
Dotacional	120174.75	9.8
Industrial	30612.72	2.52
Mixto	26583.72	2.19
Predio urbano no edificado	484748.11	39.88
Residencial	553291.69	45.52
Total	1215410.99	100

Los mayores porcentajes de área de los usos del suelo son los del uso residencial y los predios urbanos no edificados. La distribución de usos de suelo corresponde a un

crecimiento de la ciudad desde el centro histórico hasta el eje de la vía al mar. El municipio no presenta gran dinámica comercial evidenciada en el porcentaje casi nulo de comercio a un nivel de manzana, sin embargo en el centro se presentan gran cantidad de comercio y usos residenciales combinados en las casas. En el caso de la vía al mar se presentan restaurantes y algún comercio de servicio pero no en una dimensión que opaque el uso residencial que presentan esas manzanas. El comercio y la agricultura son nulos a una proporción de manzanas, mientras que la industria es representada por la harinera el Molinos que se encuentra al sur de la ciudad.

7.3.3.1. Levantamiento complementario de cobertura de suelo

De acuerdo a las necesidades técnicas del grupo de geotecnia, se realizó un levantamiento de coberturas del suelo en el área delimitada por la ventana usada por el grupo de geología. Se tomaron como base la cartografía de uso actual del suelo, generado por el grupo de hidrología (en el mismo proyecto) y cartografía base disponible en el proyecto. Ver Figura 7.1 y Mapa 7.1.

Teniendo en cuenta los elementos anteriores se diseñaron unos recorridos para levantar la información. Con una buena identificación de las curvas de nivel como referencia se pudo hacer el levantamiento de las coberturas con un buen nivel de detalle y precisión. Una vez establecidas las categorías que van a ser asignadas (Ver Tabla 7.2), para la realización del mapa de usos de suelo, mediante el trabajo de campo y los levantamiento de información espacial antes mencionadas, se obtuvo información georeferenciada de asentamientos urbanos y sus respectivos atributos. Posteriormente, se utilizó el software ArcGIS 9.3 para digitalizar las coberturas y definir el sistema de coordenadas.

Tabla 7.2. Categorías de Uso del suelo

Pastos
Rastrojo
Bosque
Cultivos
Asentamientos

Se contactaron personas que pudieran orientar el desarrollo de la salida a los sitios más indicados para obtener un panorama amplio del municipio y sus alrededores, además se visitó la alcaldía, la división de Planeación municipal y la CVC y se definieron unos puntos estratégicos a visitar para obtener una buena visual del municipio.

Desde las Tres Cruces se observó el oriente y sur del municipio y se rectificó la cobertura de suelo con el mapa de uso del suelo, se encontró que al oriente predominan los pastos y rastrojo. Se clasificó como bosque a la vegetación al margen de las quebradas, sin embargo esta no es densa. (Ver Fotos 7.10 y 7.11).

En las márgenes del río Dagua, en la quebrada El Cogollo y las corrientes de agua que la alimentan predomina cobertura boscosa. Se aprecian asentamientos en la margen izquierda aguas abajo de la quebrada El Cogollo. (Ver Fotos 7.12y 7.13).

Se realizó un recorrido por el cementerio católico y el barrio Buenos Aires para observar el occidente del municipio, identificando coberturas de pasto, un área poco significativa de bosque al margen de las corrientes de agua y cultivos de piña. (Ver Foto 7.14) También se recorrió el municipio hacia su parte norte y se encontró que la cobertura principal corresponde a pastos, cultivos de piña y en menor proporción de caña; en la quebrada Las Angelas se aprecia bosque de ribera (Ver Foto 7.15).



Foto 7.10 Vista al oriente.



Foto 7.11 Vista al nor-oriente.



Foto 7.12 y 7.13 Quebrada El Cogollo.



Foto 7.14 Vista al occidente desde el barrio Buenos Aires.



Foto 7.15 Quebrada Las Ángelas.

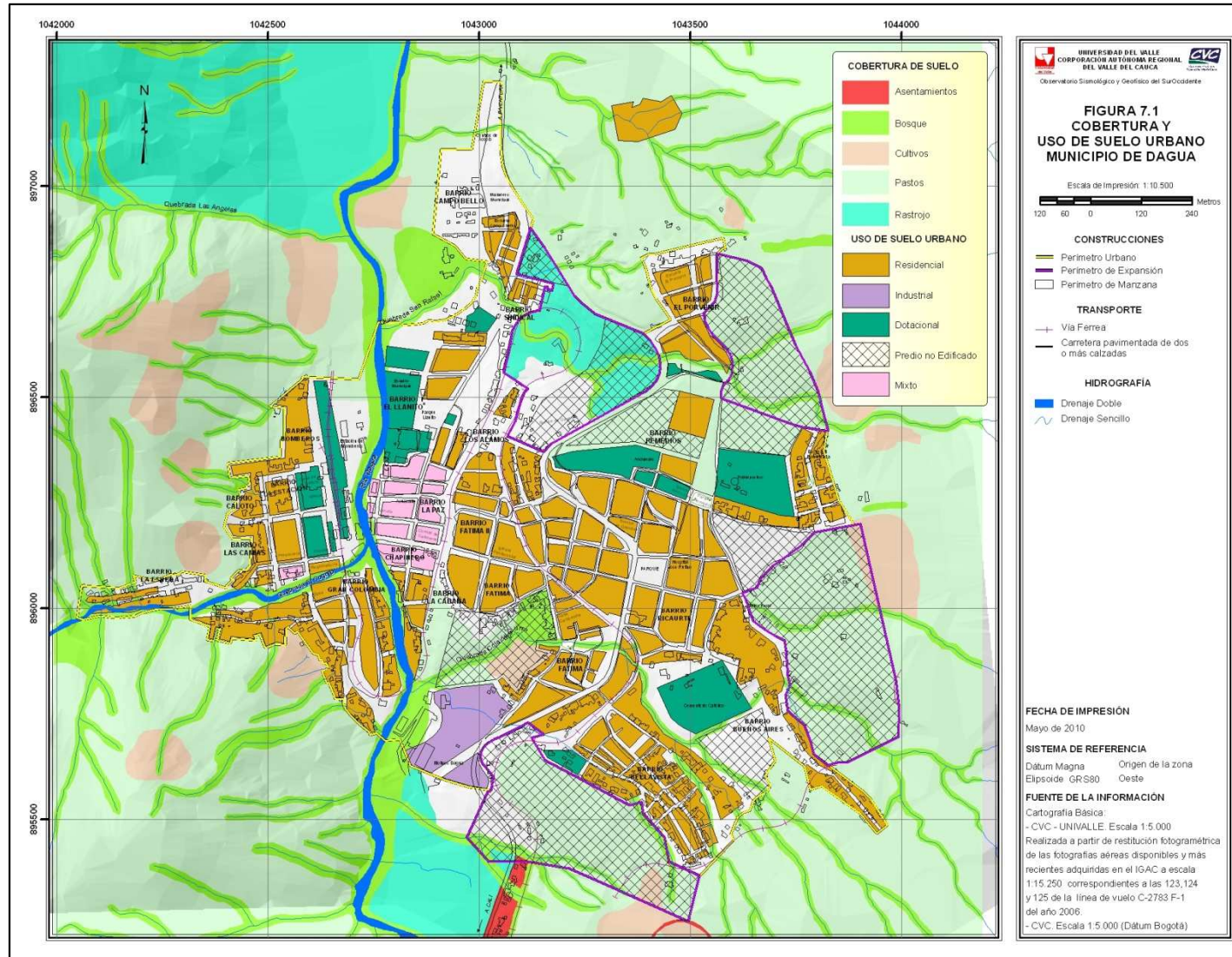


Figura 7.1 Mapa de Uso de Suelo Urbano de Dagua.

7.3.4. Uso potencial de suelo

El estudio de los conflictos por el uso del suelo inicia con la recopilación de información disponible para estos casos en zonas urbanas de Colombia. Efectivamente se procede a consultar las oficinas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en donde se manifiesta que la zonificación de tierras, se hace de manera independiente en cada ciudad y en el caso de la CVC, se emplea el criterio basado en principios de zonificación para suelos agrícolas y forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.

Con base a las visitas y consultas adelantadas, se encuentra que el país no cuenta con criterios estandarizados para la definición de conflictos de uso del suelo; por esta razón y de acuerdo con la interventoría del proyecto y de la CVC, se acordó emplear los criterios adoptados en la CVC en zonas rurales. El análisis de vulnerabilidad que se desarrolla en la zona de estudio, área urbana y de expansión, de cada uno de los municipios, permite determinar los diferentes riesgos que presentan en el territorio.

7.3.5.1 Metodología

El proceso se inicia con la recopilación de la información básica y la consecución de la información temática. Para tal efecto se hace una copia de la información digital de los archivos que contienen la información de las curvas de nivel, la red hídrica, la línea divisoria de aguas, el mapa de clasificación de pendientes, obtenido a partir del modelo de elevación digital, el mapa de uso de suelo, el mapa de erosión, y el mapa de suelos.

De las revisiones metodológicas que se encontraron para uso del suelo potencial en la zona rural se seleccionaron los criterios que tienen la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el estudio de suelos del Valle del Cauca que viene haciendo El Uso Potencial, según la CVC², se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Esta información temática permite analizar y asociar características y propiedades de los suelos con base en su capacidad para producir plantas cultivadas a nivel general. Este sistema de clasificación pretende que los suelos tengan un uso adecuado para conservar, mantener y garantizar la calidad del recurso suelo y el medio ambiente. Tiene como propósito dentro del estudio de riesgo proporcionar una componente para determinar conflictos de uso del suelo.

El Valle del Cauca presenta tres grandes regiones con características particulares como son la región andina que comprenden el flanco oriental de la cordillera Occidental y el flanco occidental de la cordillera Central, la zona plana o Valle geográfico del Río Cauca y la vertiente del pacífico, para cada región la CVC ha establecido una metodología para elaborar el estudio de uso potencial. Por lo que el sistema de clasificación actual es una composición de tres sistemas de clasificación generados a partir de cada región, en nuestro

² Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1997. Estudio General de suelos zona andina (Unidades de Suelo). Cali, Colombia.

caso utilizaremos solo los sistemas de ladera y de la región plana que abarcan los municipios objetos de estudio del proyecto.

Uso potencial para los suelos de la zona de ladera

Tierras para cultivos C: Terrenos con aptitud para la agricultura, el tipo de agricultura depende de las condiciones específicas del terreno; se tienen áreas planas mecanizadas y en las zonas de ladera en donde las labores pueden ser todas manuales. Esta aptitud presenta algunas divisiones, como se presenta en la siguiente tabla.

Clasificación de tierras para cultivo.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Tierras para cultivos C1	Pendiente plana, 0 – 3%. Suelos desde superficiales a profundos	Admiten amplia gama de cultivos, plena mecanización, no son susceptibles a la erosión, se recomiendan cultivos limpios y semilimpios.
Tierras para cultivos C2	Pendiente entre 3 y 12%. Suelos desde superficiales a profundos	Exigen prácticas sencillas de conservación y con restricciones para la mecanización. Pueden presentar erosión ligera; se recomiendan cultivos semilimpios y limpios con prácticas de conservación de suelos
Tierras para cultivos C3	Pendiente entre 12 y 25% Suelos desde superficiales a profundos	Mecanización restringida a maquinaria de tracción animal. Se pueden establecer cultivos densos con buena cobertura al suelo, alta capacidad radical y de macollamiento y no exijan muchas labores agronómicas y culturales; son exigentes en prácticas de conservación de suelos, pueden presentar erosión ligera a moderada.
Tierras para cultivos C4	Pendiente entre 25 y 50% Suelos desde muy superficiales a muy profundos	Cultivos que den cobertura de semibosque o cultivos de multiestrato como café y cacao con sombrío, también algunos frutales. Exigentes en prácticas de conservación de suelos, necesarias y de carácter obligatorio, y se deben hacer a mano.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca.

Tierras para Praderas de Pastoreo P: Se trata de tierras de bajas pendiente y tierras fuertemente onduladas con pendientes de hasta de 25%. En esta categoría los suelos tienen una profundidad entre 25 y 50 cm. Estos terrenos pueden tener limitaciones de su profundidad ya sea por condiciones físicas o químicas.

Tierras para Recuperación AF: Son tierras que presentan un grado de erosión severa o mayor, con una alta susceptibilidad a la pérdida del suelo; pueden ser terrenos que debido a su localización pueden tener un gran valor para la sociedad.

Tierras Forestales F: Se agrupan en esta categoría, los terrenos susceptibles a la degradación y que debido a sus condiciones naturales y legales, deben permanecer bajo cubierta boscosa. Entre estas se encuentran:

Tierras forestales productoras (F1): Los territorios que facilitan una extracción continua y controlada de los productos del bosque, siempre y cuando se empleen prácticas de aprovechamiento que no afecten el ciclo hidrológico y suelos de la cuenca. Estas tierras las caracteriza el relieve con pendientes menores al 50%, suelos profundos o medianamente profundos, poca erosión y lluvias anuales mayores a 1500mm.

Tierras forestales productoras - protectoras (F2): Terrenos con pendientes entre el 50 al 75%, suelos moderadamente profundos, grado de erosión entre moderada a severa y lluvias de más de 1250mm al año. Estos suelos por sus condiciones requieren permanecer bajo cobertura boscosa, solo permiten la extracción selectiva de sus productos y requiere el empleo de prácticas de conservación de sus aguas y suelos.

Tierras forestales protectoras (F3): Se trata de terrenos con pendientes mayores al 75%, suelos superficiales que presentan afloramientos de rocas, tierras cenagosas, playas inundables, cauces antiguos, escombros de antiguas explotaciones mineras, lluvias menores a 1000mm o mas de 3000mm. Debido a la susceptibilidad, estos territorios solo permiten su cobertura boscosa permanente acorde con los requerimientos de protección.

Tierras del Sistema de Parques Nacionales (R): Cuando el terreno presenta características excepcionales de tipo natural, cultural histórico, se consideran como patrimonio nacional; estas tierras presentan normatividad especial para su manejo y protección.

Con base a los criterios de profundidad del suelo y pendiente, la CVC establece un sistema de clasificación que se presenta en la tabla que se presenta a continuación.

Matriz de relación profundidad y pendiente para designación de uso potencial.

		PROFUNDIDAD							
Pendiente	S %	< 25	25 – 50	50 – 90	90 – 150	> 150			
a	0 - 3	P	C1	C1 F1	C1 F1	C1 F1	PRA DE RAS	CUL TI VOS	FO RES TA LES
b	3 - 7	P	C2	C2 F1	C2 F1	C2 F1			
c	7 - 12	P	C2	C2 F1	C2 F1	C2 F1			
d	12 - 25	P	C3	C3 F1	C3 F1	C3 F1			
e	25 - 50	C4	C4	C4 F1	C4 F1	C4 F1			
f	50 - 75	F3	F3	F2	F2	F2			
g	> 75	F3	F3	F3	F3	F3			
Prof.Efec		< 25	25-50	50-90	90-150	> 150			
		PRAD	CULTIVOS						
			FORESTAL						

C : Cultivos
P : Praderas
F : Forestales

Potencial del suelo en el valle geográfico del Río Cauca

El uso potencial de los suelos se basa en las características del suelo con base al riesgo de deterioro por uso, a la forma cómo responden tanto al uso, como a su manejo. En el caso del Valle del Cauca, la CVC, aplica el sistema utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estado Unidos USDA (1995) con modificaciones y adaptaciones realizadas por la subdirección de agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El sistema de clasificación presenta tres categorías: Clase, Subclase y Unidad de uso y manejo (Unidad de Capacidad). En total se consideran ocho clases de suelos, nombrados en números romanos entre el I y el VIII. Los suelos entre las clases I y IV son aptos para la mecanización, uso en la mayor parte de los cultivos, pastos ó bosques productivos de acuerdo a las condiciones de suelo, topografía y clima del terreno; estos suelos presentan pocos riesgos de deterioro en su laboreo.

En los suelos de clases mayores a la IV presentan limitaciones de uso, en este caso exigen para su buen manejo el empleo de técnicas de conservación de los mismos. A medida que aumentan las limitaciones de uso de los suelos, se incrementa el número con que se clasifica el mismo; de esta misma forma se incrementan los requerimientos de medidas para su protección y manejo. Los suelos clase V incluye tierras de uso limitado, por ser inundables, pantanosos, pedregosos, con problemas de salinidad o sodio; si bien el empleo de estos suelos es limitado, con técnicas de recuperación y adecuación pueden ser utilizados.

Los terrenos en donde se presentan especies endémicas y en riesgo, son los de clase VI y VII, se emplean para ciertos cultivos y pastos, aunque requieren altas inversiones para su aprovechamiento. Los suelos clase VIII tienen grandes limitaciones para el aprovechamiento agrícola, por lo que se recomienda su empleo en protección y conservación de recursos naturales y en ciertos casos protección de fuentes hídricas.

La Subclase se refiere a la subdivisión de la clase que tiene iguales factores y condiciones de uso; sin embargo por alguna condición puede presentar cierta limitación; en este caso se emplean letras minúsculas asociadas al factor limitante del suelo, en donde:









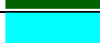















- e: erosión susceptible o presentada anteriormente,
- h: humedad o inundación,
- s: problema (físico ó químico) en el suelo en la zona de raíces,
- c: condiciones del clima.





Con base a las categorías de clase y subclases descritas previamente, se establecen unidades de manejo del suelo, de forma que cada unidad presenta condiciones comunes y recomendaciones para el uso y manejo. Cada unidad se nombra con base al número romano de clase, seguido por la letra de la subclase y un número arábigo final; en total se tienen 28 unidades, las cuales pueden ser consultadas en el *Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Geográfico del Río Cauca*, elaborado por IGAC – CVC, en el año 1980.

Clasificación de uso potencial y representación gráfica

Para la representación gráfica se ha agregado la clase de humedales en la que se diferencian tres niveles dependiendo del grado de intervención. La simbología para las áreas homogéneas representadas en el mapa de uso potencial se establece de acuerdo con las Convenciones empleadas en la *Guía rápida para el usuario SIG* del Grupo de Sistema de Información Ambiental de la CVC, como se presenta en la siguiente tabla.

Clasificación de uso potencial del suelo, (basado en Guía SIG, CVC).

Nombre de Uso Potencial	Código	Color
Tierras para recuperación	AF	
Tierras para cultivos limpios	C1	
Tierras para cultivos limpios - Tierras forestales de producción	C1-F1	
Tierras para cultivos semilimpios	C2	
Tierras para cultivos semilimpios – Tierras forestales de producción	C2 – F1	
Tierras para cultivos densos	C3	
Tierras para cultivos densos - Tierras forestales de producción	C3-F1	
Tierras para cultivos en multiestrato	C4	
Tierras para cultivos en multiestrato - Tierras forestales de producción	C4-F1	
Tierras forestales de producción	F1	
Tierras forestales de producción – protección	F2	
Tierras forestales de protección	F3	
Humedales de producción	H1	
Humedales de producción – protección	H2	
Humedales de protección	H3	
Tierras para praderas de pastoreo	P	
Tierras del sistema de PNN	R	
Clase agrológica I	I	
Clase agrológica IIs	IIs	
Clase agrológica IIIs	IIIs	
Clase agrológica IIIh	IIIh	
Clase agrológica IIIsh	IIIsh	
Clase agrológica IIIes	IIIes	
Clase agrológica IVs	IVs	
Clase agrológica IVh	IVh	
Clase agrológica IVsh	IVsh	
Clase agrológica IVes	IVes	
Clase agrológica Vs	Vs	
Clase agrológica Vh	Vh	
Clase agrológica Vsh	Vsh	
Clase agrológica VIes	VIes	

Clase agrológica VIIes	VIIes	
Infraestructura	INF	
Sin evaluar	SE	
Zona urbana	ZU	

Después de validar en campo la información de uso potencial se incluyen las zonas de protección (F3) de 30 metros en las rondas de los ríos.

La clasificación de usos del suelo en el municipio de Dagua se realizó con respecto a la ventana (área) en la que se trabajaron las coberturas del suelo municipal, Mapa 7.1y Figura 7.1. Se utilizó de base el estudio de suelos generado en 1998 por la CVC, a partir de estos se revisaron y validaron los criterios para determinar el uso potencial, concretamente las variables de pendiente y profundidad de suelos, a través del trabajo de campo como barrenados y reconocimiento fisiográfico. Ver pruebas de infiltración 7.4.

A continuación se presentan las áreas de usos potenciales en el municipio de Dagua.

Código de uso	Uso potencial	Área en m ²	Ha.	Porcentaje
AF	Tierras para recuperación	2443004,48	244,30	44,46
C2	Tierras para cultivos semilimpios	26949,30	2,69	0,49
C2-F1	Tierras para cultivos semilimpios - Tierras forestales de producción	34452,42	3,45	0,63
C3	Tierras para cultivos densos	565536,09	56,55	10,29
C3-F1	Tierras para cultivos densos - Tierras forestales de producción	179126,34	17,91	3,26
C4-F1	Tierras para cultivos en multiestrato - Tierras forestales de producción	3028,71	0,30	0,06
F3	Tierras forestales de protección	692668,90	69,27	12,60
ZU	Zona urbana	1550546,78	155,05	28,22
Total		5495313,01	549,53	

Para este municipio se usó únicamente la clasificación de usos potenciales para la zona andina, la mayor potencialidad que se pueden destinar este emplazamiento son para áreas de recuperación (AF) con un 44,46 % asociadas a tierras con pobre calidad de algunos suelos en términos de pendiente y profundidad que deben implementar algún uso para reducir el efecto de la erosión en estos suelos. En este municipio se dan pocas áreas potenciales que se destinen usos agrícolas, el uso C3 solo ocupa el 10,3% de las potencialidades. El área correspondiente a la zona urbana (ZU) no cuenta como un uso potencial simplemente se indica el área como fuera de la evaluación de uso potencial. La Figura 7.2 ilustra los usos potenciales del suelo en Dagua.

Figura 7.2 Mapa de usos potenciales de suelo. Municipio de Dagua.

7.3.5. Conflictos de uso del suelo

El conflicto por uso del suelo se presenta cuando el uso del suelo no corresponde al uso potencial del mismo, es decir, que las exigencias de la cobertura vegetal establecida son diferentes a la capacidad natural ofrecida por el suelo. Los conflictos en el uso del suelo son el resultado de la divergencia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental en términos de sus potencialidades con fines productivos y limitaciones naturales.

El conflicto por uso de suelo en el Valle del Cauca, según la CVC, se determina combinando dos sistemas de clasificaciones de acuerdo a sus particularidades: uno para la región andina que comprenden el flanco oriental de la cordillera Occidental y el flanco occidental de la cordillera Central, y para la vertiente del pacífico.

La CVC califica el conflicto por uso del suelo, por grados: Alto, Moderado, Sin Conflicto y Sin Evaluar; el conflicto alto y moderado se diferencian por los niveles de deterioro que puede ocasionar la cobertura establecida en un terreno no apto para ella. Sin conflicto son las zonas en equilibrio y sin evaluar los territorios donde no se ha desarrollado el estudio. El IGAC Plantea una clasificación con categorías más detalladas dependiendo de una amplia gama de usos actuales (IGAC-CVC, 2004). Sin embargo, debido a las clases utilizadas en las coberturas de uso actual generadas dentro del proyecto, se seleccionó como más adecuadas las metodología realizada por la CVC.

Conflicto del suelo para la zona de la región pacífica

Para la clasificación del conflicto por uso en la región del Pacífico se deben tener en cuenta las consideraciones de la tabla que se presenta a continuación.

Criterios para establecer conflicto por uso del suelo en la región Pacífica.

USO ACTUAL	USO POTENCIAL	GRADO DE CONFLICTO
Rastrojo RA	Tierras forestales de producción – protección F2	Moderado
Rastrojo RA	Tierras forestales de protección F3	Alto
Rastrojo RA	Tierras del sistema de PNN R	Alto

Fuente CVC.

Conflicto del suelo para la zona de la región Andina

El conflicto por uso del suelo se obtiene empleando los criterios de clasificación del Conflicto producida por el Grupo de Suelos de la CVC, como se aprecia en la de la siguiente tabla.

Criterios de conflicto por uso del suelo en la zona de andina.





USO ACTUAL COBERTURAS		CONFLICTO POR USO DEL SUELO									
Vegetación de Páramo	VP										
Bosque Natural	BN										
Rastrojo	RA										
Pastos Naturales	PN										
Bosque Plantado	BP										
Cultivos Permanentes	CP										
Silvo agrícola	SA										
Silvo pastoril	SP										
Cultivos Semi permanentes	CS P										
Pastos - Ganadería Extensiva	PN										
Cultivos Transitorios	CT										
Parcelaciones	PR										
Canteras	TD										
PENDIENTE		0 - 3	3 - 12	12- 25	25- 50	50-75	>7 5				
USO POTENCIAL		Producción				*PD PT	Protección				
Pecuario	P	Pa	Pb	Pc							
Agrícola	C	C1	C2	C3	C4						
Forestal	F	F1a	F1b	F1c	F1d	F2	F3				
Zonas De Reserva	R								R	A F	

* Producción-Protección		Conflicto Alto
		Conflicto Moderado
		Sin Conflicto

**PROFUNDIDAD
AD**
 < 25 cms
 > 25 cms
 > 50 cms

La clasificación del conflicto y su simbología se representa en el mapa de conflicto por uso de suelo, como se presenta en la tabla que se presenta a continuación

Clasificación y símbolos de los conflictos de uso de suelo.

GRADO DE CONFLICTO	CÓDIGO	Color
Alto	Código de uso actual / Código de uso potencial	
Moderado	Código de uso actual / Código de uso potencial	
Sin Conflicto	SC	
Sin evaluar	SE	

El conflicto de uso del suelo en una cierta región, es el resultado de la intersección del uso potencial que tiene el suelo, versus el uso que presenta en un momento, ó uso actual del suelo. El conflicto de uso de suelo se determina para la zona acordada para tal fin por parte del proyecto, la cual corresponde a una ventana de extensión variable de acuerdo con la extensión y escala de trabajo del municipio. Esta ventana de forma cuadrada, circunscribe la zona urbana y la zona de expansión de cada municipio.

La siguiente tabla presenta las áreas con conflicto en el municipio de Riofrío.

Conflicto	Área en m²	Ha	Porcentaje
Alto	2775373,75	277,54	50,50
Moderado	40872,59	4,09	0,74
Sin conflicto	1128519,84	112,85	20,54
Zona urbana	1550546,82	155,05	28,22
	5495313,00	549,53	

La información anterior y la Figura 7.3, muestran que el 50,5% de presencia de conflicto alto presentado en el municipio. La mayoría de este conflicto corresponde a la existencia de praderas en la zona de ladera generalmente asociada a ganadería extensiva donde el uso potencial debe ser de recuperación (AF) y protección (F3). Se ubica más en las zonas con mayor pendiente donde el suelo ha sufrido mucho por la erosión ocasionada por el proceso de deforestación y la ganadería como antes se mencionó. La infraestructura y la Zona urbana no son coberturas en donde se ha evaluado el conflicto por uso del suelo solo se añaden para conservar el área de estudio. La Figura 8, ilustra los conflictos de uso del suelo en Dagua.

Figura 7.3 Mapa de conflictos de uso de suelo.

7.3.6. Evaluación de la infiltración y perfiles del suelo

Se realizó un total de 10 pruebas de infiltración donde se evaluó tanto la zona urbana como la zona de expansión. En la Tabla 7.3 se relacionan los valores que permiten clasificar la velocidad de infiltración, según el IGAC.

Tabla 7.3. Clasificación de la velocidad de infiltración (IGAC, 1990)

Velocidad de infiltración (cm/hora)	Interpretación
< 0.1	Muy lenta
0.1 – 0.5	Lenta
0.5 – 2.0	Moderadamente lenta
2.0 – 6.3	Moderada
6.3 – 12.7	Moderadamente rápida
12.7 – 25.4	Rápida
>25.4	Muy rápida

En las imágenes que se muestran a continuación se puede observar una de las pruebas con los anillos infiltrómetros y el análisis del perfil de suelo.



Foto 7.23 Prueba de infiltración; Barrio Chapinero.



Foto 7.24 Toma del perfil del suelo; Barrio Chapinero.

En la Figura 7.4 los puntos rojos representan la ubicación de los sitios donde se realizaron las pruebas de infiltración simultáneas.

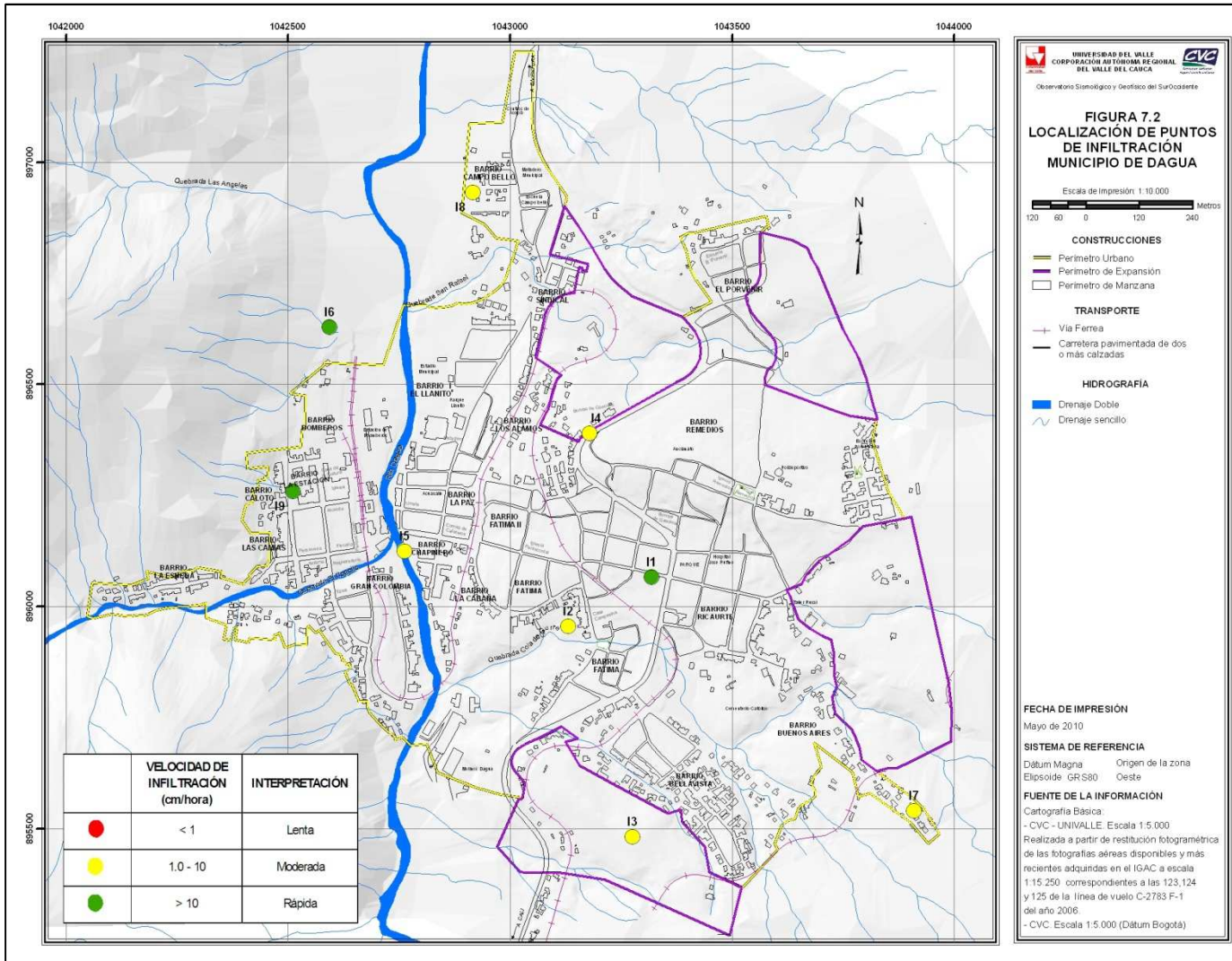


Figura 7.4 Ubicación puntos de infiltración.

En cada uno de los puntos donde se evaluó la infiltración, se desarrollaron dos pruebas simultáneas con el fin de corroborar la información. A continuación se presentan los resultados para la prueba realizada en el Barrio Chapinero.

Fecha	4/09/2009
Lugar	Barrio Chapinero
Prueba	1
Cobertura	Suelo desnudo
Latitud	3° 39' 34,2''
Longitud	76° 42' 45,0''
Altura	921 m.s.n.m.

Una vez obtenidos los datos, se organizaron y procesaron en Excel para obtener las respectivas ecuaciones y gráficas. Se aplicó el modelo matemático de Kostiakov, cuyos parámetros se determinaron por medio de regresiones de tipo potencial con las cuales fue posible elaborar la lámina acumulada en función del tiempo (ver figura 7.5) y las curvas de velocidad de infiltración (ver figura 7.6).

$$\begin{aligned} \text{Infiltración acumulada} &= 5.044 T^{0.520} \\ \text{Velocidad de infiltración} &= 157.26 T^{-0.48} \end{aligned}$$

Donde:

Lámina acumulada: mm

Tiempo (T): horas

Velocidad de infiltración: mm/hora

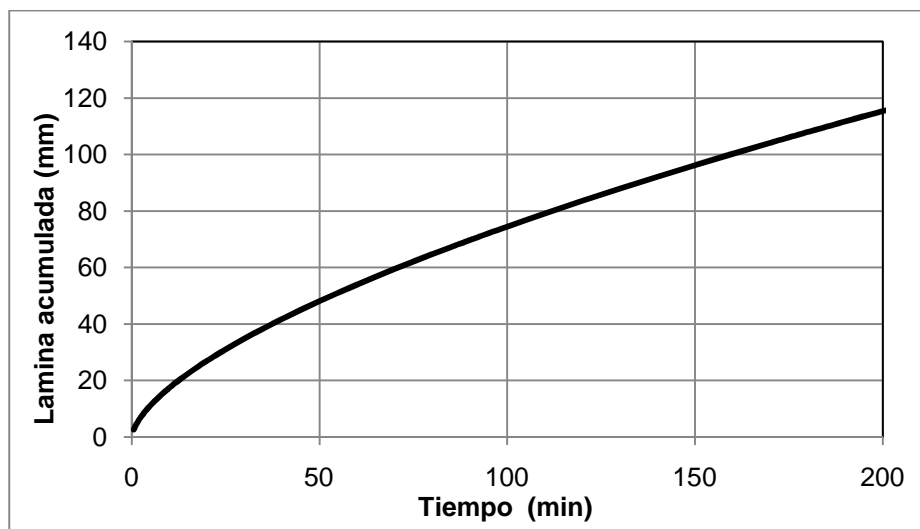


Figura 7.5 Infiltración acumulada Barrio Chapinero.

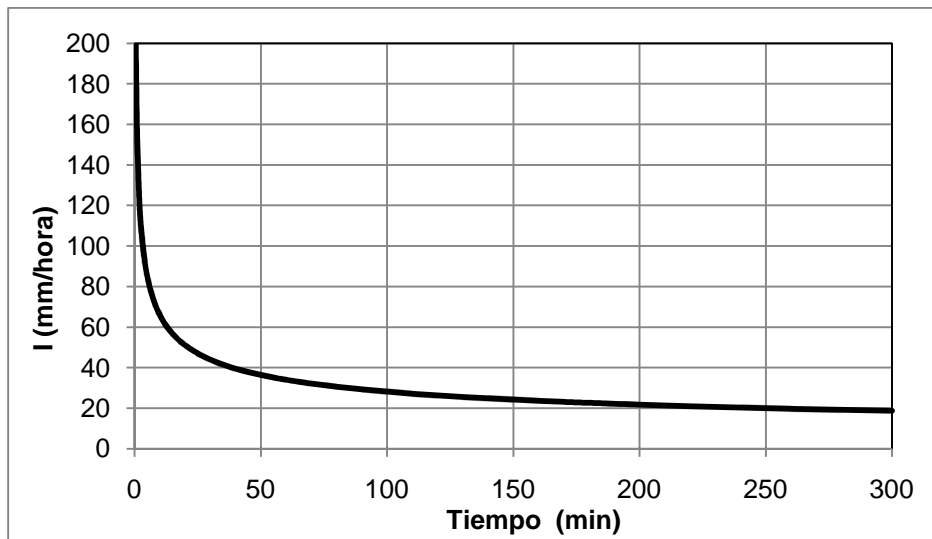


Figura 7.6 Curva de velocidad de infiltración Barrio Chapinero.

De acuerdo a la grafica de velocidad de infiltración realizada en el barrio Chapinero la infiltración básica es igual a 18,8 mm/h que corresponde a moderadamente lenta. A continuación se puede observar en la Tabla 7.4, el análisis del perfil del suelo, en el barrio Chapinero.

Tabla 7.4. Perfil del suelo Barrio Chapinero – Municipio Dagua



0 - 30 cm

Presencia arenas gruesas y gravas

Color: Pardo

30 - 90 cm

Presencia arenas gruesas y gravas

Color: Pardo

90 - 150 cm

Presencia arenas gruesas y gravas

Color: Pardo

En la Tabla 7.5 se presentan las ecuaciones de lámina infiltrada en el tiempo y velocidad de infiltración para cada uno de los puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración y en el Anexo 7.1 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las mismas en el municipio de Dagua.

Tabla 7.5. Resumen pruebas de infiltración realizadas en el municipio de Dagua

Punto No	Sector	Coordenadas Geográficas		Altura msnm	Ecuación Lamina Infiltrada (mm, min)	Ecuación Velocidad de Infiltración (mm/h, min)	Velocidad de infiltración básica (mm,h)
		Latitud	Longitud				
I ₁	Sector Remedios	3° 39' 32,3"	76° 41' 27,0"	935	$L = 54.692 T^{0.740}$	$I = 2049.67 T^{-0.38}$	236
I ₂	Sector Vivero	3° 39' 28,7"	76° 41' 33,1"	886	$L = 27.37 T^{0.573}$	$I = 940.98 T^{-0.43}$	82
I ₃	Barrio Bellavista	3° 39' 13,3"	76° 41' 28,4"	941	$L = 43.89 T^{0.419}$	$I = 1103.39 T^{-0.58}$	40.1
I ₄	Salida de Dagua -Vulcanizadora	3° 29' 28,7"	76° 41' 33,2"	893	$L = 6.714 T^{0.613}$	$I = 246.90 T^{-0.39}$	27.1
I ₅	Barrio Chapinero	3° 39' 34,2"	76° 42' 45,0"	921	$L = 5.044 T^{0.520}$	$I = 157.26 T^{-0.48}$	10.2
I ₆	Estación Ferrocarril	3° 39' 50,6"	76° 41' 50,5"	804	$L = 34.682 T^{0.745}$	$I = 1549.45 T^{-0.26}$	361
I ₇	Barrio Buenos Aires	3° 39' 24,7"	76° 42' 18,1"	941	$L = 5.944 T^{0.540}$	$I = 192.59 T^{-0.46}$	14
I ₈	Los Pinos -Campo Bello	3° 40' 00,5"	76° 41' 40,0"	806	$L = 10.287 T^{0.454}$	$I = 280.40 T^{-0.55}$	12.5
I ₉	Las Cadmias	3° 39' 22,0"	76° 40' 59,8"	850	$L = 17.599 T^{0.743}$	$I = 784.25 T^{-0.26}$	180
I ₁₀	La Esneda	3° 39' 22,0"	76° 40' 59,8"	866	$L = 7.608 T^{0.703}$	$I = 320.68 T^{-0.30}$	58.8

7.4. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

A continuación se resume la metodología empleada para el análisis temporal y espacial de la información meteorológica empleada.

7.4.1. Análisis espacial de la precipitación

A continuación se presenta el análisis espacial de la precipitación en el municipio de Dagua incluyendo la zona urbana y de expansión, para lo cual se utilizaron 7 estaciones con registros de precipitación de la red de monitoreo de algunas instituciones como el IDEAM, CVC y CENICAFE. Las estaciones fueron seleccionadas teniendo en cuenta la cercanía con la zona de estudio y la calidad de la información, En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta una descripción general de las estaciones utilizadas para el estudio.

La distribución espacial de la precipitación en el municipio de Dagua presenta un rango de variación que se encuentra entre los 1.000 mm a valores superiores a los 4.000 mm al año. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 1.500 y 3.500mm en dirección Sur-oriente - Nor-occidente. Se puede distinguir un amplio núcleo de precipitación con valores

entre 1.000 y 1500 mm anuales, al oriente de la zona urbana del municipio de Dagua. En la Figura 7.7 y en la Figura 7.8 se puede observar la distribución espacial anual y mensual de la precipitación para el municipio de Dagua. Ver Anexo 7.1

La distribución espacial de la precipitación en la zona urbana y de expansión de la cabecera municipal presenta un rango de variación que va desde los 50 mm a valores superiores a los 150 mm en promedio al mes. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 50 y 200 mm, las precipitaciones aumentan en dirección Oriente - Occidente.

En la Figura 7.7.9 y en la Figura 7.10 se puede observar la distribución espacial anual y mensual de la precipitación sobre la cabecera municipal y la zona de expansión del municipio de Dagua.

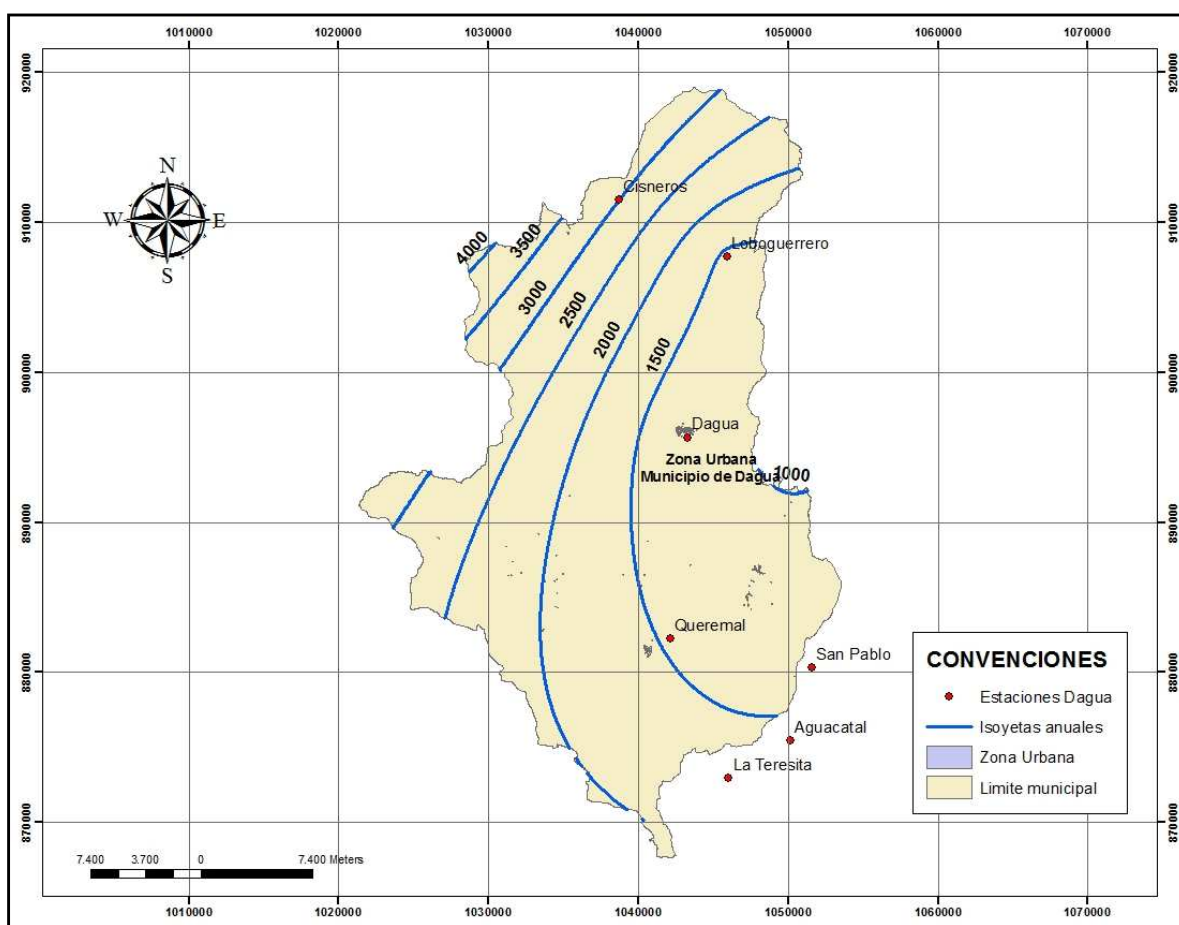


Figura 7.7 Distribución anual de la precipitación – Municipio de Dagua.

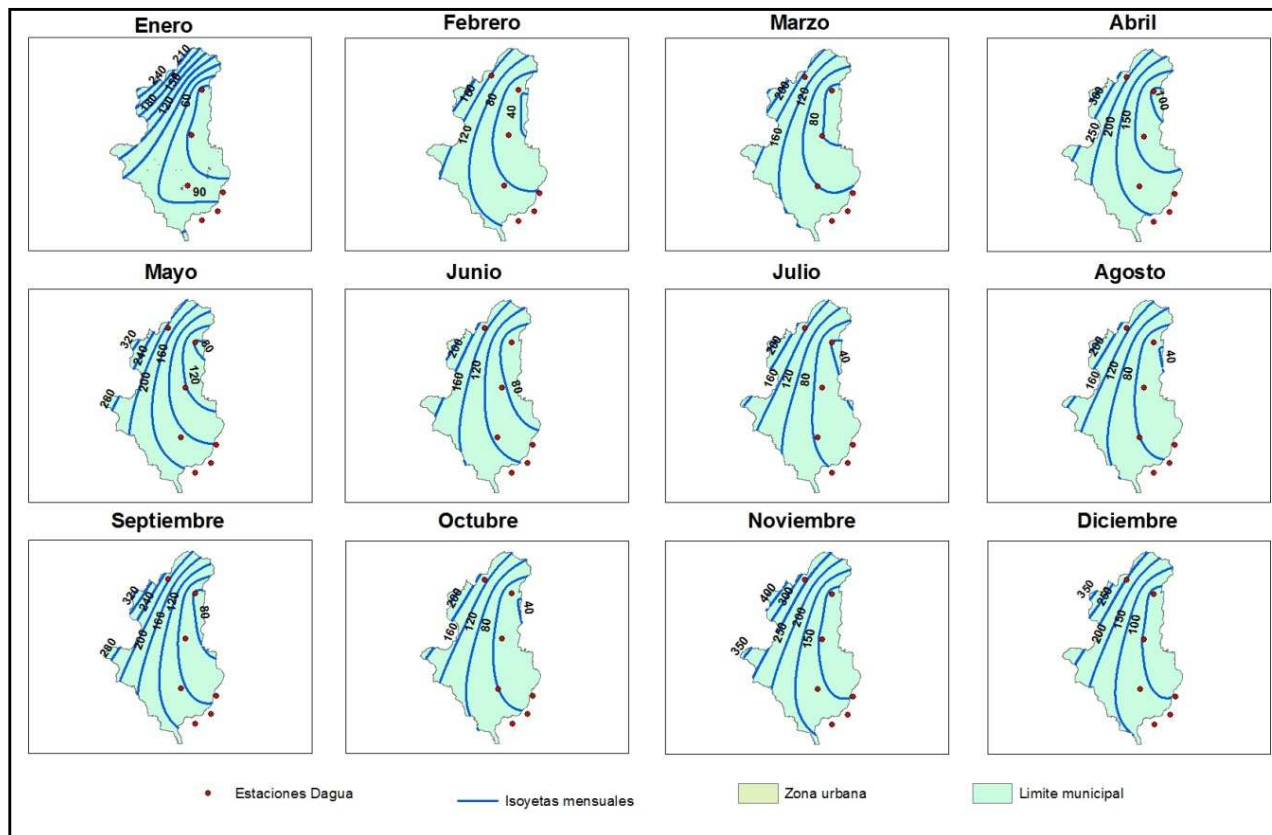


Figura 7.8 Distribución mensual de la precipitación - Municipio de Dagua.

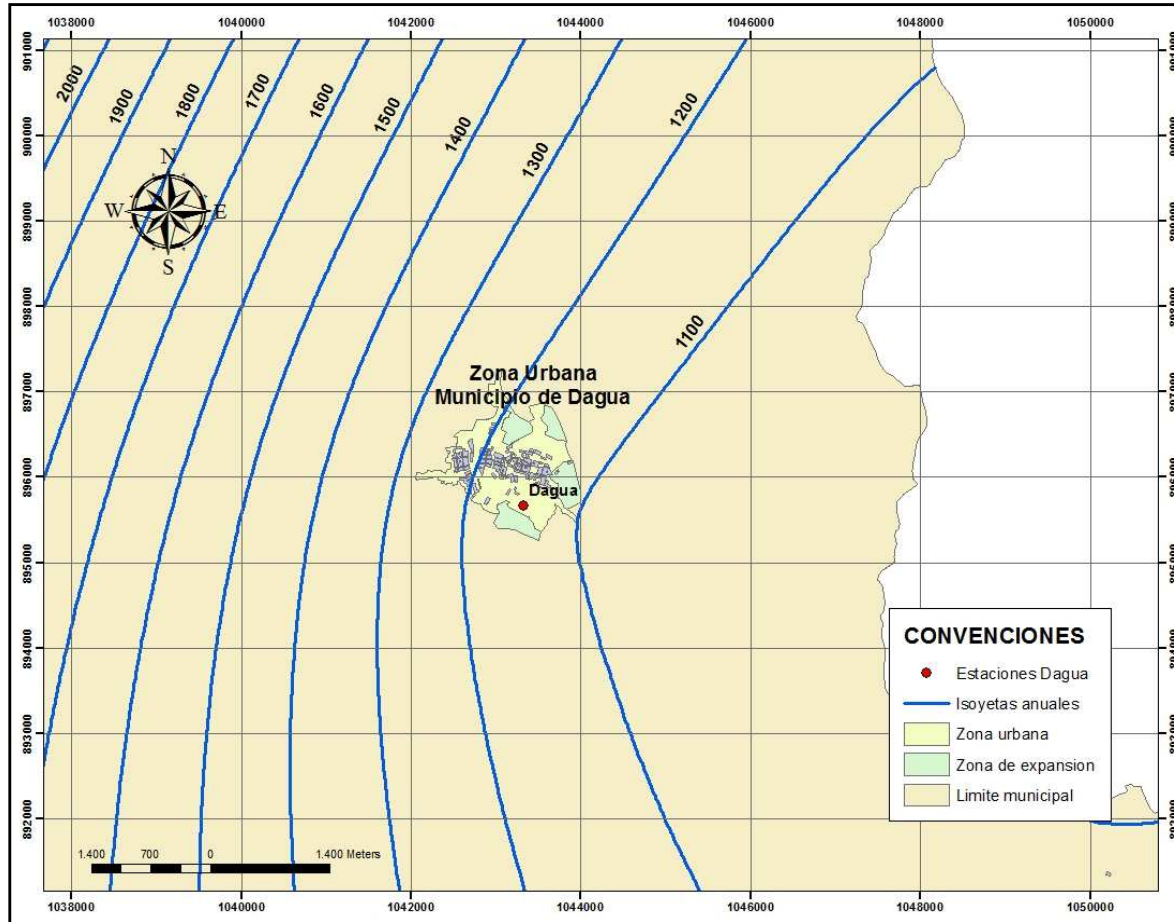


Figura 7.9 Distribución anual de la precipitación en la zona urbana y de expansión el municipio de Dagua.

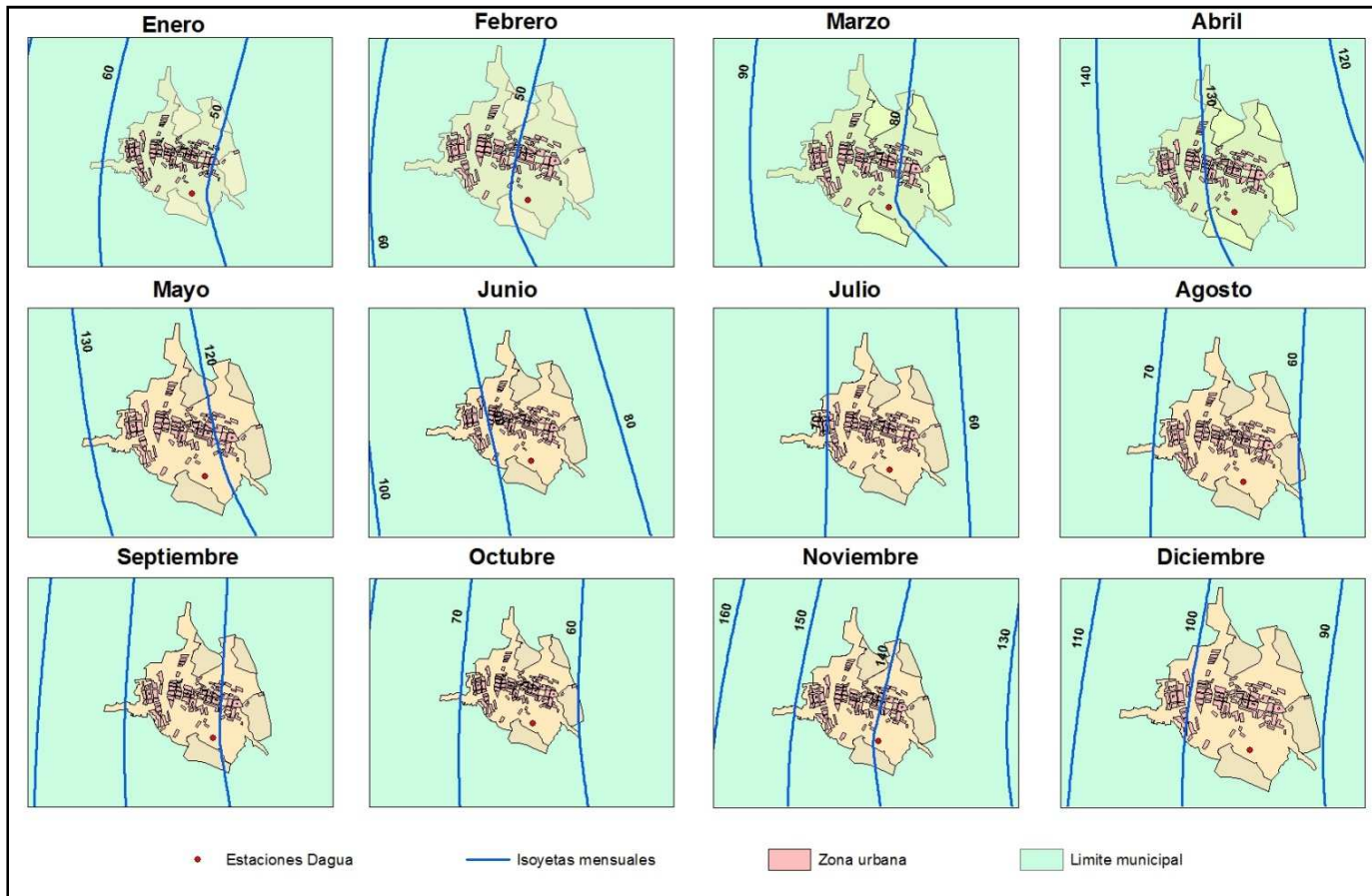


Figura 7.10 Distribución mensual de la precipitación en la zona urbana y de expansión de Dagua.

7.4.2. Análisis temporal de la precipitación

Para el caso de este proyecto el análisis temporal de la precipitación comprende la evaluación del régimen de humedad, el análisis de las precipitaciones máximas y la evaluación de las curvas de intensidad-frecuencia-duración, como se presenta a continuación.

7.4.2.1. Régimen de humedad

Para el municipio de Dagua el régimen de humedad fue obtenido con la precipitación media mensual las 8 estaciones analizadas y para la zona urbana se realizó con la estación Dagua, ya que es la estación más cercana a la zona de estudio que tiene registros de precipitación. De acuerdo con la Figura 7.11 se puede visualizar comportamiento bimodal de las precipitaciones con dos periodos secos y dos periodos húmedos, los cuales son diciembre, enero y febrero y un segundo periodo seco entre junio, julio y agosto, siendo julio el mes más seco, donde las precipitaciones son menores a 45 mm. Los meses más húmedos también se dividen en dos periodos, uno en los meses de marzo, abril y mayo y el segundo periodo en los meses de septiembre, octubre y noviembre. En esta zona las precipitaciones más altas se presentan en el mes de octubre (147 mm).

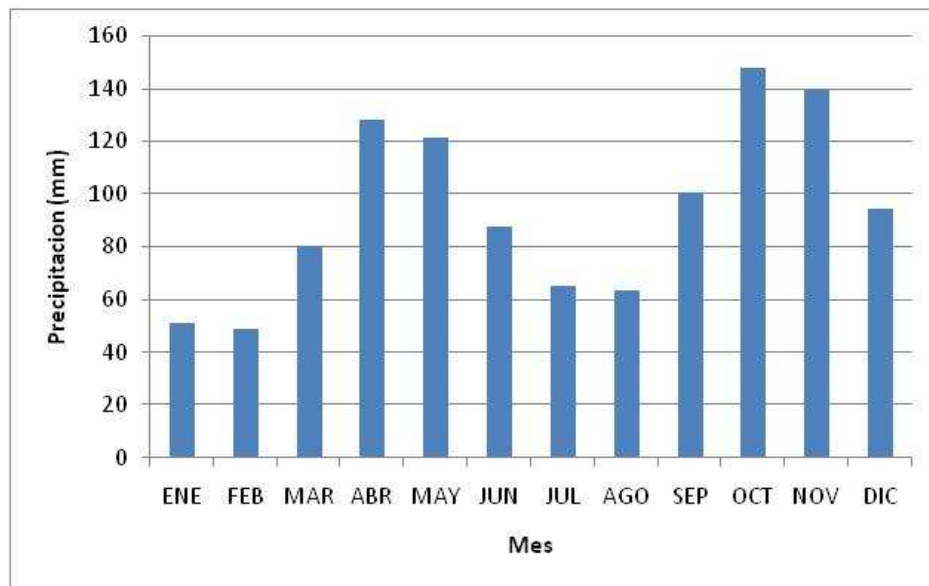


Figura 7.11 Distribución temporal de las precipitaciones en la estación Dagua (1982 – 2007).

7.4.2.2. Curvas de variación estacional

Para la construcción de las curvas de variación estacional se tuvieron en cuenta los datos de la estación pluviográfica Dagua, los resultados que se obtuvieron se pueden observar en la Tabla 7.6 y en la Figura 7.12:

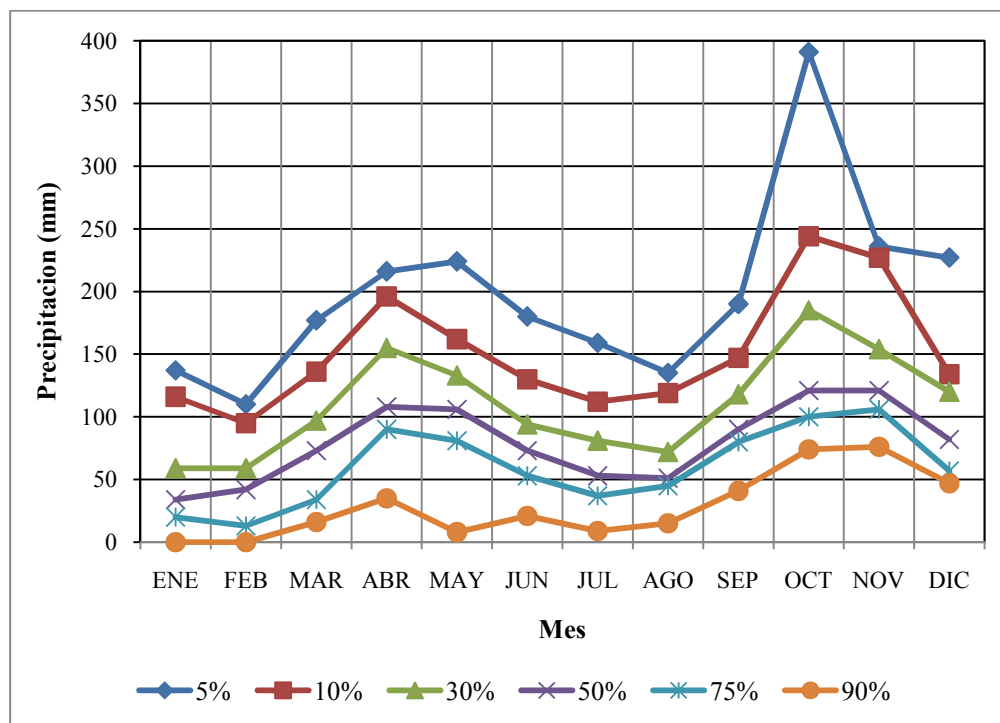


Figura 7.12 Curvas de variación estacional estación Dagua (1982 – 2007).

Tabla 7.6. Valores de la curva de variación estacional para la estación Dagua (1982-2007).

%	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	137	110	177	216	224	180	159	135	190	391	236	227
10	116	95	136	196	162	130	112	119	147	244	227	134
30	59	59	97	155	133	94	81	72	118	185	154	120
50	34	42	73	108	106	73	53	51	90	121	121	82
75	20	13	34	90	81	53	37	45	80	100	106	57
90	0	0	16	35	8	21	9	15	41	74	76	47

De acuerdo a la figura anterior, se observa que el 90% de las precipitaciones de la zona oscilan entre 5 mm y 70 mm al mes, presentando un comportamiento promedio de 28.5 mm. Por el contrario se presentan lluvias extremas (10 %) superiores a 200 mm con precipitaciones máximas en los meses de abril octubre y noviembre, con lo cual se concluye que es en estos meses hay una alta tendencia a que se generen aumentos en los niveles de los ríos y quebradas que están en el municipio al igual que los riesgos a deslizamientos en algunas zonas.

7.4.2.3. *Precipitaciones máximas*

Para la determinación de las máximas precipitaciones, se parte de la hipótesis de que las precipitaciones son variables aleatorias e indefinidas, sujetas a una distribución estocástica determinada.

Las variables que definen una determinada precipitación son:

- Tiempo de duración del aguacero
- Período de retorno correspondiente a la lluvia.

En función de los datos de las estaciones suministradas, el procedimiento más indicado consiste en el estudio de las precipitaciones máximas diarias, datos ambos que se obtienen de las estaciones pluviométricas, pluviográficas, climatológicas y general cualquier estación donde se monitoree la precipitación. A partir de los datos de las estaciones seleccionadas en la zona de proyecto, se calculan las precipitaciones máximas en 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 30, 50 y 100 (según términos de referencia) años. Se aplican distintas distribuciones para identificar cual es la distribución que mejor se ajusta a la información de precipitación. Las distribuciones de probabilidad aplicadas son: Normal, Log normal, Pearson tipo III y Gumbel.

Dentro de los estudios estadísticos en hidrología se han identificado varias distribuciones de probabilidad. Algunas series de datos se ajustan mejor a determinado tipo de distribución. Para determinar la distribución que mejor ajustaba en este caso, se utilizó el método grafico que consiste en graficar los puntos obtenidos en la serie con los puntos de la distribución. Escogiendo la distribución que se ajustaba mejor a los puntos reales. Las estación con datos de precipitación utilizada para el cálculo de las precipitaciones máximas fue Dagua, debido a que se encuentra en el interior de la zona de estudio mientras que las otras estaciones no se encuentran lo suficientemente cerca para este análisis.

Basado en las metodologías de las distribuciones de probabilidad utilizadas (Gumbel, Pearson, Normal y Log normal) y a partir de las series de datos de cada estación, se calcularon los valores de Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas asociadas a diferentes períodos de retorno que se ilustran en la siguiente tabla (resultados obtenidos con la distribución de probabilidad que presento un mejor ajuste: Gumbel):

Tabla 7.7. Resultados del análisis de precipitaciones máximas estación Dagua

Tr (años)	2	5	10	25	30	50	100
P24	62,56	85,63	100,90	120,20	123,98	134,52	148,73
P48	68,84	91,25	106,09	124,85	128,52	138,76	152,57
P72	76,15	101,82	118,81	140,27	144,48	156,20	172,01

7.4.2.4. Análisis de intensidad-frecuencia-duración

Las curvas de *intensidad-frecuencia-duración* para el municipio de Dagua se utilizó las bandas pluviográfica de la estación Julio Fernández la cual pertenece a la red de monitoreo de CENICAFE, esta estación se encuentra localizada en el municipio de Restrepo, la selección de la estación pluviográfica Julio Fernández se hizo principalmente porque es la más cercana al municipio de Dagua, para generar finalmente los registros de lluvia cada 10 minutos. Es de reconocer el apoyo de CENICAFE con el suministro de la información. Ya que de la visita de campo el día 2 de septiembre de 2009, se observó que la estación El Queremal cuenta con información pluviográfica se espera tener acceso a esta información para generar las IFD a partir de la misma, y comparar los resultados con la estación de CENICAFE.

Determinación de intensidades máximas: Con los registros de las lluvias máximas cada 10 minutos, se generaron las alturas máximas de precipitación para tiempos de 10, 20, 30,.....,150 minutos. Luego, se toman los valores de cada una de las series y se dividen por su duración D en (minutos), obteniéndose así las intensidades en mm/ min. Cabe mencionar que para cada uno de los periodos de las intensidades máximas analizadas se debe determinar la media y la desviación estándar.

Ajuste de los datos a la función de distribución de probabilidad de Gumbel. Una vez se obtienen los valores de intensidad máxima de precipitación, estos se deben ajustar en función de distribución de probabilidad de Gumbel.

Determinación de las pruebas de bondad de ajuste: Una vez ajustada la función de Gumbel, se determina las pruebas de bondad de ajuste, utilizándose como medidas de bondad al test de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación R².

Cálculo de las curvas IFD para la estación Julio Fernández

A continuación se muestra en la Figura 7.13 las curvas IFD generadas a partir de las bandas pluviográficas máximas de la estación Julio Fernández., Restrepo.

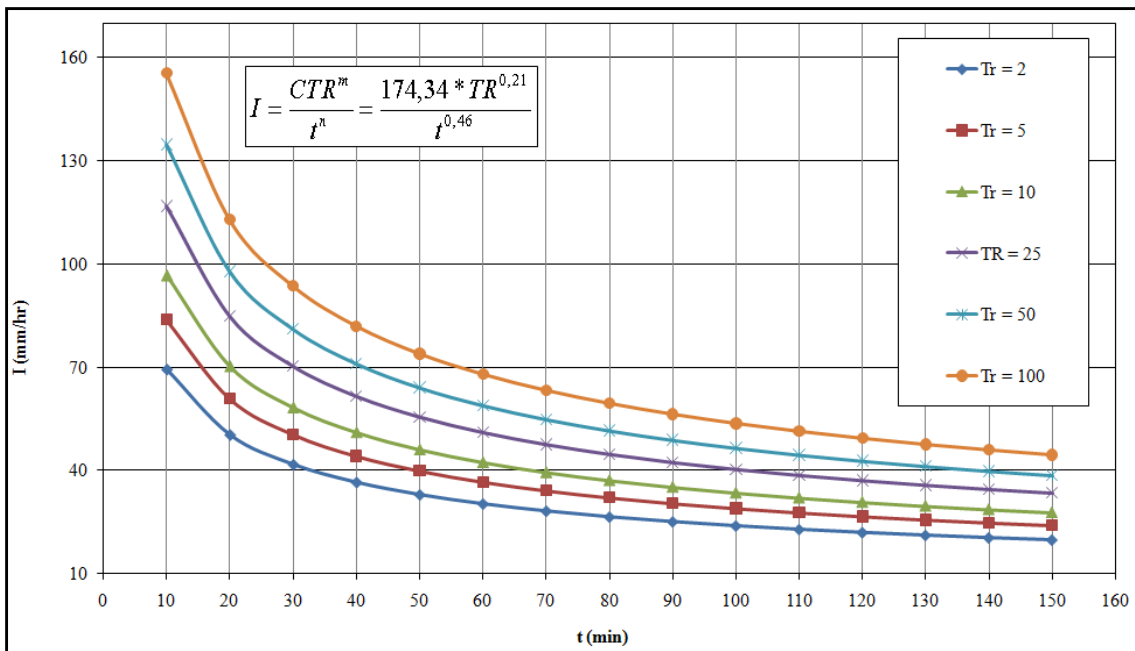


Figura 7.13 Curva IFD con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años; Estación Julio Fernández, Restrepo.

7.5. ANÁLISIS DEL ESCURRIMIENTO

La zona objeto de estudio que drena sus aguas a través del casco urbano y aéreas de expansión del municipio de Dagua es de aproximadamente 254,97Km², haciendo parte de la zona alta de la cuenca Dagua. El río Dagua en su recorrido antes de pasar por la zona de estudio 155 m aguas arriba del puente vial al lado de la Harinera de Dagua, comprende un área de aproximadamente 221,35 km², con una longitud del cauce principal de 20,38 km que drena las aguas del río Jordán, las quebradas La Malta, Aguachinte, Jigualta, Mataballo y la microcuenca La Centella entre otros. Cabe mencionar que a su vez el Río Jordán reúne parte de sus aguas del río Salado y de la Quebrada Honduras.

En la zona urbana y expansión entre los principales drenes que entregan sus aguas al río Dagua y son de interés para este estudio, se encuentran la quebrada El Cogollo que cuenta con un área de aproximadamente 16,7 km² y una longitud del cauce principal de aproximadamente 6,48 km, al igual que la Quebrada San Rafael que cuenta con un área de 9,87 km² y una longitud del cauce principal de aproximadamente 5 km.

La zona alta de la cuenca está conformada como se muestra en la Foto 7.25 por zonas conservadas como bosques naturales de tipo primario y secundario, siendo el resto utilizadas para labores agrícolas, pecuarias, recreación y esparcimiento a poblaciones que pertenecen a municipios vecinos. También cabe mencionar que sobre la subcuencas del río Jordán se realizan trabajos de extracción de material rocoso, al igual que en el lecho del mismo Río Dagua, a la altura de Tocotá.



Foto 7.25 Zona alta del río Dagua Vereda Jordancito.

En ésta parte de la cuenca se presenta un mayor deterioro de su estructura debido a la localización de los mayores asentamientos y núcleos poblados, que han aumentado los procesos erosivos considerados como la de mayor inestabilidad.

En la Figura 7.14 se presenta la cuenca hidrográfica del río Dagua, la zona de estudio que drena sus aguas a través de la cabecera urbana y el área de expansión del municipio de Dagua y los tributarios de mayor aporte de caudal a lo largo de toda la cuenca.

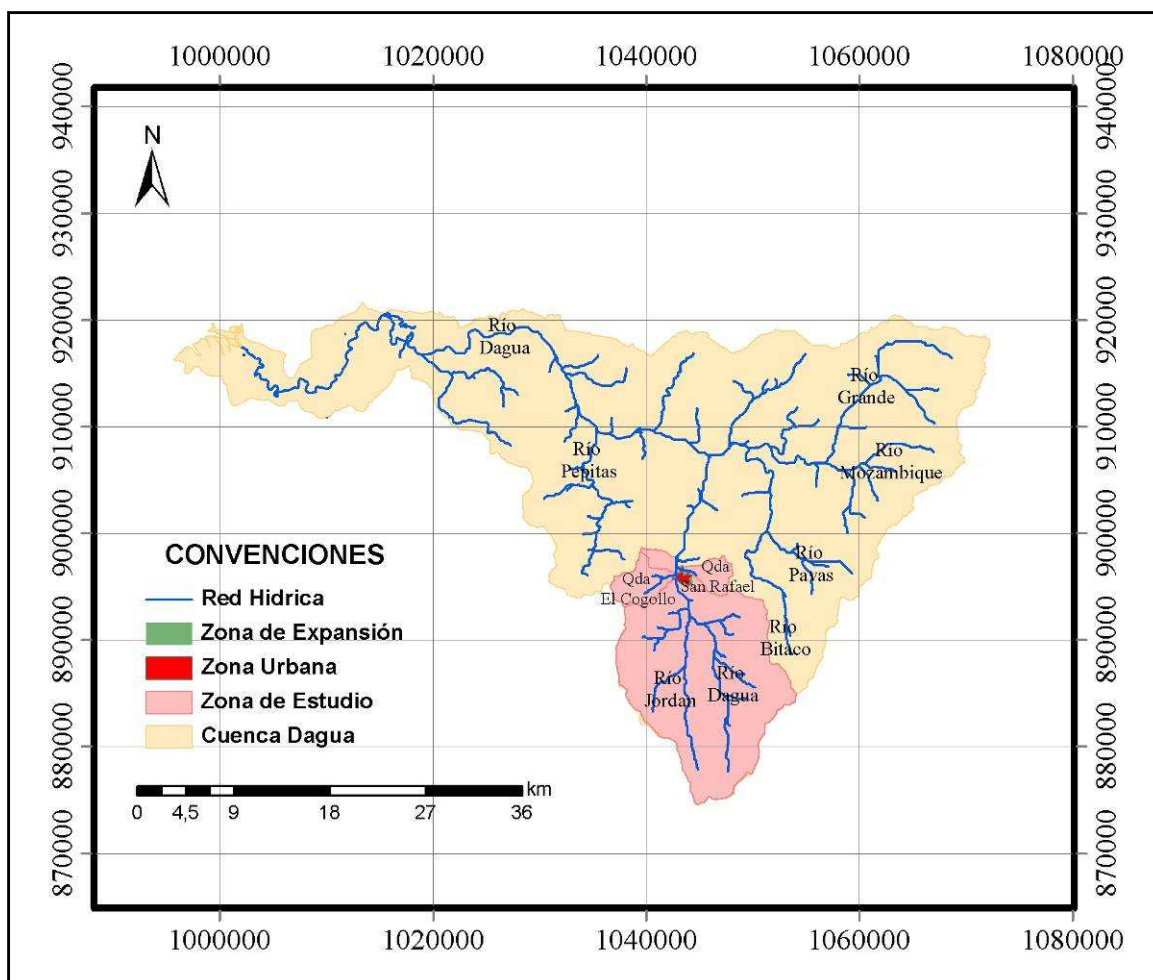


Figura 7.14 Descripción general de la red hidrica principal de la cuenca Dagua.

Entre las principales fuentes hídricas que amenazan la zona urbana y de expansión de la cabecera del municipio Dagua, se encuentran el río Dagua, la Quebrada el Cogollo y la Quebrada San Rafael también llamada Quebrada El Pijal, Aunque el río Bitaco es uno de los ríos que más aporta caudal al río Dagua, este río no es una amenaza al casco urbano del municipio de Dagua debido a que desemboca en el río Dagua aguas abajo del municipio en el sector de Loboguerrero.

Para complementar el análisis de las avenidas torrenciales se desarrollaron algunos aforos en la zona urbana. Además se instaló un limnómetro provisional. Es importante señalar que los aforos se hicieron en época de poca precipitación (época de estiaje), razón por la cual los caudales obtenidos se pueden considerar como caudal base.



Foto 7.26 Aforo del río Dagua en el puente de la Harinera de Dagua.



Foto7.27 Aforo de la Quebrada el Cogollo en el Balneario El Peñón.

A continuación en la Figura 7.15 y en la Tabla 7.8 se muestra la ubicación de los puntos de aforos y los caudales registrados por el método del molinete el 4 de septiembre de 2009 en el río Dagua a 75 metros aguas abajo del puente del molino de la harinera de Dagua y en la quebrada el Cogollo en el balneario el Peñón. En el Anexo 7.2 se presenta los resultados de los aforos realizados en el municipio de Dagua.

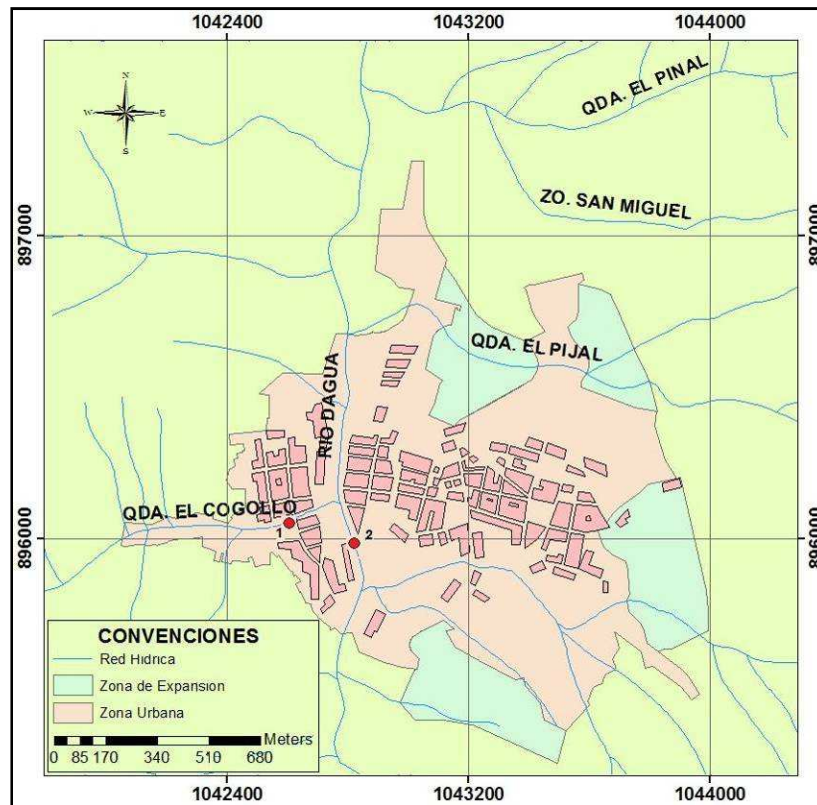


Figura 7.15 Ubicación de los puntos de aforo y de la mira.

Tabla 7.8. Resultados de los aforos realizados en la salida técnica al municipio de Dagua

RIO Y/O QUEBRADA	Punto	SITIO DE AFORO	CAUDAL (m³/s)	Velocidad Media (m/s)
Qda El Cogollo	1	Balneario el Peñón	0,5	0,20
Rio Dagua	2	Puente Molino Harinera	1,35	0,35

8. HIDRÁULICA

8. HIDRÁULICA

El presente documento contiene los estudios de caracterización hidráulica y sedimentológica realizados hasta la fecha de los diferentes cuerpos de agua que tienen incidencia en los fenómenos de inundaciones y crecientes torrenciales en la zona de estudio del municipio de Dagua.

La zona de estudio corresponde a las áreas urbanas y de expansión urbana del municipio de Dagua. Los límites de la cabecera municipal y zonas de expansión han sido suministrados por la administración municipal.

Adicionalmente existen zonas por fuera de estos límites que será necesario estudiar para obtener la información necesaria para la interpretación de los fenómenos de inundaciones y de crecientes torrenciales en la zona de interés.

La caracterización hidráulica y sedimentológica de los cauces que se estudiarán en el municipio de Dagua es el primer paso para dar inicio a la etapa de modelación matemática, ya que el software de modelación hidráulica necesita como insumo para su operación la topografía, la batimetría, los caudales de entrada a la zona de estudio y los valores de rugosidad del cauce y planicies de inundación.

Con base en el análisis de la información recopilada en la CVC de informes técnicos y las investigaciones de campo realizadas en desarrollo del presente estudio, se ha logrado reunir y calcular información valiosa en cuanto a las características geométricas, hidráulicas y sedimentológicas del río Dagua, como pendiente del cauce, geometría del canal, curvas granulométricas del material del lecho, rugosidad, caudales y niveles.

A partir de esta información, las observaciones directas en campo y la revisión bibliográfica acerca de las características hidráulicas y sedimentológicas en ríos de montaña se estimó la rugosidad del río Dagua y sus principales tributarios en la zona de interés del proyecto. Muchas de las expresiones reportadas en la literatura técnica para estimar la rugosidad en un cauce de pendiente fuerte y material del lecho grueso son función de diferentes parámetros, tales como caudal, profundidad, características sedimentológicas y pendiente.

El objetivo principal de este documento es presentar los trabajos desarrollados hasta la fecha respecto a la caracterización hidráulica y sedimentológica de los cauces en estudio en el municipio de Dagua en el marco del proyecto “Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión”.

Esta sección consta de cinco (5) capítulos:

Capítulo 8.1: Introducción en la que se exponen los motivos que justifican el presente trabajo, los objetivos y la organización del documento.

Capítulo 8.2: Recolección de información donde se presenta la información disponible recolectada, las investigaciones de campo realizadas como visitas de campo, delimitación de la zona de estudio, diseños de los programas de campo en lo concerniente a los requerimientos hidrológicos, topobatimétricos y geotécnicos, y, por último, la descripción de muestreos sedimentológicos realizados.

Capítulo 8.3: Caracterización sedimentológica e hidráulica, donde se presentan los resultados obtenidos con base en la información disponible hasta la fecha. En la parte sedimentológica se muestran los resultados de los diámetros característicos del material del lecho de los cauces y se describen los métodos utilizados. En la parte hidráulica se muestran los resultados de las relaciones caudal-parámetros hidráulicos y geométricos, secciones transversales, rugosidad, etc.

Capítulo 8.4: Definición de los conceptos de flujo como flujo fluvial y flujo torrencial. Clasificación del tipo de flujo en función de la concentración volumétrica de sedimentos. Se presentan algunos conceptos básicos de reología y mecánica de lodos, como las ecuaciones para determinar las pérdidas de energía que utiliza el modelo matemático FLO-2D.

Capítulo 8.5: Propuesta metodológica para la determinación de amenazas por inundación y crecientes torrenciales en la que se adoptan unos criterios de umbrales en magnitud y frecuencia para determinar los niveles de amenaza.

8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

8.1.1. Información disponible

8.1.1.1. Información recopilada acerca de eventos históricos

En el mes de marzo del año 2009 se realizaron visitas a la CVC, principalmente a la Subdirección de Recursos Hídricos y a la biblioteca, para recopilar información relacionada con los eventos históricos de inundaciones y avalanchas presentadas en el municipio de Dagua. Los documentos que fueron consultados para esta actividad en el municipio de Dagua fueron los siguientes:

- Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Dagua. (2001-2009).
- Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca. Convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle. 2005.
- Proceso de carcavamiento de los afluentes de la quebrada El Cogollo, barrio La Esneda, municipio de Dagua. Informe técnico CVC SGA-1-020-99. 1999.

En estos documentos se encontró información en cuanto a los eventos naturales que representan amenazas en la zona urbana y de expansión urbana.

El Comité Local de Emergencia (CLE) ha detectado algunos de los eventos naturales que representan riesgos en el municipio de Dagua. En la zona urbana, uno de los sectores más afectados por inundaciones es el barrio La Esneda, el cual se encuentra ubicado al occidente de la cabecera municipal sobre la margen izquierda de la quebrada El Cogollo, ocupando la franja forestal protectora de este cauce. A lo largo de su trayecto hacia el río Dagua, la quebrada El Cogollo atraviesa el barrio la Esneda. En la Figura 8.1 se muestran las zonas de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales en el municipio de Dagua y la ubicación del barrio La Esneda.

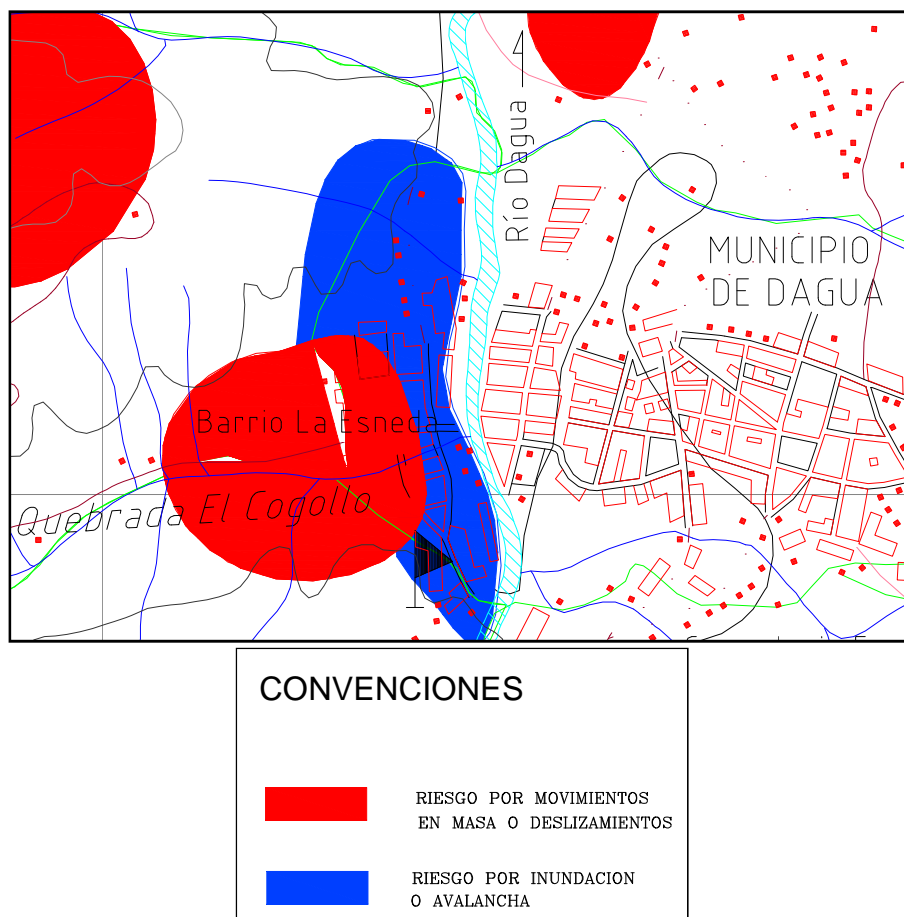


Figura 8.1 Mapa de amenazas por eventos naturales en la cabecera municipal del municipio de Dagua.

(Fuente: PBOT del municipio de Dagua (2001 – 2009).

El barrio La Esneda se encuentra localizado sobre zonas susceptibles a deslizamientos e inundaciones. A lo largo de su trayecto por el barrio La Esneda, la quebrada El Cogollo pasa por un cañón rectangular, cuya vertiente derecha presenta pendientes muy fuertes (entre 60 y 90°) y cuya vertiente izquierda presenta pendientes altas (entre 45 y 60°).

Según el informe técnico de la CVC (Proceso de carcavamiento de los afluentes de la quebrada El Cogollo, barrio La Esneda, municipio de Dagua, CVC, 1999) la vertiente

izquierda de la quebrada El Cogollo, aproximadamente un kilómetro aguas arriba de su confluencia con el río Dagua, ha tenido problemas de cárcavamiento desde hace más de 40 años. Por esta razón se pueden desencadenar deslizamientos que a su vez son los causantes de las avenidas torrenciales o avalanchas debido a la gran cantidad de sedimentos que puede ser aportado por las laderas a la quebrada, generando un represamiento de material. Debido a las condiciones morfológicas de este cauce, como su elevada pendiente, esta corriente es propensa a que ocurran crecientes torrenciales a lo largo de su recorrido por el barrio La Esneda.

8.1.1.2. Información recopilada sobre la caracterización de los cauces de la zona de estudio del municipio de Dagua

Para el municipio de Dagua, la información existente de las corrientes en cuanto a pendiente, geometría, caudales y demás parámetros hidráulicos se consultó en la CVC, tanto en las oficinas de la Subdirección de Gestión Ambiental y Recursos Hídricos como en la biblioteca, durante el mes de abril de 2009. El proceso realizado fue consultar una serie de libros relacionados con el municipio de Dagua, y de cada uno de ellos se extrajo la información de interés.

Los artículos principales de los cuales se recopiló dicha información se listan a continuación a manera de bibliografía:

- Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua. 2007. (*Artículo Biblioteca CVC*)
- Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca. Convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle. 2005.

De los anteriores documentos se extrajeron algunas características hidrológicas e hidráulicas de la cuenca del río Dagua y algunos valores de caudales y precipitación. La información relevante de estos estudios se presenta más adelante.

8.1.2. Investigación de campo

El reconocimiento de la zona de estudio en el municipio de Dagua se dio inicio con las visitas de campo realizadas los días 18 de marzo, 4 de mayo, 5 de mayo y 2 de septiembre de 2009, donde se recorrió la zona urbana y las zonas de expansión urbana para la identificación de las corrientes de agua (cauces naturales, acequias, canales) que deben ser estudiados. Además se visitaron la oficina regional de la CVC y la Alcaldía Municipal (oficina de Planeación Municipal) para la recolección de información (PBOT, informes del CLOPAD, registros de eventos históricos, informes técnicos, etc.).

8.1.2.1. Cauces a modelar y monitorear en el estudio

Entre la información que se logró recopilar, se encuentran los siguientes datos importantes suministrados por el personal de la CVC y de Planeación Municipal del municipio de

Dagua, y que sirvió para la identificación de los cauces y corrientes de agua que deben ser monitoreados durante el estudio.

El cauce principal que atraviesa el municipio de Dagua es el río Dagua, el cual se inundó en abril de 2006, amenazando con derrumbar el puente situado algunos metros aguas abajo de la desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua sobre la margen izquierda. El río Dagua además presenta problemas de inundación a lo largo de todo su recorrido por la zona urbana y de expansión urbana, hasta el Estadio, afectando sobre todo la margen izquierda de la zona urbana.

Otro cauce de vital importancia para el municipio es la quebrada El Cogollo, la cual abastece de agua al municipio. Esta quebrada presenta problemas de desbordamientos y crecientes torrenciales, afectando el barrio La Esneda ubicado sobre la margen izquierda, como se mencionó anteriormente. Según las autoridades municipales y el PBOT la quebrada El Cogollo presenta más desbordamientos que el río Dagua.

También existen en el municipio dos quebradas más, la quebrada El Pajal o San Rafael y la quebrada Cola de Gurre (1 y 2). La quebrada El Pajal desemboca en el río Dagua sobre la margen derecha al norte de la cabecera municipal. Aunque no se tienen registros históricos acerca de inundaciones y crecientes torrenciales en esta quebrada, es necesario modelarla pues es uno de los cauces importantes que recorre el municipio.

La quebrada Cola de Gurre 1 desemboca en el río Dagua sobre la margen derecha al sur del municipio, a la altura de la Harinera del Valle. La quebrada Cola de Gurre 2 desemboca en la quebrada Cola de Gurre 1 algunos metros aguas arriba de la desembocadura de esta última en el río Dagua.

Tanto las quebradas Cola de Gurre 1 y 2 como la quebrada San Rafael o El Pajal a lo largo de su recorrido por el municipio, van canalizadas en la mayoría del trayecto, pasando por debajo de las casas en algunos sectores. Actualmente estas quebradas se han convertido en canales de agua residuales y al verse excedida su capacidad, se desbordan, originando la inundación de algunos sectores del municipio, y por lo tanto, deberán incluirse en el modelo matemático a construir en este estudio.

En la Figura 8.2 se muestra el esquema de las principales captaciones del río Dagua en la zona de estudio.

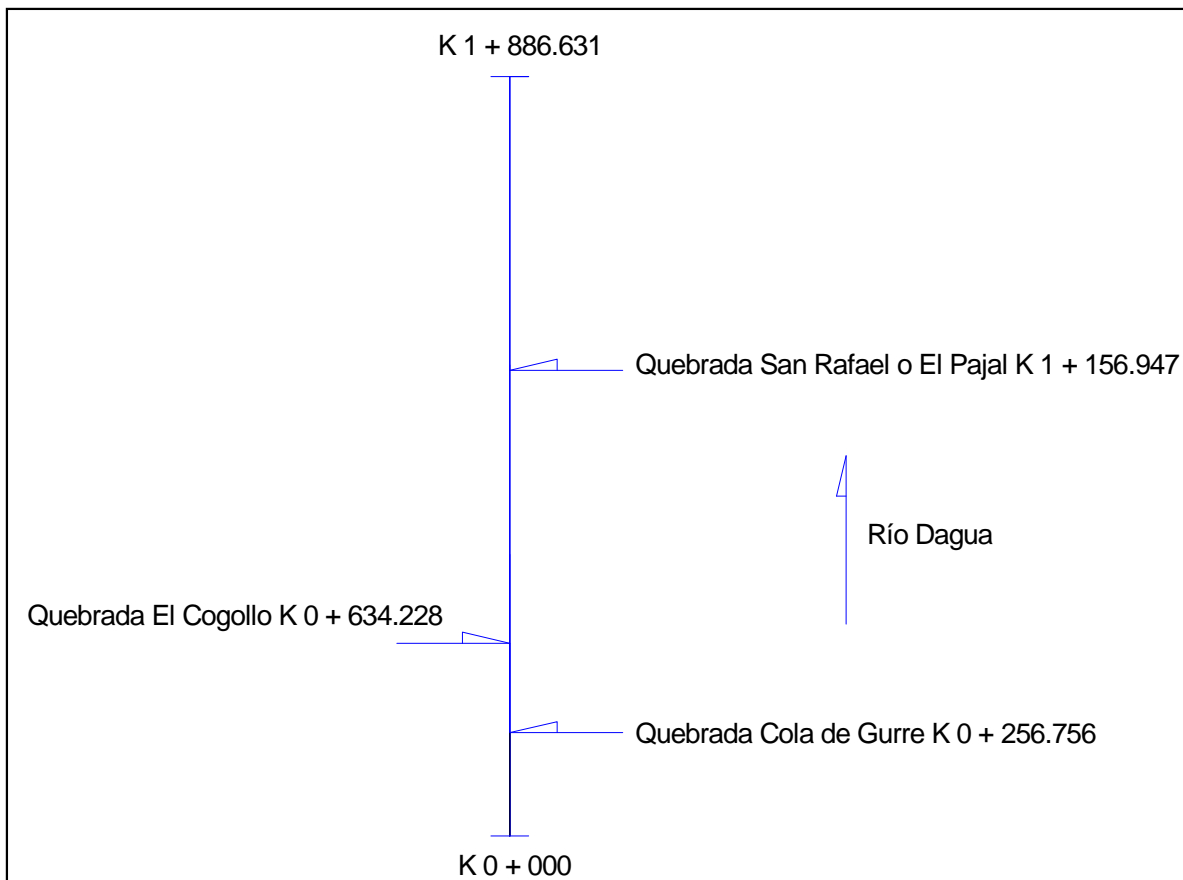


Figura 8.2 Esquema de las principales corrientes tributarias del río Dagua en la zona de estudio del municipio de Dagua.

8.1.2.2. Diseño del programa de campo

8.1.2.2.1. Delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio del municipio de Dagua tiene un área de 189 ha y un perímetro con una longitud de 7.4 km, que incluye tanto el casco urbano actual como la zona de expansión urbana. La zona urbana actual tiene un área total de 135 ha y un perímetro de longitud de alrededor de 9.7 km; la zona de expansión urbana tiene un área de 41 ha y un perímetro de aproximadamente 6 km. La zona de estudio fue definida para abarcar todos los sectores en el casco urbano y de expansión urbana susceptibles a los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales. En la Figura 8.3 se muestra la zona de estudio del municipio de Dagua.

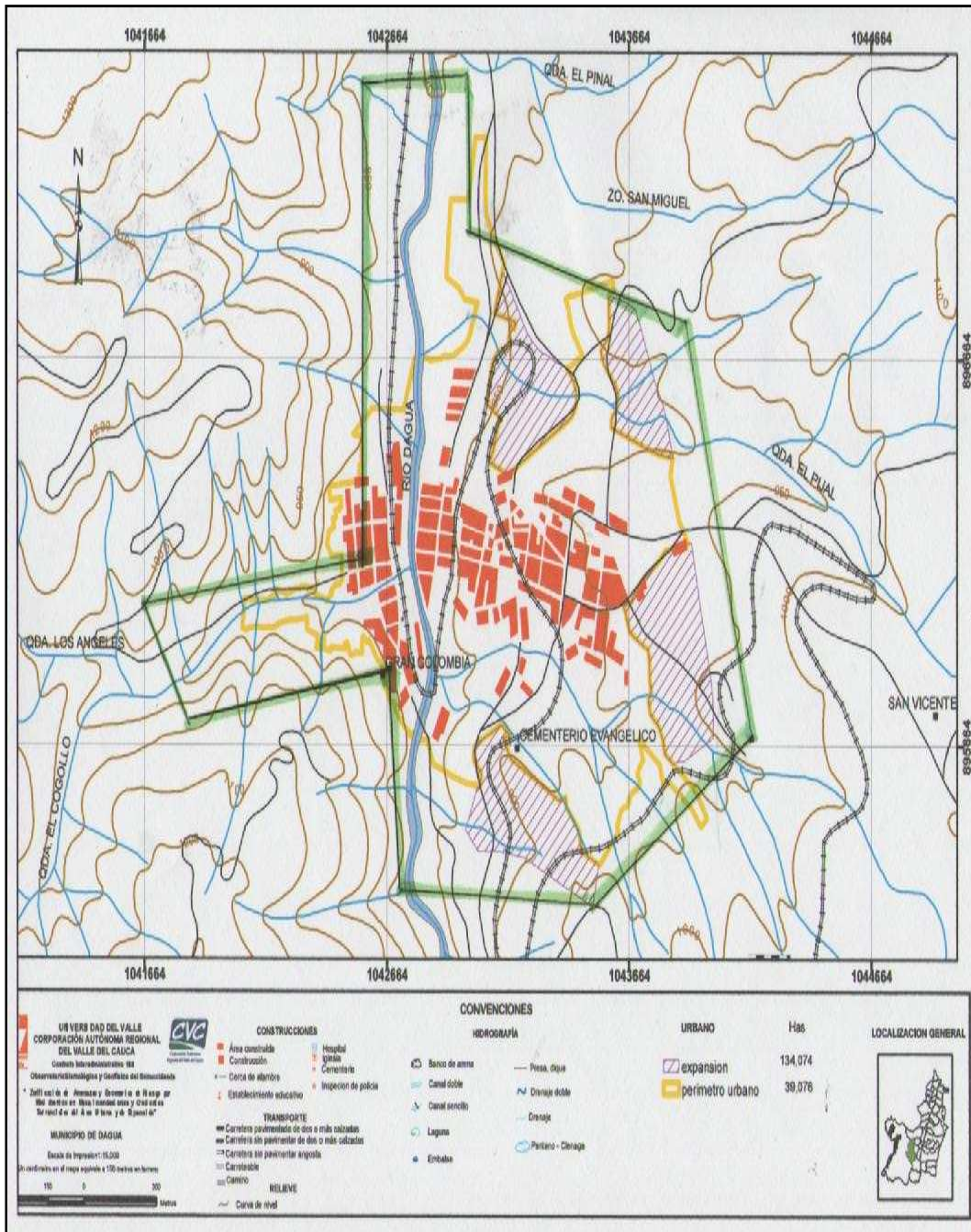


Figura 8.3 Perimetro de la zona de estudio del municipio de Dagua.

8.1.2.2.2. Requerimientos topobatimétricos

Para efectuar el levantamiento topobatimétrico de las secciones transversales de los diferentes cauces y canales se deben tener en cuenta los siguientes criterios los cuales permitirán la adecuada localización de las secciones de los cauces y las fronteras del modelo:

- Las secciones deben localizarse preferiblemente en tramos rectos del cauce.
- Las secciones no deben estar ubicadas en sectores en los cuales existan barras centrales e islas en medio del cauce.
- Las bancas de las secciones deben ser estables.
- Las secciones deben ser representativas de la morfología del cauce en cada tramo, y en su conjunto deben ser representativas de la configuración morfológica de todo el cauce.
- Las secciones transversales deben localizarse donde haya cambios importantes en la rugosidad del cauce y en la pendiente del río.
- Las secciones se deben ubicar aguas arriba y aguas abajo de la desembocadura de corrientes tributarias importantes.
- Las secciones deben localizarse en las fronteras del modelo (aguas arriba, aguas abajo e internas).

De acuerdo a estas recomendaciones, se definió el espaciamiento aproximado entre las secciones transversales a monitorear en los diferentes cauces, quebradas y acequias. Esta información topobatimétrica de los diferentes cauces es de gran importancia para efectuar la modelación matemática de los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales.

Los cauces a estudiar en el municipio de Dagua son el río Dagua, las quebradas El Cogollo, San Rafael o El Pajal y Cola de Gurre 1 y 2.

Las secciones transversales a monitorear estarán espaciadas así:

- Río Dagua: cada 80 m
- Quebrada El Cogollo: cada 100 m
- Quebrada San Rafael o El Pajal: cada 100 m
- Quebradas Cola de Gurre 1 y 2: cada 120 m

Vale la pena aclarar que debido a limitaciones presupuestales se detallarán más los cauces principales, levantando en consecuencia más secciones transversales en el río Dagua ya que este cauce debe ser caracterizado de forma más detallada. Por lo tanto, en este río el espaciamiento entre secciones es menor que en las demás corrientes de agua. Sin embargo, a pesar del gran espaciamiento entre las secciones transversales de las quebradas, las secciones a levantar son suficientes para reflejar la variación de la geometría (o morfología) de dichas corrientes puesto que éstas son canales artificiales en la mayoría de su trayecto a lo largo del municipio, y su variación geométrica a lo largo de su recorrido por la zona de estudio es mínima.

A continuación se indican las longitudes de los cauces a estudiar, el número total de las secciones transversales a monitorear y las fronteras del modelo para el municipio de Dagua.

Río Dagua

La longitud total del tramo a modelar del río Dagua es de 1900 m, y se levantarán 25 secciones transversales espaciadas cada 80 m.

El río Dagua en su recorrido por la cabecera municipal fluye en dirección sur - norte. La frontera superior del río Dagua (al sur del casco urbano), ver Foto 8.1, fue establecida a alrededor de 700 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada El Cogollo y a 155 m aguas arriba del puente vial de la Harinera del Valle.

La frontera inferior se localizó a 1200 m después de la desembocadura de la quebrada El Cogollo, ver Foto 8.2.



Foto 8.1 Río Dagua en la frontera superior.



Foto 8.2 Desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua, sobre la margen izquierda.



Foto 8.3 Frontera inferior del río Dagua.

Quebrada El Cogollo

La longitud total del tramo a modelar de la quebrada El Cogollo es de 856 m, y se levantarán 9 secciones transversales espaciadas cada 100 m. La frontera interna inferior se localizó en la desembocadura en el río Dagua, sobre la margen izquierda. La frontera superior de la quebrada El Cogollo se ubicó en el Balneario El Peñón, justo antes del barrio La Esneda.



Foto 8.4 Frontera aguas arriba de la quebrada El Cogollo.



Foto 8.5 Quebrada El Cogollo antes de la desembocadura en el río Dagua.

Quebrada San Rafael o El Pajal

El tramo total a modelar de esta corriente es de 1230 m, y se levantarán 13 secciones transversales espaciadas cada 100 m aproximadamente.

La frontera interna inferior de la quebrada San Rafael se ubicó en la desembocadura en el río Dagua sobre la margen derecha, y la frontera superior de este cauce se localizó en el barrio El Porvenir, a 1230 m aguas arriba de su confluencia con el río Dagua.



Foto 8.6. Desembocadura de la quebrada San Rafael en el río Dagua.



Foto 8.7 Quebrada San Rafael aguas arriba de su desembocadura en el río Dagua.



Foto 8.8 Quebrada San Rafael en el barrio El Porvenir – frontera superior.

Quebrada Cola de Gurre (1 y 2)

La quebrada Cola de Gurre 1 es la más larga de ellas. Desemboca directamente en el río Dagua a la altura de lo que anteriormente fue Molinos Dagua (en este lugar queda actualmente la Harinera del Valle), en el puente El Molino o puente del Ferrocarril. Ver Foto 8.9.

La longitud total a modelar de este cauce es de 1120 m, y se levantarán 13 secciones transversales espaciadas cada 100 m aproximadamente.

La frontera interna inferior de esta quebrada fue establecida en la desembocadura en el río Dagua sobre la margen derecha, y la frontera superior se localizó a 1120 m aguas arriba de este punto.

La quebrada Cola de Gurre 2 desemboca en la quebrada Cola de Gurre 1 a aproximadamente 51 m aguas arriba de la desembocadura de esta última en el río Dagua.

La longitud total a modelar de este cauce es de 871 m, y se levantarán 8 secciones transversales espaciadas cada 120 m aproximadamente.

La frontera interna inferior de este cauce se localizó en la desembocadura de la quebrada Cola de Gurre 2 en la quebrada Cola de Gurre 1, y la frontera superior se ubicó a 871 m aguas arriba de este punto.



Foto 8.9 Quebrada Cola de Gurre 1 en el Puente El Molino o Ferrocarril, desembocando al río Dagua – Frontera aguas abajo.



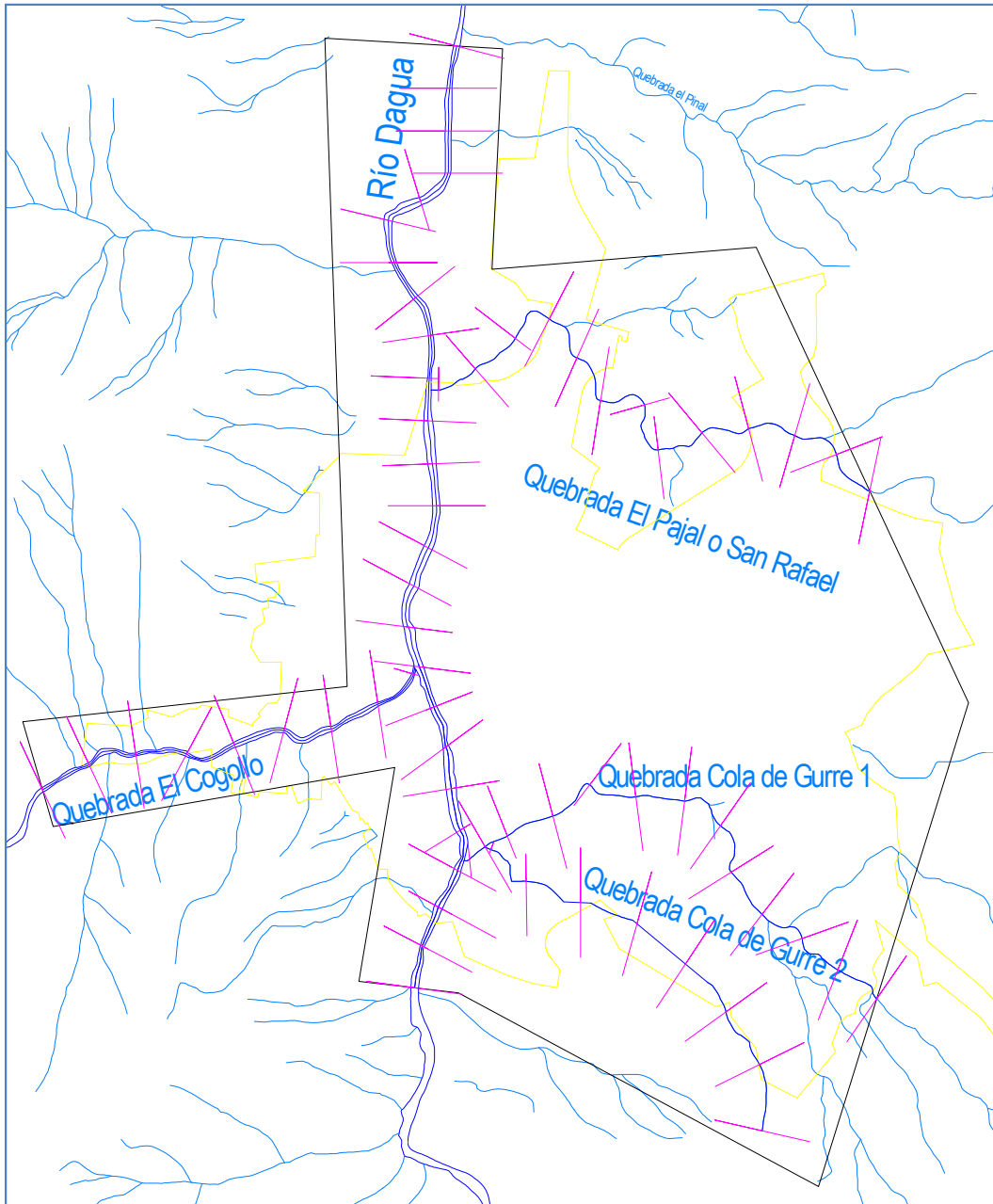
Foto 8.10 Quebrada Cola de Gurre 1 fluyendo por una tubería de aguas residuales.

Se levantarán en total para el municipio de Dagua **68 secciones transversales**.

En la Tabla 8.1 se presenta el resumen de los cauces en los cuales se efectuarán levantamientos topobatimétricos en el municipio de Dagua, así como la longitud de los mismos, el número de secciones a levantar y el número de aforos líquidos a realizar. En la Figura 8.4 se presenta la localización de las secciones transversales a levantar en el municipio de Dagua.

Tabla 8.1. Resumen de los cauces, ubicación de las fronteras, longitudes totales, programa de mediciones topobatimétricas (cauces y secciones transversales a levantar) y programas de aforos líquidos a realizar en el municipio de Dagua.

Cauce	Frontera superior	Frontera inferior	Longitud del cauce a modelar (m)	Número de secciones con levantamiento batimétrico y topográfico	Distancia entre secciones en la zona de estudio (m)	No. Aforos
Río Dagua	155 m aguas arriba del puente vial sobre la Harinera del Valle (700 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada El Cogollo)	1200 m aguas abajo de la desembocadura de la quebrada El Cogollo	1900	25	80	Dos aforos en el puente vial de la Harinera del Valle, en dos días distintos
Quebrada El Cogollo	Balneario El Peñón, ubicado 856 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua	Frontera interna en la desembocadura en el río Dagua sobre la margen izquierda	856	9	100	Un aforo en la frontera superior
Quebrada San Rafael o El Pajal	1230 m aguas arriba de su confluencia con el río Dagua sobre la margen derecha, en el barrio El Porvenir	Frontera interna en la desembocadura en el río Dagua	1230	13	100	
Quebrada Cola de Gurre 1	1120 m aguas arriba de la confluencia con el río Dagua	Frontera interna en la desembocadura de la quebrada en el río Dagua, a la altura del puente El Molino o puente del Ferrocarril	1120	13	100	
Quebrada Cola de Gurre 2	871 m aguas arriba de la desembocadura en la quebrada Cola de Gurre 1	Frontera interna en la desembocadura en la quebrada Cola de Gurre 1 (este punto está a 51 m aguas arriba de la desembocadura en el río Dagua de la quebrada Cola de Gurre 1)	871	8	120	
			TOTAL	68		3



ESCALA 1: 13573.002

Figura 8.4 Localización de las secciones transversales a levantar en la zona de estudio del municipio de Dagua.

8.1.2.2.3. Requerimientos hidrológicos

- Para efectuar la modelación de los diferentes eventos catastróficos de inundaciones y avenidas torrenciales en el municipio de Dagua es necesario determinar las condiciones hidrológicas en las fronteras del área a modelar. En las fronteras superiores de los tramos a modelar del río Dagua y en la quebrada El Cogollo se deben estimar los caudales para los diferentes periodos de retorno definidos en los términos de referencia del proyecto.
- También se requiere la información de la pluviosidad (intensidad y duración) en la zona de estudio para los diferentes periodos de retorno especificados.
- Los aforos deben realizarse preferiblemente durante niveles y caudales altos, y en secciones ubicadas en tramos rectos, estables y de cauce único (sin islas y/o barras interiores).

8.1.2.2.4. Requerimientos de granulometría del material del lecho

Referente a la determinación de las características granulométricas y reológicas de los sedimentos de los cauces es necesario realizar las siguientes precisiones:

- La caracterización granulométrica del material del lecho de los cauces se realizará mediante la técnica denominada Método Superficial de Malla, la cual consiste en tomar un registro fotográfico de un recuadro graduado de 1.0 m x 1.0 m en un sitio del lecho que contenga material representativo de la zona explorada. Posteriormente se procede a retirar del espacio seleccionado en el recuadro la capa superficial del suelo (coraza) para obtener una muestra volumétrica subsuperficial, después de haber tomado otro registro fotográfico. Finalmente la muestra es llevada al laboratorio para efectuar el ensayo de granulometría de material grueso.
- Las características granulométricas del material de las bermas (material fino) se realizará también mediante la toma de una muestra para ser llevada al laboratorio y realizar el ensayo de granulometría de material fino.
- Finalmente, para determinar las características reológicas del material transportado en suspensión durante las avenidas, se tomarán muestras del material del lecho del cauce y sus bermas en el sector del cono de deyección, en sectores con depósitos de materiales finos y en las zonas identificadas como susceptibles a los movimientos en masa, cuyos materiales eventualmente pueden llegar a los cauces con influencia en la zona de estudio. Posteriormente, las muestras serán llevadas al laboratorio para efectuar los ensayos de granulometría completa, gravedad específica y límites de Atterberg (límites plásticos y líquidos).

En la Tabla 8.2 se indica, para cada corriente a estudiar en el municipio de Dagua, la clase y cantidad de ensayos que se deben realizar.

Tabla 8.2. Muestreo del material del lecho a realizar en los cauces del municipio de Dagua.

Tipo de muestreo	Método de muestreo y análisis	Río Dagua	Quebrada El Cogollo	Quebrada Cola de Gurre 1	Quebrada Cola de Gurre 2	Quebrada El Pajal o San Rafael
Muestra superficial de material granular grueso en el lecho del cauce	Muestreo superficial y análisis fotográfico	5	3	1	1	1
Muestra superficial de material fino en zonas del cauce e inundables (cono de deyección)	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado e hidrometría	8	4	3	3	3
Muestra en la zona susceptible a deslizamientos adyacentes a los cauces	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado e hidrometría	3	2	1	1	1
Muestra subsuperficial	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado	3	2	1	1	1

8.1.2.3. Muestreo sedimentológico

Otro de los objetivos de las salidas de campo fue tomar muestras del material del lecho y la llanura de inundación de los cauces, con el fin de llevar a cabo la caracterización sedimentológica. Además del muestreo volumétrico convencional (en el cual se toma un determinado volumen o cantidad de material del lecho y es llevado al laboratorio para el respectivo análisis granulométrico), se realizó un muestreo superficial tomando un registro fotográfico del material del lecho para aplicar posteriormente el método superficial por malla (este método se describe más adelante), utilizado para efectuar el análisis granulométrico. Esto con el objeto de determinar la curva granulométrica de los sedimentos y materiales del lecho al igual que los diferentes diámetros característicos (d_{15} , d_{35} , d_{50} , d_{65} , d_{85} y d_{90}).

Dado que el río Dagua corresponde principalmente a un cauce conformado por materiales granulares gruesos, fue necesario emplear un método de muestreo superficial en muchos sitios debido al tamaño de los sedimentos (el método de muestreo volumétrico requeriría la

recolección de volúmenes muy grandes del material del lecho). Se realizó un recorrido de reconocimiento a lo largo del río Dagua para identificar o establecer los sitios de muestreo del material del lecho, de acuerdo con la variación espacial observada en la distribución de tamaños del mismo. El muestreo superficial del material del lecho se realizó mediante registros fotográficos, tomando un área de 1.0 m x 1.0 m en diferentes sectores, a lo largo del trayecto de este cauce por la zona de estudio. El muestreo volumétrico (o másico) fue utilizado en sitios y sectores donde se observó una granulometría más fina con mayores porcentajes de materiales finos (arenas de diferentes tamaños, limos y arcillas). En la quebrada El Cogollo se llevó a cabo el mismo proceso.

8.2. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA E HIDRÁULICA

8.2.1. Caracterización sedimentológica

8.2.1.1. Descripción del método de muestreo

Método malla-número

Con las fotografías tomadas durante las visitas de campo se realizó el análisis granulométrico del material superficial del lecho utilizando un procesamiento fotográfico a través del método de malla-número. Las fotografías se tomaron utilizando un marco de PVC de aproximadamente 1 m² de área, previamente demarcado con cintas métricas que sirven como referencia de medida en cada lado. El método de malla-número únicamente considera las partículas en las intersecciones de una malla que abarca el área de muestreo predefinida de 1 m². El procesamiento digital en computador consiste en dibujar una malla sobre la fotografía, delinear las partículas en las intersecciones de la malla y medir el diámetro o eje medio (eje b) (ver Figura 8.5). El procedimiento consiste en contar las piedras que se encuentran en las intersecciones y clasificarlas en los siguientes rangos de tamaños: menores que 10 mm; 10-20 mm; 20-30 mm; 30-40 mm; 40-50 mm; 50-60 mm; 60-70 mm; 70-80 mm; 80-90 mm; y 90-100 mm. Con el número de piedras correspondientes a cada rango se calcula el porcentaje de cada rango con respecto al número total de intersecciones. Los puntos donde no existen intersecciones de la malla con partículas visibles se deben tener en cuenta porque corresponden al porcentaje de partículas más finas (menores que 3 mm). Con esta información se construye la curva de distribución de frecuencias (curva granulométrica) la cual permite estimar los diámetros y parámetros característicos del material del lecho.

Para el uso adecuado del método se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones de la bibliografía consultada:

- Selección de un sitio representativo de los diferentes tamaños de partículas encontradas en la playa.
- Toma de fotografías digitales normales al lecho, para evitar distorsión en la escala.

- La malla debe tener un espaciamiento aproximadamente igual al diámetro máximo encontrado (D_{max}), el cual corresponde a la longitud del eje b o eje medio de la partícula de sedimento de mayor tamaño. En este caso el D_{max} encontrado del lecho es de aproximadamente 10 cm; por lo tanto el espaciamiento de la malla es de 0.1 m.
- El área muestreada debe ser mayor o igual a $100 (D_{max})^2$ (Diplas y Fripp, 1992).

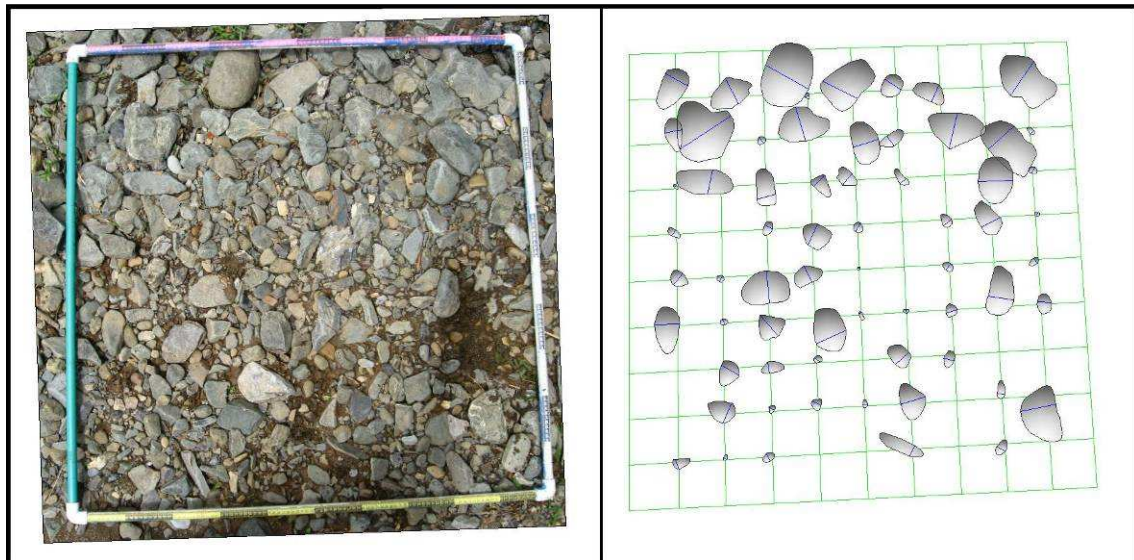


Figura 8.5 Identificación de partículas para análisis granulométrico mediante el método de malla-número
 (a) Muestra fotográfica; (b) Partículas delimitadas en las intersecciones de la malla.

Método área-frecuencia

En el cauce del río Dagua se encontraron piedras de tamaños muy grandes con diámetros superiores a 50 cm. Para el análisis de estas fotografías se utilizó la metodología que relaciona el área total ocupada por un material de un tamaño preestablecido con el área total de muestreo (método área-frecuencia), así: (1) Se definieron los siguientes rangos de tamaño (ejes medios): menores que 5 mm; 5-10 mm; 10-20 mm; 20-30 mm; 30-40; y así sucesivamente hasta el rango correspondiente al D_{max} . (2) El procesamiento digital se basó en la delimitación de todas las piedras (ver Figura 8.6) y se determinó la longitud del eje medio (eje b). Con este valor se ubicó el diámetro de cada piedra en cada uno de los rangos de tamaño predefinidos; (3) Se determinaron las áreas de la piedras y se sumaron todas las correspondientes a un mismo rango de tamaños; (4) Se determinó el porcentaje del área total ocupado por cada rango de tamaños. La fracción de tamaños menores que 5 mm se asumió como la diferencia entre el 100% del área total y la sumatoria de los porcentajes correspondientes a los demás rangos de tamaños.

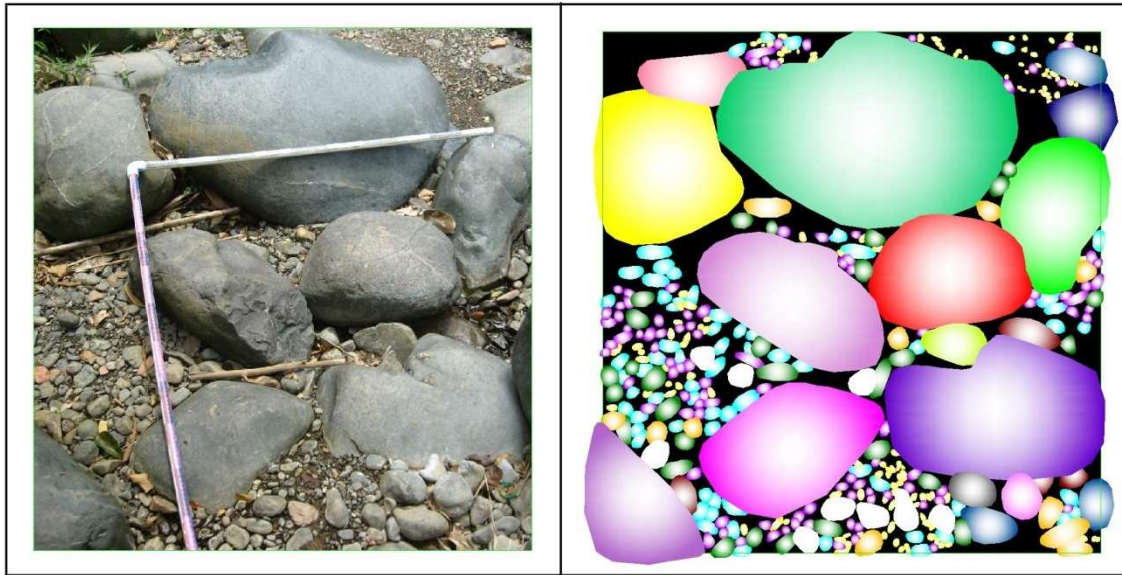


Figura 8.6 Identificación de partículas para análisis granulométricos por el método área-frecuencia (a) Muestra fotográfica; (b) Rangos de partículas de diferentes diámetros.

8.2.1.2. Métodos de conversión

A veces es necesario combinar dos o más métodos de muestreo para obtener una distribución de tamaños de partículas representativa. Esto se conoce como método híbrido.

Diferentes métodos de muestreo y análisis aplicados al mismo lecho o depósito de materiales producen diferentes distribuciones de tamaño de partículas (Bunte y Abt, 2001). Debido a que las partículas grandes ocupan un mayor volumen que las partículas más pequeñas para idéntica área superficial, el muestreo por el método de malla-número tiende a ser distorsionado o sesgado hacia los tamaños de gravas más gruesos. En consecuencia, las muestras colectadas y analizadas por diferentes métodos deben ser transformados a una misma categoría de métodos de muestreo y análisis, para así poder integrarlas (cuando se emplea un método híbrido) o compararlas. Esta transformación se logra aplicando factores de conversión a las distribuciones de tamaño de partículas obtenidas de acuerdo con la técnica de muestreo y el método de análisis empleado.

Algunos autores han propuesto diferentes métodos y modelos para convertir las distribuciones de tamaños de partículas entre las diferentes categorías de muestreo y análisis. El proceso de conversión es complicado debido a que el sesgo hacia los materiales gruesos o hacia los finos no es lineal y, además, varía con el tamaño de los granos.

El método o modelo de conversión propuesto por Kellerhals y Bray (1971) es uno de los más usados y permite convertir una curva granulométrica obtenida empleando un determinado método de muestreo (M1) y una técnica de análisis de tamaños (A1) a otro método de muestreo (M2) y de análisis de tamaños (A2), según la siguiente expresión:

$$P_{M_2-A_2} = \frac{P_{M_1-A_1} \times D_i^x}{\sum (P_{M_1-A_1} \times D_i^x)} \quad \text{ec. (1)}$$

Donde:

$P_{M_1-A_1}$ = porcentaje de la fracción de tamaño D_i obtenido empleando el método de muestreo M_1 de análisis A_1 .

$P_{M_2-A_2}$ = porcentaje equivalente de la fracción de tamaño D_i si se emplea el método de muestreo M_2 y de análisis A_2 .

D_i = diámetro medio geométrico de la fracción de tamaño entre i y $i+1$.

x = exponente que depende de los métodos de muestreo y los tipos de análisis (empleados y equivalentes).

Los diferentes procedimientos de muestreo pueden finalmente clasificarse en 3 tipos: volumétrico, por área y por malla. Los métodos de análisis de tamaños son de dos clases: frecuencia por peso o frecuencia por número. Por lo tanto, resultan seis posibles formas de muestrear y analizar la distribución de tamaños del material del lecho de un cauce.

En la Tabla 8.3 se presenta el valor del exponente “ x ” a utilizar en la expresión de Kellerhals y Bray para convertir la curva granulométrica obtenida mediante un cierto método de muestreo y de análisis a una equivalente empleando otro método de muestreo y de análisis.

El análisis de una muestra volumétrica por el método de frecuencia por número es técnicamente posible mas no práctico, por lo cual no se incluyó en el cuadro anterior (Bunte y Abt, 2001).

El río Dagua en el tramo de estudio presenta las características de un río de montaña con lecho constituido por materiales granulares gruesos (gravas, guijarros y piedras). Debido a ello y teniendo en cuenta las dificultades para muestrear volumétricamente la capa superficial de un río de lecho de gravas y piedras se optó por emplear dos métodos de muestreo superficial de malla (malla-número y área-frecuencia) en las corrientes de agua del municipio de Dagua. Para ambos métodos se siguió el procedimiento fotográfico referido en el numeral 8.3.1.1, y se empleó la técnica de análisis de frecuencia por número. Después de retirar cuidadosamente la capa superficial gruesa se tomó una muestra volumétrica o másica del material subyacente, la cual fue llevada al laboratorio para su respectivo análisis por tamizado (es decir, análisis de frecuencia por peso). Siempre fue observado que el material subsuperficial presentaba una granulometría más fina que el material de la capa superficial, lo cual sugiere la presencia de una capa de armadura o coraza superficial más gruesa en el río Dagua y la quebrada El Cogollo.

Puesto que las muestras superficiales fueron recolectadas empleando el muestreo superficial por malla y analizadas mediante la técnica de frecuencia por número, resulta necesario convertir las granulometrías obtenidas al mismo sistema o procedimiento de muestreo y análisis utilizado para las muestras subsuperficiales, es decir, muestreo

volumétrico y análisis de frecuencia por peso. Para efectuar esta conversión, el exponente a aplicar en la expresión de Kellerhals y Bray es $x = 0$ (ver Tabla 8.3). Esto significa finalmente que las curvas granulométricas obtenidas mediante muestreo volumétrico (o másico) y análisis de frecuencia por peso y las obtenidas mediante el muestreo superficial por malla y análisis de frecuencia por número son idénticos, de acuerdo con el modelo del cubo sin vacíos propuesto por Kellerhals y Bray (1971).

Tabla 8.3. Valores de x para la expresión de Kellerhals y Bray para convertir curvas granulométricas obtenidas por diferentes métodos de muestreo.

Conversión de	Conversión a:				
	Volumen - frecuencia por peso	Malla - frecuencia por número	Malla - frecuencia por peso	Área - frecuencia por número	Área - frecuencia por peso
Volumen - frecuencia por peso	0	0	3	-2	1
Malla - frecuencia por número	0	0	3	-2	1
Malla - frecuencia por peso	-3	-3	0	-5	-2
Área - frecuencia por número	-2	2	5	0	3
Área - frecuencia por peso	-1	-1	2	-3	0

8.2.1.3. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua y la quebrada El Cogollo

En la Tabla 8.4 se presentan los diámetros característicos del material del lecho en cinco sectores del río Dagua determinados mediante el método de malla-número. En la Tabla 8.5 se presentan los diámetros característicos del material del lecho del río Dagua en el puente vial de la Harinera del Valle mediante el método de área-frecuencia. Se tomaron y analizaron dos fotografías en el mismo lugar. En la Tabla 8.6 se presentan los diámetros característicos de la quebrada El Cogollo en la frontera superior.

Los valores de los diámetros característicos faltantes en las Tablas 8.4, 8.5 y 8.6 en algunos de los sectores de muestreo no pudieron ser determinados mediante los métodos superficiales empleados (método de malla-número y método de área-frecuencia) ya que dichos métodos registran porcentajes para diámetros mayores a 5 mm. En muchas de las fotografías analizadas, el porcentaje de material cuyo diámetro es menor a 5 mm es superior al 30% (d_{30}). Por lo tanto, los valores para d_{10} y d_{16} no siempre pudieron ser determinados.

En las Figuras 8.7 y 8.8 se presentan las curvas granulométricas obtenidas de los análisis granulométricos por los métodos de malla-número y de área-frecuencia del material del lecho del río Dagua y las curvas granulométricas promedio y sus correspondientes diámetros característicos. En la Figura 9.9 se presenta la curva granulométrica obtenida del análisis granulométrico por el método de malla-número del material del lecho de la quebrada El Cogollo.

Tabla 8.4. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua utilizando el método de muestreo malla-número.

Lugar de la muestra	Tipo de muestra	d₁₀ (mm)	d₁₆ (mm)	d₃₀ (mm)	d₅₀ (mm)	d₇₀ (mm)	d₈₄ (mm)	d₉₀ (mm)
50 m aguas arriba de la frontera inferior	Superficial	-	-	16	31	58	80	90
Frontera superior	Superficial	-	5	8	14	21	26	30
Aguas arriba de la desembocadura de la quebrada El Cogollo en el río Dagua	Superficial	-	-	12	23	45	60	80
Desembocadura de la quebrada El Pajal en el río Dagua	Superficial	-	-	4	12	16	20	22
Curva granulométrica promedio	Superficial	-	3	9	16	27	50	70

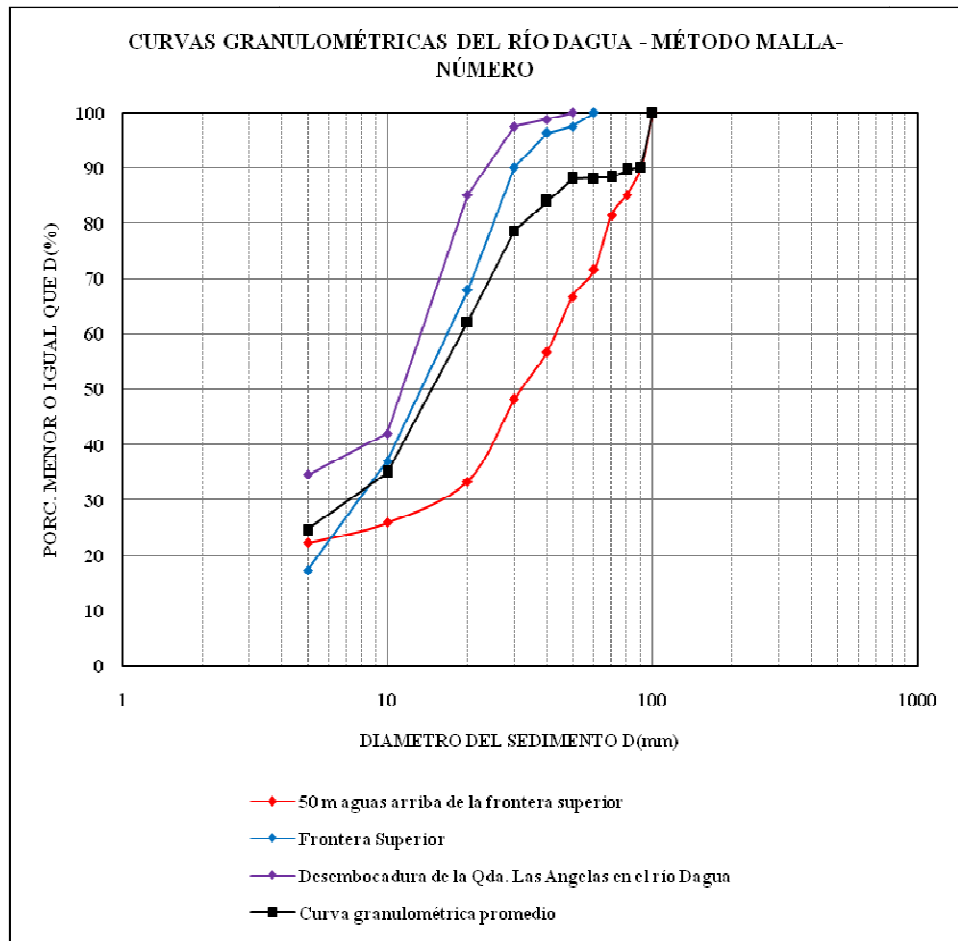


Figura 8.7 Curvas granulométricas del material superficial del lecho del río Dagua en diferentes sitios del cauce (método malla-número).

Tabla 8.5. Diámetros característicos del material del lecho del río Dagua utilizando el método de muestreo área-frecuencia.

Lugar de la muestra	Tipo de muestra	d ₁₀ (mm)	d ₁₆ (mm)	d ₃₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₇₀ (mm)	d ₈₄ (mm)	d ₉₀ (mm)
Puente de la Harinera del Valle (foto 1)	Muestra superficial	-	7	62	290	380	490	520
Puente de la Harinera del Valle (foto 2)	Muestra superficial	5	17	51	290	310	380	385
Curva granulométrica promedio	Muestra superficial	-	15	50	290	340	470	500

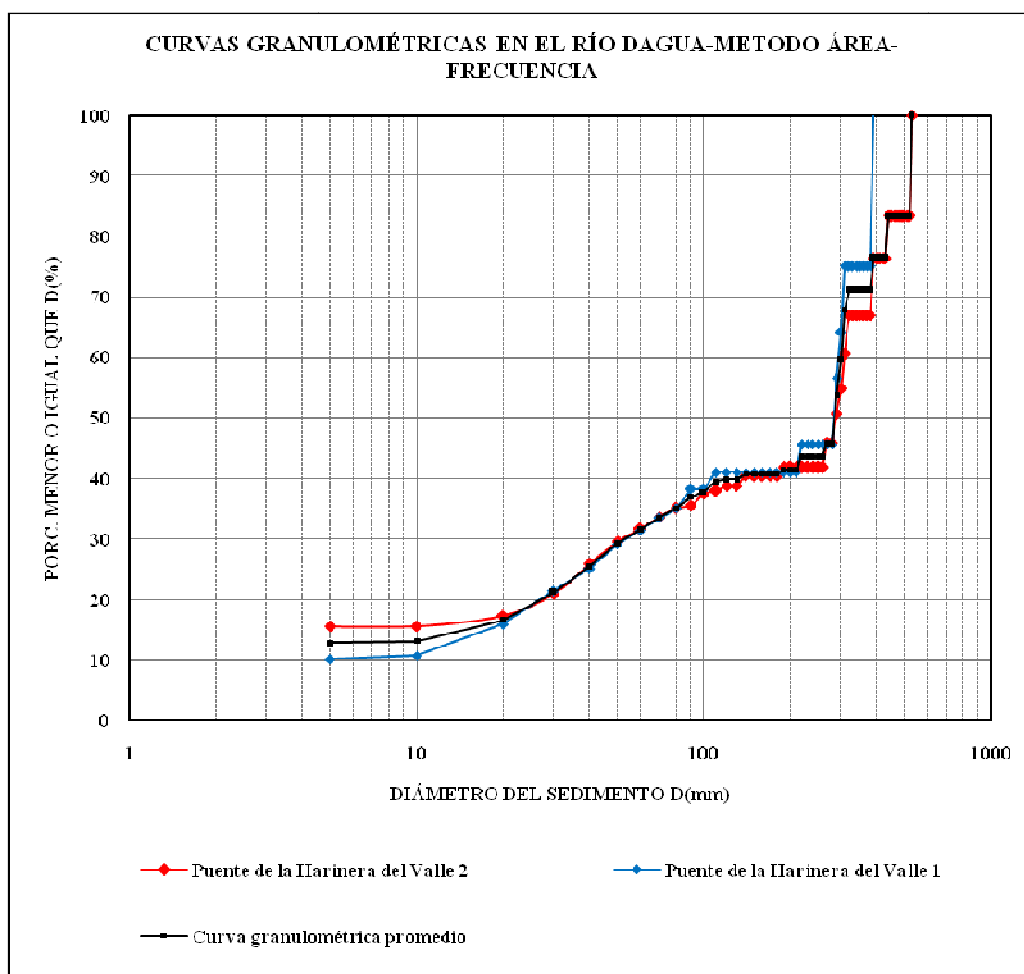


Figura 8.8 Curvas granulométricas del material superficial del lecho del río Dagua en diferentes sitios del cauce (método área-frecuencia).

Vale la pena aclarar que aunque se aplicaron ambos métodos de análisis superficial al material del lecho del río Dagua (malla-número y área-frecuencia), los resultados arrojados por el método de área-frecuencia son más representativos del material del lecho de este cauce. Por lo tanto, los resultados de los diámetros característicos determinados por el método de área-frecuencia son los utilizados para el posterior cálculo de la rugosidad del material del lecho del río Dagua.

Tabla 8.6. Diámetros característicos del material del lecho de la quebrada El Cogollo utilizando el método de muestreo malla-número.

Lugar de la muestra	Tipo de muestra	d ₁₀ (mm)	d ₁₆ (mm)	d ₃₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₇₀ (mm)	d ₈₄ (mm)	d ₉₀ (mm)
Quebrada El Cogollo – frontera superior	Muestra superficial	-	5	8	14	21	26	30

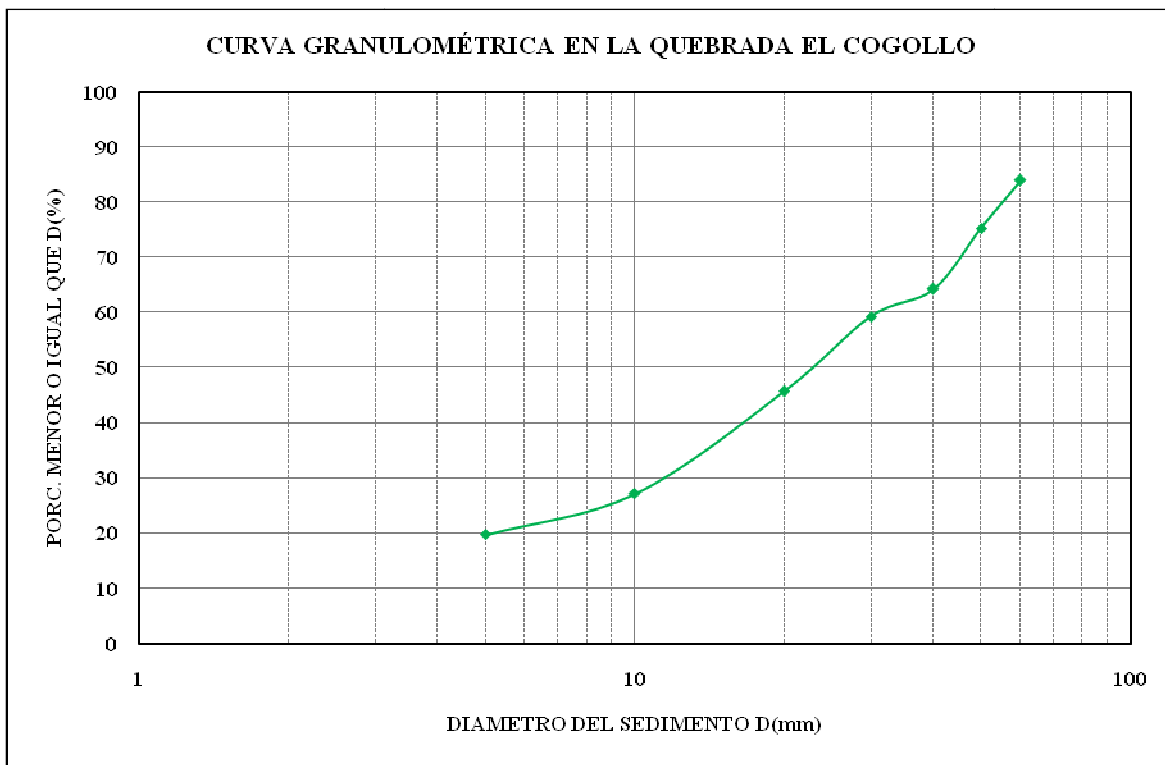


Figura 8.9 Curva granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada El Cogollo.

Aunque estos resultados son los arrojados mediante el método superficial por malla, no son representativos del material grueso de este cauce. Por lo tanto, para efectos de cálculo de la rugosidad, se asumirá un diámetro medio del sedimento (d_{50}) de 50 cm y una pendiente del cauce del 5% (este valor se estimó por observación directa en campo).

8.2.2. Caracterización hidráulica

8.2.2.1. Características generales de la cuenca del río Dagua y su cauce principal

La cuenca hidrográfica del río Dagua se encuentra ubicada al occidente del departamento del Valle del Cauca, en jurisdicción de los municipios de Restrepo, La Cumbre, Dagua y Buenaventura. Tiene una extensión aproximada de 140121 ha, de las cuales 57220 ha corresponden al municipio de Dagua, equivalentes al 40.84% del área total de la cuenca. La cuenca del río Dagua se encuentra conformada por siete áreas de drenaje, las cuales son la zona alta, zona media, zona baja, quebrada Los Indios, quebrada Pepitas, río Escalerete y río Bitaco (ver Figura 8.10).

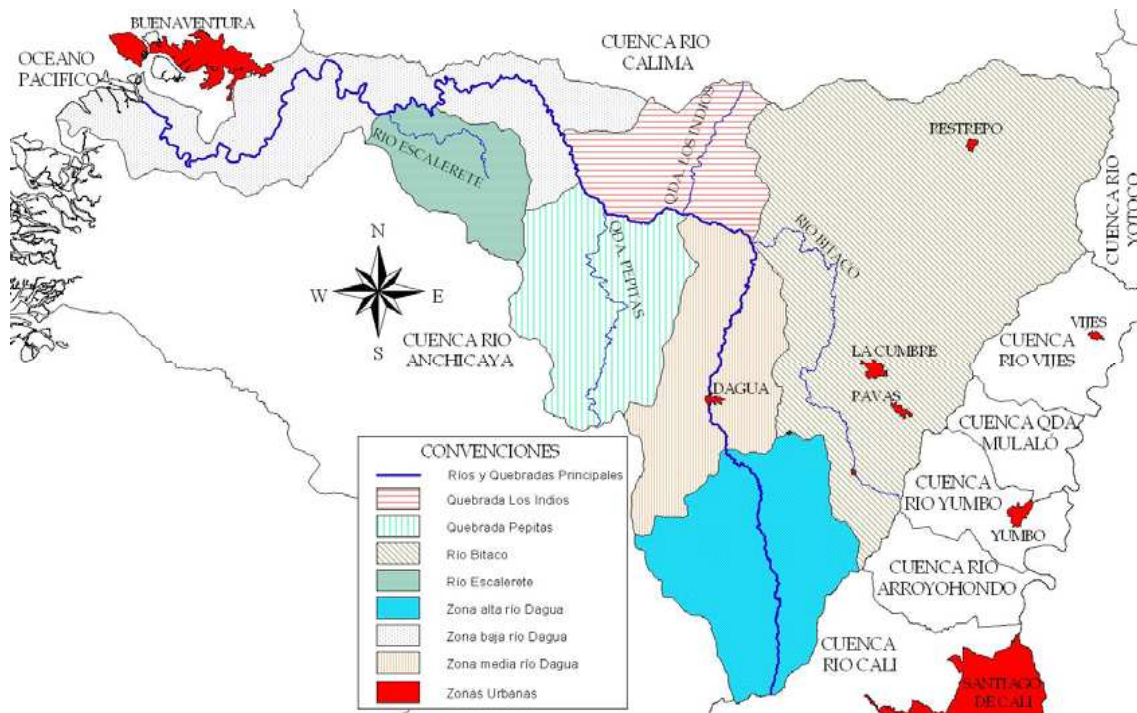


Figura 8.10 Localización general de la cuenca del río Dagua.

La cuenca del río Dagua drena hacia el Océano Pacífico. Hacia la parte media se encuentran zonas secas (entre Dagua y Loboguerrero) con precipitaciones de 700 mm/año, y en la parte baja las precipitaciones ascienden hasta alcanzar valores de 7000 mm/año en la franja de bosque húmedo tropical.

La cuenca presenta una forma de triángulo equilátero. Esta característica y sus formaciones morfogenéticas (debidas al origen y estructura del material parental) y formaciones fisiográficas (determinadas por la conformación del paisaje) constituyen un factor que la definen como un sistema hidrológico de respuesta rápida y de características torrenciales. La superficie exhibe pequeñas corrientes que se encajonan debido a la acción de grandes avenidas que circulan en un periodo de tiempo relativamente corto, las cuales erosionan el lecho en un suelo de textura arcillosa originando cárcavas; el proceso es un poco más complejo ya que incluye otros fenómenos físicos e incluso antrópicos. En el extremo occidental, las fuertes pendientes en las laderas altas y la alta precipitación conforman una red hídrica numerosa y turbulenta, cuyas quebradas en el punto de cambio brusco de la pendiente (coluvios de remoción) se desbordan durante las crecidas, dejando al lado restos de material rocoso y terrosos provenientes de las partes altas y de los taludes laterales del río. La cuenca se divide fisiográficamente en parte alta y parte baja, regiones bien diferenciadas además por sus características biofísicas y socioeconómicas. La parte alta está distribuida entre los municipios de Dagua, La Cumbre, Buenaventura, Restrepo, Vijes y Yotoco.

Parte alta de la cuenca

La longitud de la cuenca del río Dagua en la parte alta es de aproximadamente 74 km. En esta zona, el río presenta una longitud de 110 km aproximadamente, cuya pendiente media es del 2.6% y un área de drenaje de 1600 km². El río Dagua desciende en forma suave por el flanco occidental de la Cordillera Occidental hasta la parte media de la cuenca, donde empieza el cañón del río, para precipitarse en medio de espectaculares cañones que se atenúan en la llanura costera del Pacífico.

En la parte alta de la cuenca se presentan suelos profundos con alta acumulación orgánica, pH ácido, textura entre media y gruesa, bajo contenido de fósforo y bases, cuya consistencia es frágil, porosa, con gran capacidad de infiltración, permeabilidad, percolación y retención de humedad. Estas características muestran a nivel general suelos de mediana a baja fertilidad y de fácil proceso erosivo. En esta parte de la cuenca se presenta un mayor deterioro de su estructura debido a la localización de los mayores asentamientos y núcleos poblados en toda la cuenca; este fenómeno ha aumentado los procesos erosivos, contribuyendo a la inestabilidad de los suelos de la parte alta de la cuenca del río Dagua. En lo correspondiente a la parte alta de la cuenca, a través del territorio municipal se distinguen dos trayectos del río Dagua:

a) Primer trayecto o zona alta del río Dagua. Se inicia en el nacimiento del río en el Alto San Luis (extremo sur del municipio), en límites con el municipio de Cali. Su ribera presenta bosques secundarios mezclados con pastizales. Hay además una intensa actividad agrícola configurada por pequeñas fincas y potreros para el pastoreo animal principalmente. Este trayecto finaliza aguas abajo a la altura de la vereda Villahermosa, corregimiento del mismo nombre, en el cual se une con el río Jordán. Su caudal estimado es de 584 l/s, aportando 39 kg/día de sedimentos. Las principales corrientes son el río Jordán y las quebradas La Clorinda, Ambichinte, El Palmar y Centella.

b) Segundo trayecto o zona media del río Dagua. Se inicia a partir de la unión del río Dagua con el río Jordán y termina a la altura del corregimiento de Loboguerrero. En éste trayecto del río se localizan varias microcuencas y el río Dagua recibe diferentes aportes de distintos cauces y quebradas. Las principales corrientes son las quebradas Jiguata, El Cogollo, El Pajal o San Rafael y Los Chorros.

El tramo de interés para el desarrollo del presente estudio corresponde a la zona media del río Dagua o segundo trayecto de dicho río, ubicado en la parte de la cuenca.

En general, toda la cuenca del río Dagua presenta un régimen estacional de tipo bimodal con dos periodos húmedos y dos periodos de baja precipitación. El primer periodo húmedo está comprendido entre los meses de marzo a mayo y el segundo periodo húmedo entre los meses de septiembre a noviembre; por otra parte, el primer periodo seco está comprendido entre los meses de junio a agosto y el segundo periodo seco entre los meses de diciembre a febrero. En la Tabla 8.7 se muestra el registro de la precipitación media de la zona alta y

zona media del río Dagua, estimado en el periodo entre 1947 y 2006 mediante el método de interpolación de Kriging.

Tabla 8.7. Precipitación media de la zona alta y zona media del río Dagua.

Mes	Precipitación (mm)	
	Zona media río Dagua	Zona alta río Dagua
Enero	65	74
Febrero	72	92
Marzo	81	119
Abril	129	167
Mayo	123	157
Junio	83	103
Julio	71	75
Agosto	71	75
Septiembre	102	125
Octubre	151	176
Noviembre	140	161
Diciembre	93	105

Fuente: Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua (Artículo Biblioteca CVC, 2007)

En la Figura 8.11 se muestra el registro de precipitación media de la zona media y la zona alta del río Dagua con base a la información registrada en la Tabla 8.5, donde se puede apreciar el comportamiento bimodal de la cuenca del río Dagua.

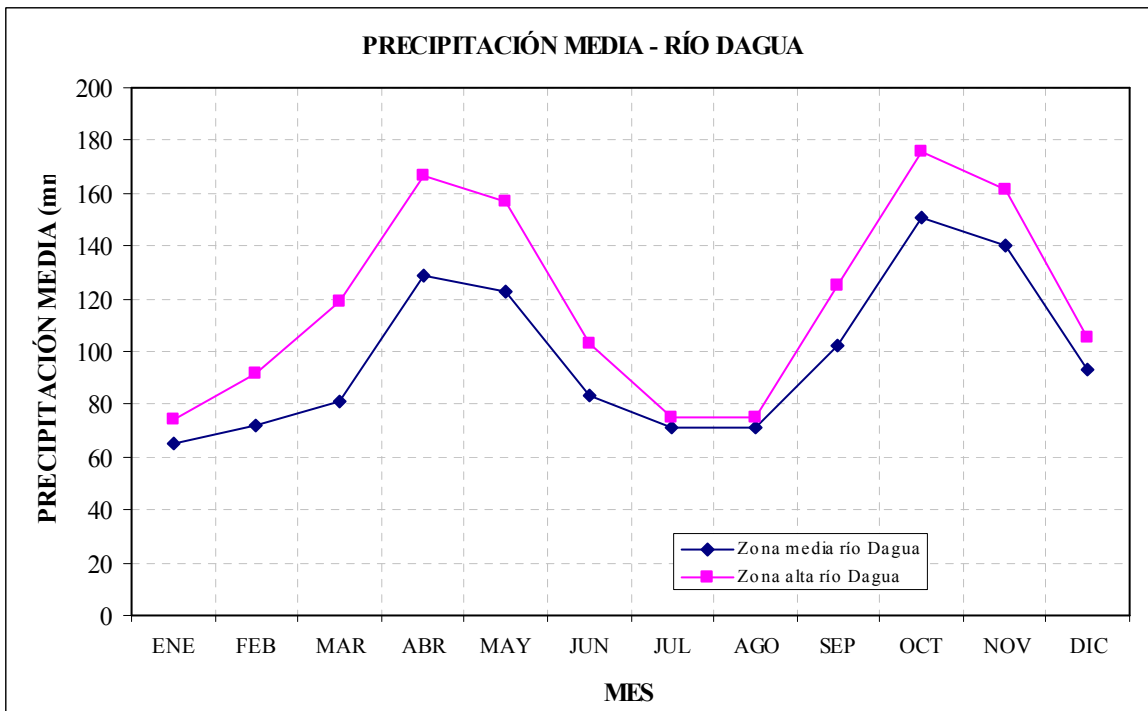


Figura 8.11 Registro de precipitación media de la zona alta y media del río Dagua.

(Fuente: Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua (Artículo Biblioteca CVC, 2007))

Caudales medios producidos por las diferentes áreas de drenaje

Los caudales medios producidos por las diferentes áreas de drenaje fueron obtenidos del proyecto de Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua (Artículo Biblioteca CVC, 2007). En dicho estudio se realizó el análisis estadístico de los datos registrados en la estación Bendiciones, donde se llevó a cabo el análisis exploratorio de los datos y el llenado de los datos faltantes. En la Tabla 8.8 se presentan los valores obtenidos de los caudales medios producidos por las diferentes áreas de drenaje, los cuales son el resultado del producto entre los rendimientos medios mensuales para cada cuenca y su respectiva área.

Tabla 8.8. Caudales medios producidos por las diferentes áreas de drenaje.

	Zona media río Dagua	Zona alta río Dagua
Área de drenaje (ha)	15221	17663
Mes	Caudal (l/s)	
Enero	2346	3094
Febrero	2022	3010
Marzo	1657	2820
Abril	2360	3557
Mayo	2611	3854
Junio	2358	3400
Julio	1805	2220
Agosto	1730	2124
Septiembre	1999	2839
Octubre	3250	4397
Noviembre	4277	5742
Diciembre	3186	4177

Fuente: Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua (Artículo Biblioteca CVC, 2007)

En la Figura 8.12 se muestra el comportamiento estacional de los caudales medios mensuales multianuales de las áreas de drenaje de la cuenca del río Dagua, con base en los valores de la Tabla 8.8.

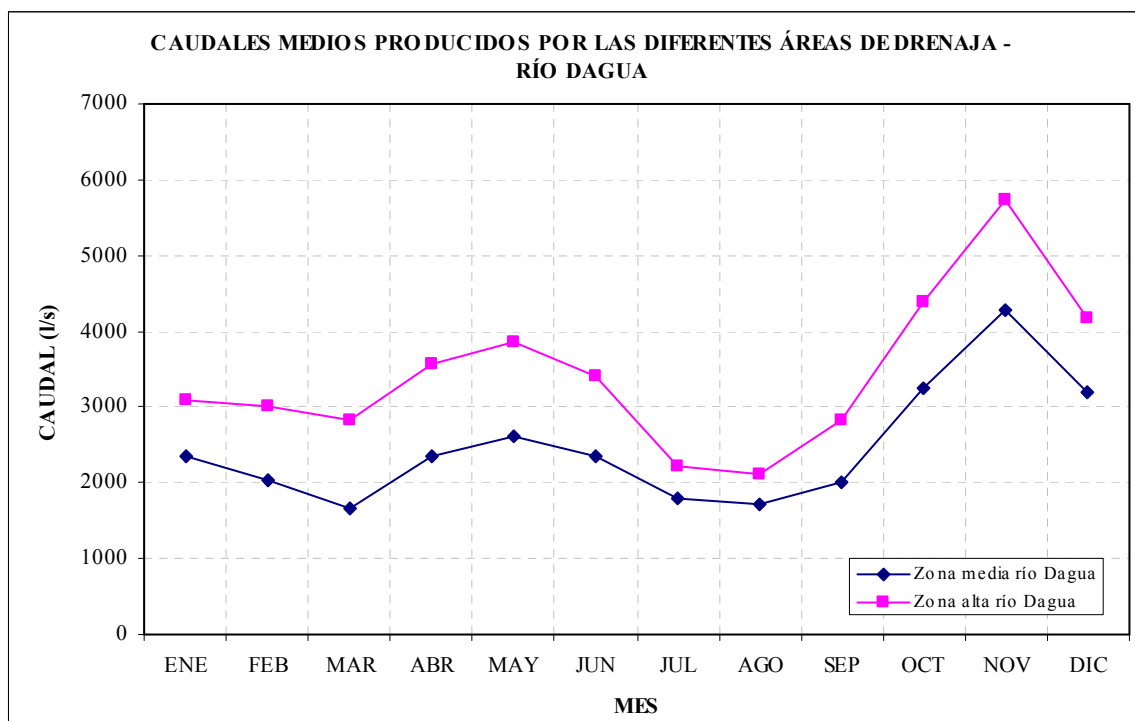


Figura 8.12 Comportamiento estacional de los caudales medios mensuales multianuales de las áreas de drenaje de la cuenca del río Dagua.

(Fuente: Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua (Artículo Biblioteca CVC, 2007))

8.2.2.2. Caudales característicos del río Dagua

La estación limnigráfica más cercana a la zona de estudio es la estación Bendiciones. En la Figura 8.13 se muestra la ubicación de la estación Bendiciones y las demás estaciones pluviométricas y limnigráficas del municipio de Dagua.

Para obtener los caudales medios mensuales multianuales se consultaron los datos registrados en la estación Bendiciones, en el periodo comprendido entre los años 1982 y 2006. Estos caudales fueron estimados con base en los caudales medios diarios en la estación limnigráfica Bendiciones. En la Tabla 8.9 se muestran los caudales medios mensuales multianuales.

En la Figura 8.14 se presenta el histograma de los caudales medios mensuales multianuales, con base en los datos registrados en la Tabla 8.9. En general, los caudales registrados en esta estación tienen una correspondencia directa con el comportamiento estacional de la precipitación, donde los mayores caudales se presentan en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y los menores caudales se presentan en los meses de julio y agosto. El mínimo valor de caudal se presenta en el mes de julio y el máximo en el mes de noviembre. En la

Figura 8.15 se registran las curvas de variación anual de caudales máximos instantáneos anuales.

En la Tabla 8.10 se presentan los principales caudales característicos del río Dagua con la información disponible hasta la fecha en la estación Bendiciones, tales como los promedios de los caudales máximos instantáneos anuales para todo el periodo de registro, el caudal medio mensual multianual y los caudales correspondientes a eventos con diferentes periodos de retorno.



 Estación Pluviométrica  Estación Limnigráfica

Figura 8.13 Ubicación de las estaciones pluviométricas y limnigráficas en el municipio de Dagua.

Tabla 8.9. Caudales medios mensuales multianuales del río Dagua – estación Bendiciones.

Mes	Caudal (m/s)
Enero	28.99
Febrero	23.90
Marzo	21.82
Abril	26.68
Mayo	29.39
Junio	25.66
Julio	20.70
Agosto	20.06
Septiembre	25.16
Octubre	37.21
Noviembre	46.68
Diciembre	37.92
Promedio anual	28.68

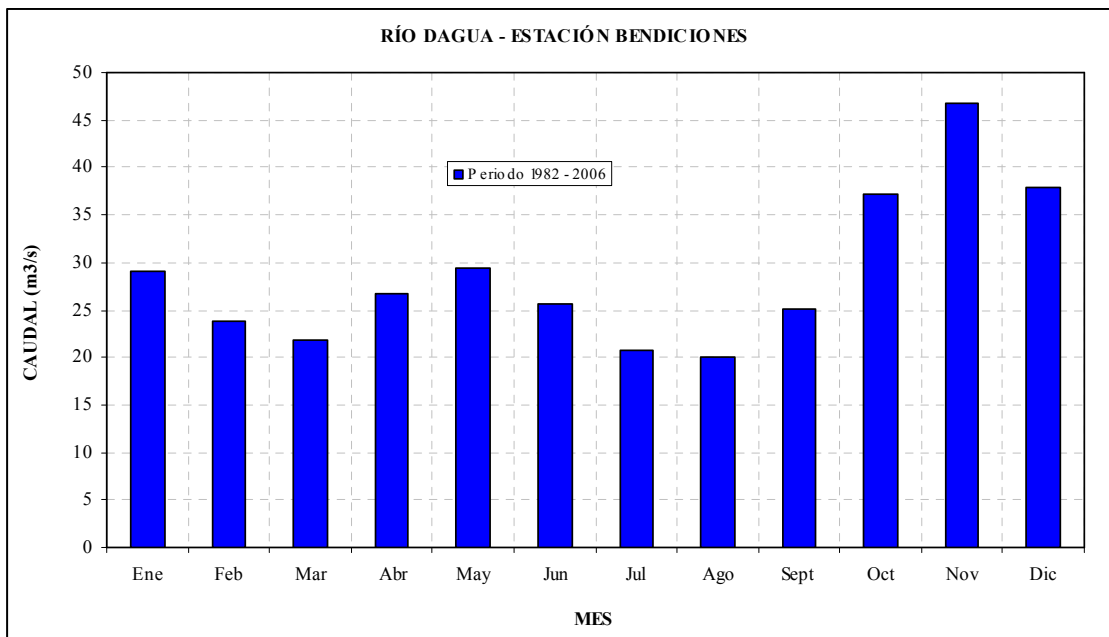


Figura 8.14 Caudales medios mensuales multianuales en la estación limnigráfica Bendiciones.

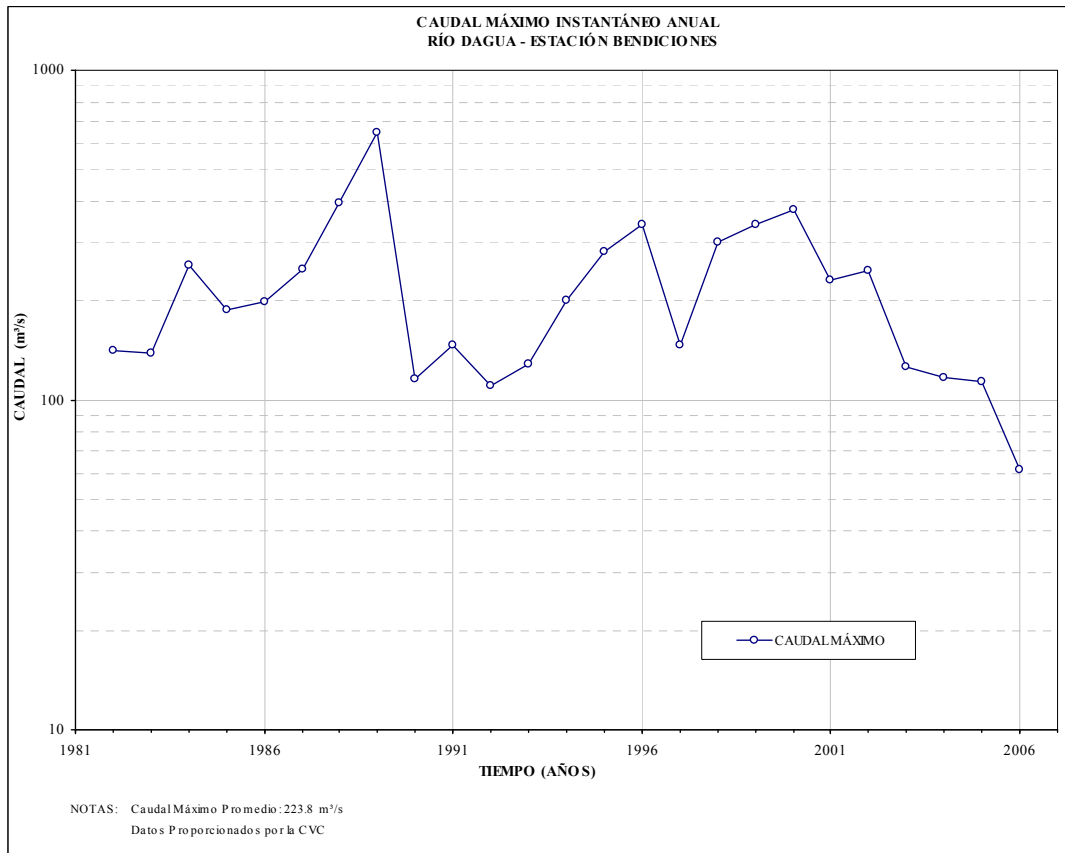


Figura 8.15 Caudales máximos instantáneos anuales del río Dagua en la estación Bendiciones.

Tabla 8.10. Caudales característicos del río Dagua en la estación Bendiciones (1982 - 2006).

Caudal característico		Valor	
Caudal medio mensual multianual (m ³ /s)	Máximo	46.68	noviembre
	Mínimo	20.06	agosto
	Medio	28.68	
Caudal máximo instantáneo histórico (m ³ /s)		645	diciembre de 1989
Caudal promedio de máximos instantáneos anuales (m ³ /s)		223.8	
Curva de Duración de Caudales	% de tiempo en que los caudales son igualados o excedidos	Caudal (m ³ /s)	
	10%	47.13	
	25%	35.12	
	50%	26.31	
	75%	20.28	
	90%	16.12	
Caudales máximos estimados para un periodo de retorno T (m ³ /s)	T(años)=2	183.57	
	T(años)=5	296.6	
	T(años)=10	384.85	
	T(años)=25	505.07	
	T(años)=50	598.6	
	T(años)=100	694.26	
	T(años)=200	791.97	

8.2.2.3. Estimación de caudales máximos o de crecientes

Se realizó un análisis de frecuencia de información hidrológica con el fin de relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Para estimar los caudales máximos existen diferentes metodologías. En este análisis se evaluaron diferentes distribuciones, como la de Pearson Tipo III, Gumbel Tipo I, Normal, 2 Parámetros, 3 Parámetros y Log Pearson Tipo III. Finalmente, se aplicó el método de Pearson Tipo III ya que esta distribución fue la que más se ajustó a los datos hidrológicos. Con base en las series de caudales máximos instantáneos anuales se calcularon los caudales extremos en la estación El Vergel para períodos de retorno de 2, 5, 7, 10, 20, 50 y 100 años. Los resultados se presentan en la Figura 8.16 y en la Tabla 8.10.

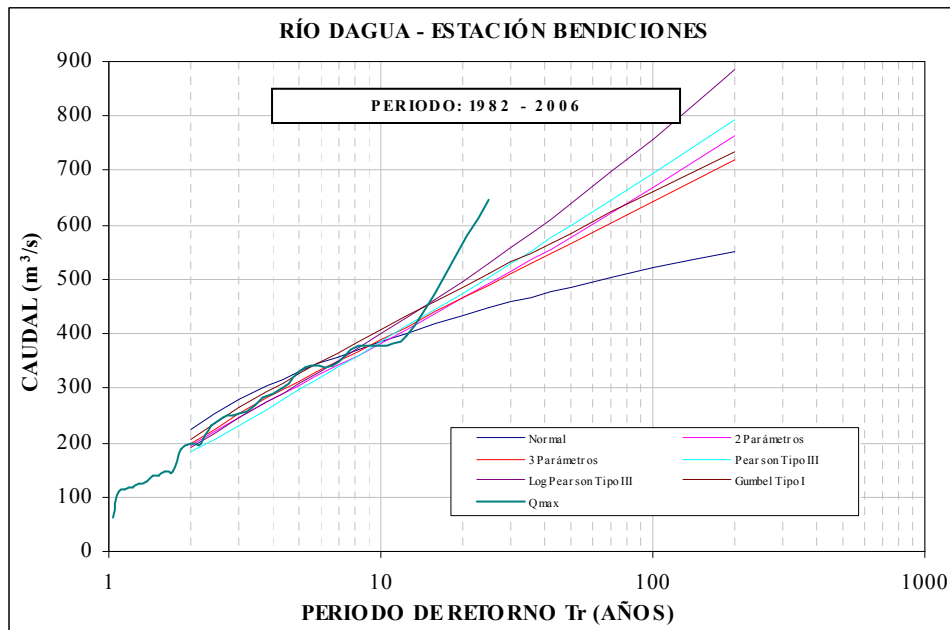


Figura 8.16 Análisis de eventos extremos.

8.2.2.4. Curvas de variación estacional

En la Figura 8.17 se presentan las curvas de variación estacional, las cuales se utilizan para obtener información general acerca del comportamiento estacional de los caudales. Su importancia radica en que permite determinar el régimen de distribución de los caudales en función de la probabilidad en que los eventos sean igualados o excedidos. Las curvas de variación estacional se construyeron con base en la información de las curvas de frecuencia, considerando probabilidades del 10%, 50% y 90%. En estas curvas se observa el régimen bimodal de dos periodos de caudales bajos en los meses de enero a marzo y de julio a septiembre y dos periodos de caudales altos en los meses de abril a junio y de octubre a diciembre.

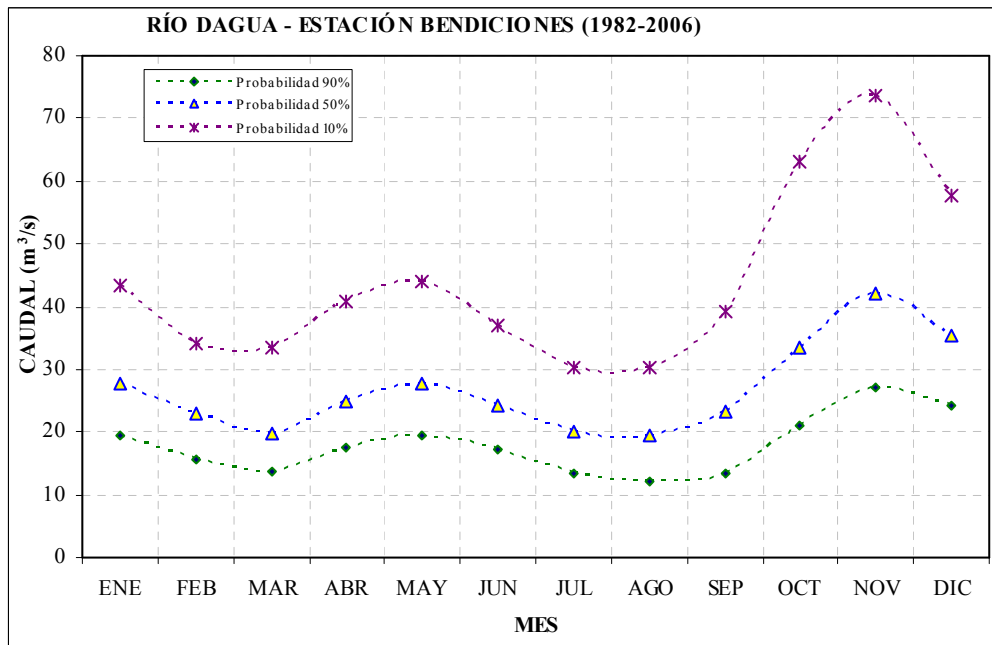


Figura 8.17 Curvas de variación estacional.

8.2.2.5. Curvas de duración de caudales

La evaluación de la disponibilidad de agua en un cauce se representa, generalmente, a través de la curva de duración de caudales. Ésta consiste en un gráfico en el cual se relacionan los caudales medios del río, ordenados por su magnitud, contra la frecuencia de ocurrencia del evento en términos del porcentaje total. Las curvas de duración de caudales indican el número de días del año o periodo en términos de porcentaje del tiempo en que un determinado caudal es igualado o excedido en magnitud. Con base en la información de la estación Bendiciones de los caudales medios diarios, se realizó la curva de duración de caudales (ver Figura 8.18).

En la Tabla 8.10 se muestran los valores de los caudales para los porcentajes de tiempo del 10%, 25%, 50%, 75% y 90%.

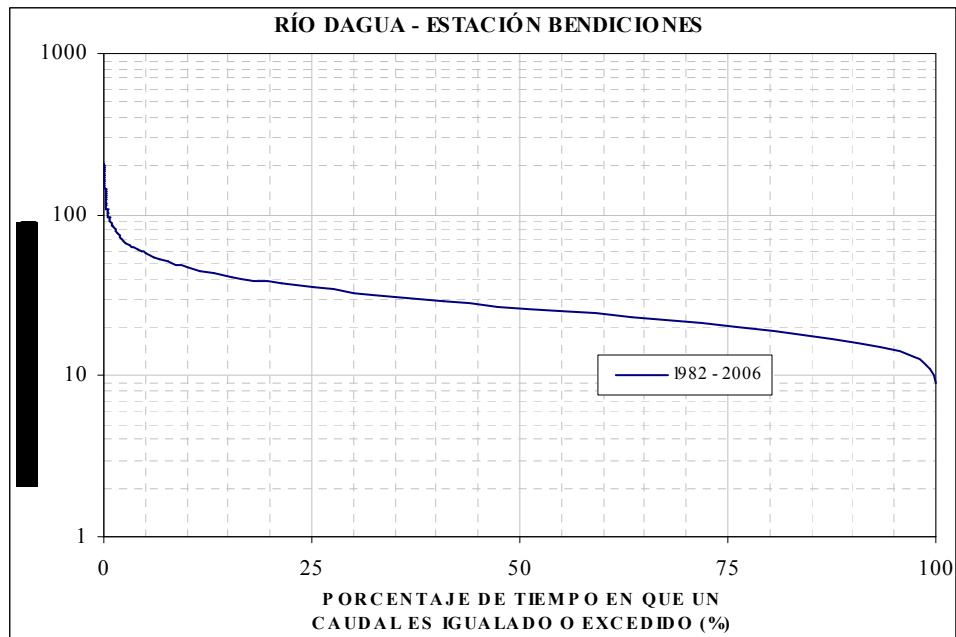


Figura 8.18 Curva de duración de caudales diarios.

8.2.2.6. Características hidráulicas y geométricas

Los ríos son sistemas altamente dinámicos que ajustan su geometría y morfología a las condiciones impuestas por el régimen de caudales líquidos y descargas sólidas. La geometría hidráulica se refiere comúnmente a la sección transversal del cauce y su estudio se basa en las relaciones existentes entre los caudales y los niveles de agua y los diferentes parámetros hidráulicos y geométricos, tales como el área hidráulica, el ancho, la pendiente, la profundidad hidráulica y la velocidad del agua.

Se efectuó la caracterización hidráulica y geométrica del río Dagua considerando para ello las relaciones existentes entre los caudales y niveles de agua y los distintos parámetros hidráulicos y geométricos para todo el periodo de registro. En general, las regresiones presentan correlaciones bastante aceptables; la velocidad media de la corriente y el área hidráulica son los parámetros que mejor se correlacionan con el caudal y el nivel de agua, seguidos por la profundidad hidráulica. Por el contrario, la correlación entre el caudal y el ancho superior es bastante pobre, así como la correlación entre el nivel de agua y el ancho superior.

Relación entre los caudales y los parámetros hidráulicos y geométricos

Las relaciones entre los caudales líquidos y los distintos parámetros hidráulicos y geométricos (área, ancho superior, velocidad y profundidad hidráulica) se presentan en la Figura 8.19 Se indican en ellas las curvas y las ecuaciones de mejor ajuste.

En la Tabla 8.11 se presentan las características hidráulicas y geométricas calculadas con base en las ecuaciones de regresión determinadas, para caudales seleccionados dentro del rango de información de campo disponible, es decir, en el rango de validez de las

regresiones obtenidas. También se presenta en este cuadro el número de Froude para cada uno de los caudales utilizados.

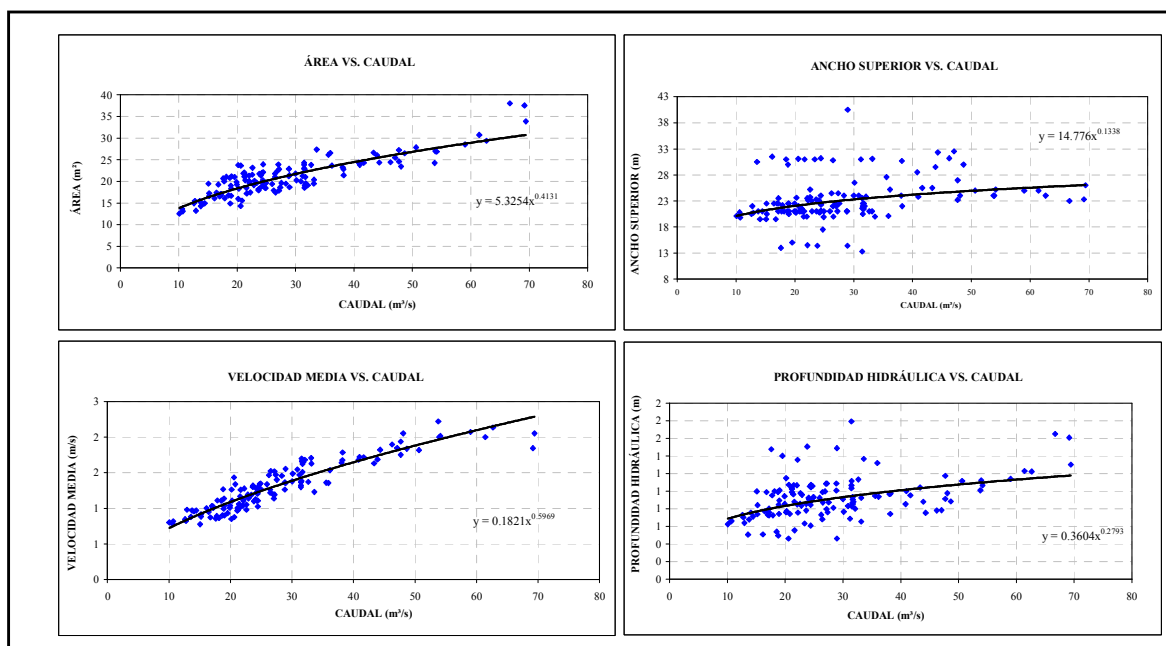


Figura 8.19 Relación caudal vs. parámetros hidráulicos y geométricos en el río Dagua.

Tabla 8.11. Propiedades hidráulicas y geométricas en el río Dagua - estación Bendiciones

Parámetros	Caudal (m ³ /s)				
	10	20	30	40	50
Velocidad (m/s)	0.72	1.09	1.39	1.65	1.88
Área (m ²)	13.79	18.36	21.70	24.44	26.80
Profundidad hidráulica (m)	0.69	0.83	0.93	1.01	1.07
Ancho superior (m)	20.11	22.06	23.29	24.21	24.94
Número de Froude	0.28	0.38	0.46	0.52	0.58

8.2.2.7. Secciones transversales

Se muestra en las Figuras 8.20 y 8.21 la secciones transversales del río Dagua y la quebrada El Cogollo en los sitios de aforo (puente de la Harinera del Valle y balneario El Peñón, respectivamente) y en la Tabla 8.12 las características geométricas e hidráulicas de las secciones transversales.

Tabla 8.12. Características geométricas e hidráulicas de la sección transversal del río Dagua y la quebrada El Cogollo

Cauce	Ancho superior del nivel de agua (m)	Área de la sección transversal (m)	Perímetro mojado (m)	Radio hidráulico (m)	Profundidad hidráulica (m)	Caudal (m ³ /s)
Río Dagua	12.5	3.31	12.62	0.26	0.26	1.35
Quebrada El Cogollo	3.9	0.95	4.11	0.23	0.24	0.35

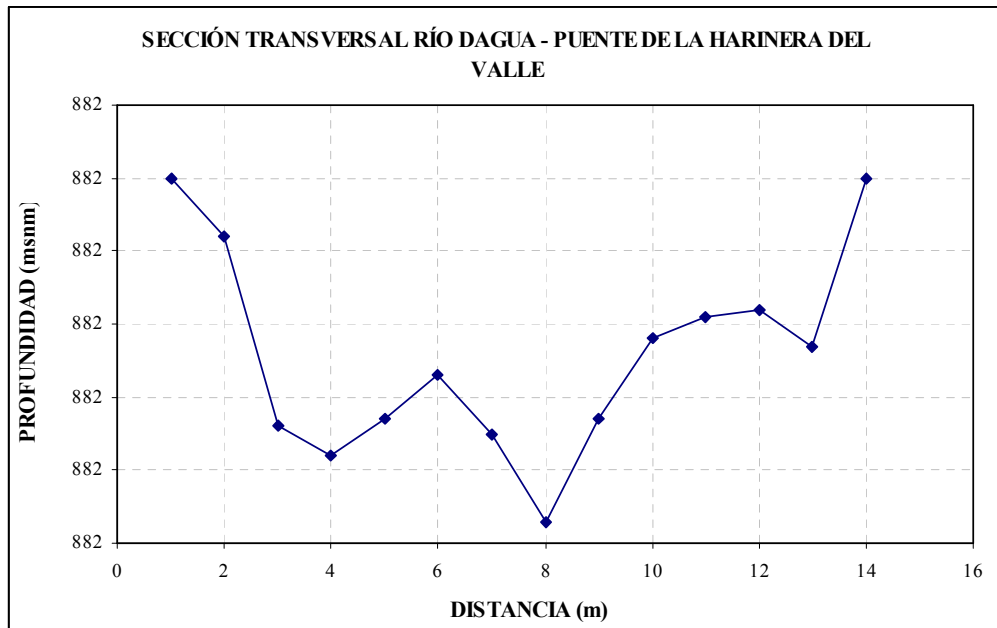


Figura 8.20 Sección transversal del río Dagua en el puente de la Harinera del Valle.

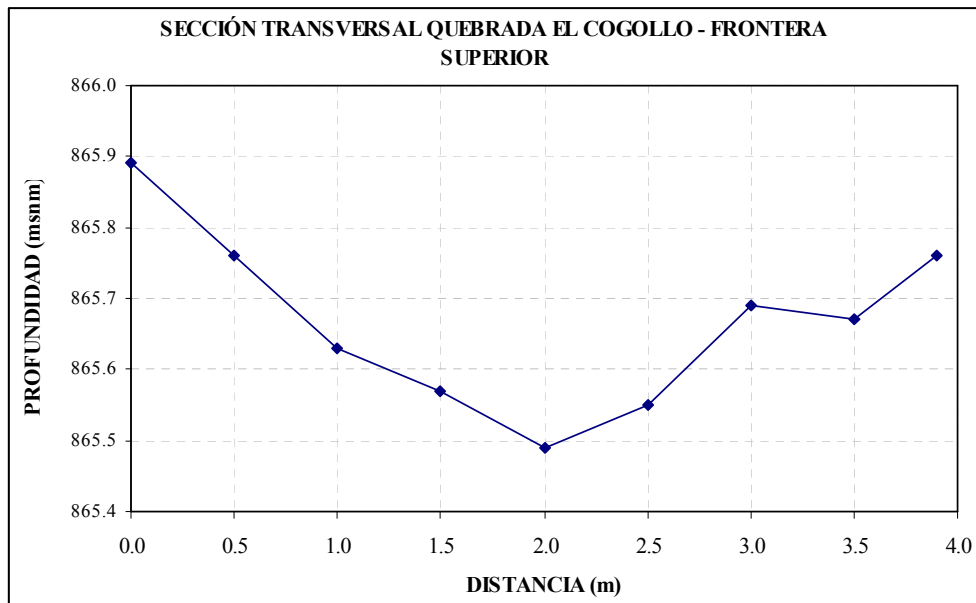


Figura 8.21 Sección transversal de la quebrada El Cogollo en el Balneario El Peñón (frontera superior).

8.2.2.8. **Rugosidad**

Los ríos de montaña presentan diferencias importantes con respecto a los ríos aluviales o de llanura debido a las distintas condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geomorfológicas. Los ríos de montaña se caracterizan por la alta pendiente de su cauce, sedimentos de mayor tamaño (gravas, guijarros, cantos y bolos) que causan una mayor resistencia al flujo, flujos altamente turbulentos con velocidades relativamente altas y profundidades pequeñas; además, presentan una morfología variable espacialmente y reducida temporalmente excepto cuando son intervenidos (extracción intensiva de materiales del lecho, por ejemplo) y al producirse eventos extremos.

Hasta hace unas cuantas décadas, los ríos de llanura (constituidos principalmente de arenas de diferentes tamaños) han sido objeto principal de estudio de la hidráulica fluvial debido a que los asentamientos humanos han estado ubicados en su mayoría en los valles aluviales. Aproximadamente desde la década de 1980 se incrementaron los estudios e investigaciones sobre el comportamiento hidráulico, sedimentológico y geomorfológico de los ríos de montaña. Estos estudios han mostrado que las relaciones hidráulicas (rugosidad, velocidad, etc.) y de transporte de sedimentos utilizadas regularmente para definir el comportamiento de ríos de llanura conducen a errores al emplearse para describir el comportamiento de los ríos de montaña (López, 2005).

Estimar la resistencia al flujo es fundamental para analizar el comportamiento hidráulico de los ríos de montaña. La rugosidad del lecho representa la resistencia al flujo ejercida por las partículas que conforman el lecho y las bancas del canal y por las formas de fondo y demás irregularidades que actúan como obstáculos al flujo de agua. Para incluir este mecanismo

de disipación de energía en las ecuaciones que describen el flujo de agua en canales se han desarrollado diferentes expresiones que involucran la geometría del canal, el material del lecho, etc., cada una con ventajas y limitaciones dependiendo de las condiciones para las cuales se desee aplicar. López (2005) ha recopilado cerca de 70 expresiones que permiten calcular el coeficiente de rugosidad en cauces de montaña con lechos conformados por materiales gruesos como gravas y cantos.

Para estimar la rugosidad del cauce del río Dagua y la quebrada El Cogollo en el tramo de estudio, se evaluaron 14 expresiones que, en principio, se ajustan a las condiciones de los cauces en relación a la pendiente del fondo, la granulometría y la geometría del cauce. Estas son las formulaciones propuestas por Limerinos (1970), Griffiths (1981), Ugarte & Méndez (1997), Knighton (1998), Samora (1993), Grant (1997), Charlton (1978), Golubtsov (1969), Riggs (1976), Williams (1978), Jarret (1984), Meunier (1989), Dingman & Sharma (1997), Bjerklie (2003) y López & Barragán (2004). Estas ecuaciones están en función del radio hidráulico, el área, la pendiente y los diámetros característicos del material del lecho, como el d_{50} , d_{84} y d_{90} . Las expresiones se aplicaron para el valor de caudal estimado el día de la realización del aforo y las características geométricas de la sección transversal de aforo del río Dagua y la quebrada El Cogollo en el puente de la Harinera del Valle y en el balneario El Peñón, respectivamente. El valor de la pendiente media del río Dagua usado es del 2.6% (Fuente: Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca, convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle, 2005), y el valor de la pendiente media de la quebrada El Cogollo fue asumida como del 5% (valor estimado por observación directa en campo).

Para el río Dagua, las formulaciones que mejores resultados arrojaron fueron las formulaciones de Ugarte & Méndez (1994) y Samora (1993). Las demás expresiones arrojaban valores excesivamente altos (valores de rugosidad de Manning mayores que $0,3 \text{ s/m}^{1/3}$) o muy bajos (valores de rugosidad de Manning menores que $0,033 \text{ s/m}^{1/3}$), considerados como no representativos de la rugosidad de un cauce como el río Dagua, teniendo en cuenta sus características morfológicas y sedimentológicas (material granulares gruesos de diferentes tamaños).

La ecuación de Ugarte & Méndez de tipo logarítmico fue estimada a partir de datos de Jarrett (1984), Bathurst (1985) y Madrid (1992), correspondiendo este último a ríos de grava chilenos. La ecuación de Samora de tipo logarítmico fue obtenida integrando datos de varias fuentes bibliográficas.

Para la quebrada El Cogollo, la formulación de Limerinos (1970) no pudo ser aplicada debido al gran tamaño de los sedimentos del cauce ($d_{50} = 500 \text{ mm}$) y la alta pendiente media del lecho. Las formulaciones que arrojaron los resultados más representativos de la rugosidad para la quebrada El Cogollo son las expresiones de Samora (1993) y Griffiths (1981).

La ecuación de Griffiths de tipo logarítmico fue ajustada a partir de 84 datos propios y otros datos de Barnes (1967), Judo (1969), Bathurst (1978) y Wolman (1957) correspondientes a ríos de gravas y sin transporte sólido.

A continuación se presentan las formulaciones empleadas para estimar la rugosidad del lecho del río dagua y la quebrada El Cogollo.

$$\text{Samora (1993)} \quad \sqrt{\frac{8}{f}} = 5.66 \log \left(\frac{6R}{d_{50}} \right) \left(1 - \frac{0.20d_{50}}{R} \right) \quad \text{ec. (2a)}$$

$$\text{Ugarte \& Méndez (1994)} \quad \sqrt{\frac{8}{f}} = 4.63 \log \left(\frac{R}{d_{50}} \right) + 2.50 \quad \text{ec. (2b)}$$

$$\text{Griffiths (1981)} \quad \sqrt{\frac{8}{f}} = 5.60 \log \left(\frac{R}{d_{50}} \right) + 2.15 \quad \text{ec. (2c)}$$

Según López (2005), las ecuaciones son aplicables a canales naturales que tengan materiales de lecho y bancas estables (gravas, cantos y guijarros), sin efectos de remanso, sin transporte sólido y con mínima presencia de vegetación en las márgenes.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8.13, con base en la información de las Tablas 8.5, 8.6 y 8.12. La rugosidad de Manning promedio del río Dagua estimada para el caudal determinado el día del aforo (1.35 m³/s) es 0.095 s/m^{1/3}, y la rugosidad de Manning promedio del lecho de la quebrada El Cogollo calculada para el caudal medido el día del aforo (0.35 m³/s) es 0.545 s/m^{1/3}.

Tabla 8.13. Rugosidad de Manning, coeficiente de Chezy y coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach para la sección transversal de aforo en el río Dagua y la quebrada El Cogollo

	Ugarte & Méndez (1994)			Samora (1993)			n PROMEDIO (m ³ /s)
	f	C (m ^{1/2} /s)	n (m ³ /s)	f	C (m ^{1/2} /s)	n (m ³ /s)	
Río Dagua	1.515	7.198	0.111	0.763	10.142	0.079	0.095
	Griffiths (1994)			Samora (1993)			n PROMEDIO (m ³ /s)
	f	C (m ^{1/2} /s)	n (m ³ /s)	f	C (m ^{1/2} /s)	n (m ³ /s)	
Quebrada El Cogollo	106.944	0.857	0.915	3.952	4.456	0.176	0.545

8.3. DEFINICIONES DE FLUJO, CLASIFICACIÓN Y MECÁNICA DE LODOS

8.3.1. Clasificación del flujo

El flujo puede ser clasificado en función de la cantidad volumétrica de sedimentos. De acuerdo a esto, existen en general tres clases de flujo: flujos de baja concentración, flujos hiperconcentrados y lavas torrenciales o corrientes de derrubios.

- **Flujos de baja concentración**

Los flujos de baja concentración presentan un comportamiento newtoniano, cuyas pequeñas cantidades de sedimentos no afectan las propiedades del flujo. Costa (1984) define los flujos de baja concentración como aquellos cuya concentración de sedimentos C (donde C es la relación entre el caudal sólido y el caudal líquido) es menor a 25% y cuya densidad ρ es igual a 1.3 g/cm^3 . Posteriormente, Meunier (1991) define los flujos de baja concentración como aquellos cuya concentración de sedimentos C es menor a 5% y cuya densidad ρ es igual a 1.3 g/cm^3 .

Este valor de C es adimensional. Expresado en términos de la concentración en peso C_w , se tiene la siguiente equivalencia:

$$C_w = \gamma_s C$$

Donde γ_s es la gravedad específica del sedimento, y es igual a 2.65 ton/m^3 . Por lo tanto, la concentración en peso C_w para un valor de C del 5% es igual a 0.1325 ton/m^3 , que a su vez es igual a 132500 ppm. Este valor es considerado bastante alto. Por esta razón en desarrollo del presente estudio, se acogerá la clasificación según Meunier.

- **Flujos hiperconcentrados**

Estos flujos incluyen avenidas de lodos, flujos de lodo, flujos de detritos (debris flow). La característica más importante de esta clase de flujos es que la concentración de sedimentos afecta o modifica las características reológicas del flujo. Además, el efecto del sedimento sobre el flujo estará determinado por la naturaleza del sedimento.

Si el sedimento es cohesivo el flujo es de tipo laminar y se comporta como un material plástico de Bingham, no-newtoniano, que necesita un esfuerzo de cedencia para iniciar el movimiento. Si el sedimento es de tipo granular, el flujo es turbulento y no existe un esfuerzo de cedencia. Sin embargo, es importante aclarar que aún con una porción pequeña de material fino (limos y/o arcillas e incluso arenas finas), el flujo se comportará como laminar y con un esfuerzo de cedencia.

Costa (1984) define los flujos hiperconcentrados como aquellos cuya concentración C varía entre el 25 y el 100%, y cuya densidad ρ es mayor a 1.3 g/cm^3 y menor a 1.8 g/cm^3 . Por

otra parte, Meunier (1991) define que los flujos hiperconcentrados son aquellos cuya concentración C varía entre el 5% (límite mínimo) y el 60%.

- **Lavas torrenciales o corrientes de derrubios**

Esta clase de flujos es conocida en Perú como “huaycos”, y se caracteriza por ser un flujo visco-plástico y tener altas concentraciones de material sólido. Costa (1984) define las lavas torrenciales como aquellos flujos cuya concentración C de sedimentos es superior al 100% y la densidad ρ de la mezcla es superior a 1.8 g/cm^3 .

Meunier (1991) clasifica las lavas torrenciales como aquellos flujos cuya concentración de sedimentos C varía entre el 60% y el 230%.

Este autor (Meunier) define los flujos de baja concentración como “fluviales”, y los flujos hiperconcentrados y lavas torrenciales como “flujos torrenciales”, porque en estos dos últimos no es posible tratar independientemente la fase sólida y la fase líquida a efectos de cálculo. Por lo tanto, el término “avenida torrencial” se refiere a un flujo hiperconcentrado, cuya fase sólida afecta las características reológicas del flujo. En la Figura 8.22 se muestran las diferentes clases de flujo y las disciplinas encargadas de su estudio, y en la Figura 8.23 se muestra la clasificación de los flujos según Meunier (1991).

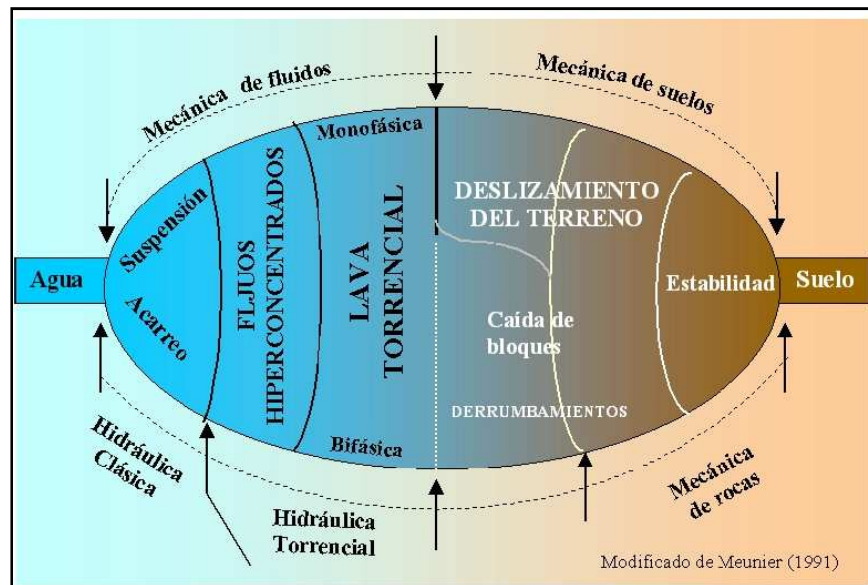


Figura 8.22 Clases de flujo.

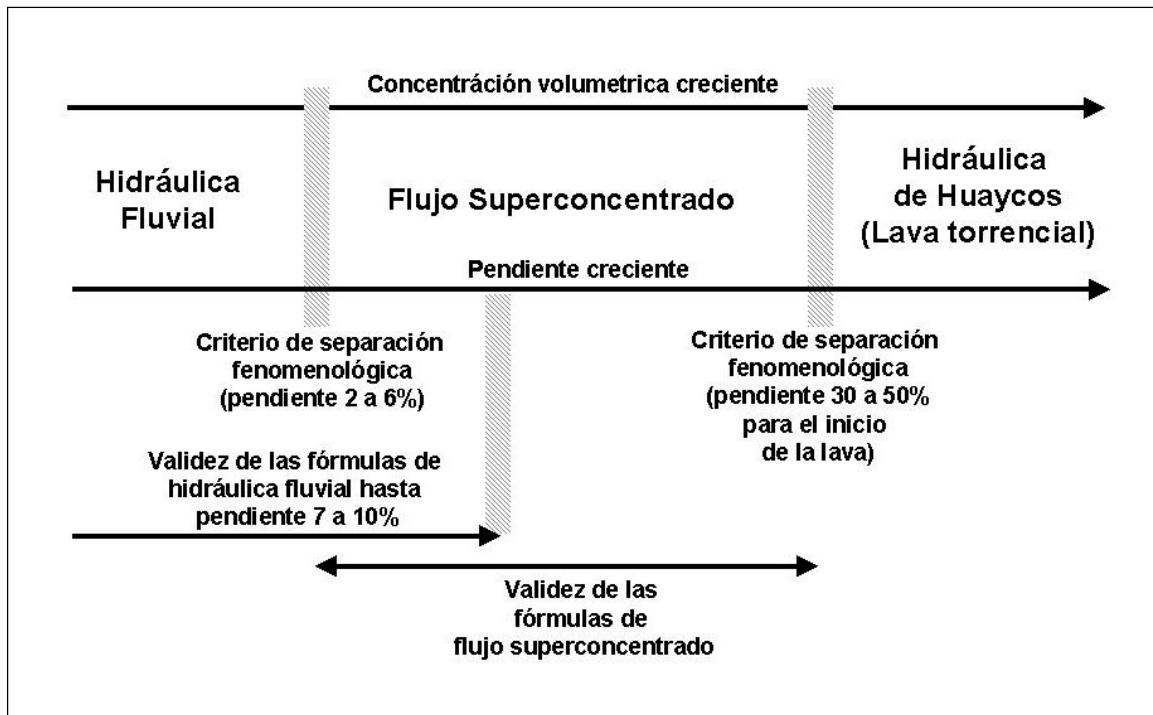


Figura 8.23 Clasificación de flujos según Meunier (1991).

Definición de conceptos

Uno de los objetivos del presente estudio es determinar las amenazas por avenidas torrenciales (que se definen como una clase de flujo hiperconcentrado o debris flow) en los municipios de Riofrío, Dagua, La Unión y Riofrío. Por ello es importante precisar las definiciones de algunos conceptos que son citados a continuación.

- **Detritos:** material suelto con estructura desordenada, baja plasticidad, con una porción significativa de material grueso (20-80%). Se origina por procesos de movimiento en masa, meteorización, volcanismo explosivo, entre otros.
- **Flujo de detritos (debris flow):** flujo rápido de detritos no plásticos, con velocidades altas y principalmente de tipo laminar, donde la mezcla de agua y sedimentos se encuentra distribuida en la columna de agua.

8.3.2. Reología y mecánica de lodos

8.3.2.1. Características generales de las avenidas torrenciales

Los flujos detríticos, que son una clase de flujo hiperconcentrado, se caracterizan por poseer un material de granulometría extendida. Esto quiere decir que se componen de materiales de diversos tamaños. Los materiales más gruesos se encuentran al frente de la avenida torrencial, mientras que el resto de agua y la mezcla de agua y sedimentos finos se encuentran distribuidos en el cuerpo y la cola de la avalancha.

Existen tres zonas por donde se inicia, transcurre y finaliza una avalancha:

1. Zona de embudo o de iniciación: pendientes mayores a 40°
2. Zona de transición o tránsito del flujo (normalmente a lo largo de un cañón)
3. Zona de depósito: donde el terreno pierde pendiente ($< 3^\circ$)

En las Figuras 8.24, 8.25 y 8.26 se muestra el perfil de un frente de detritos y la morfología de la huella de los flujos detríticos.

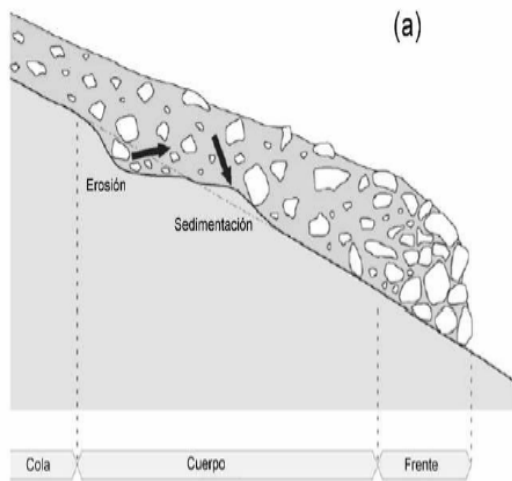


Figura 8.24 Perfil de un frente de detritos (extraído de Schatzman, 2005).

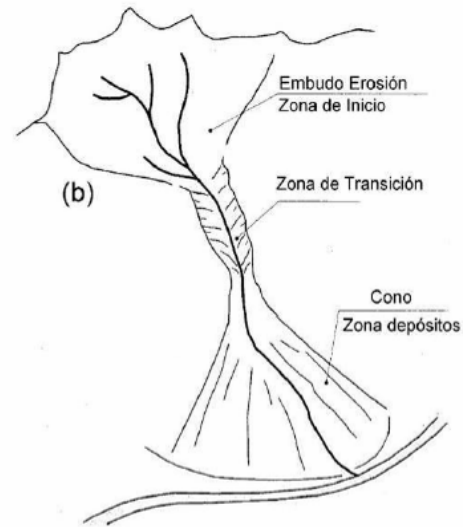


Figura 8.25 Morfología de la huella de los flujos detríticos (extraído de Véosla, 2005).

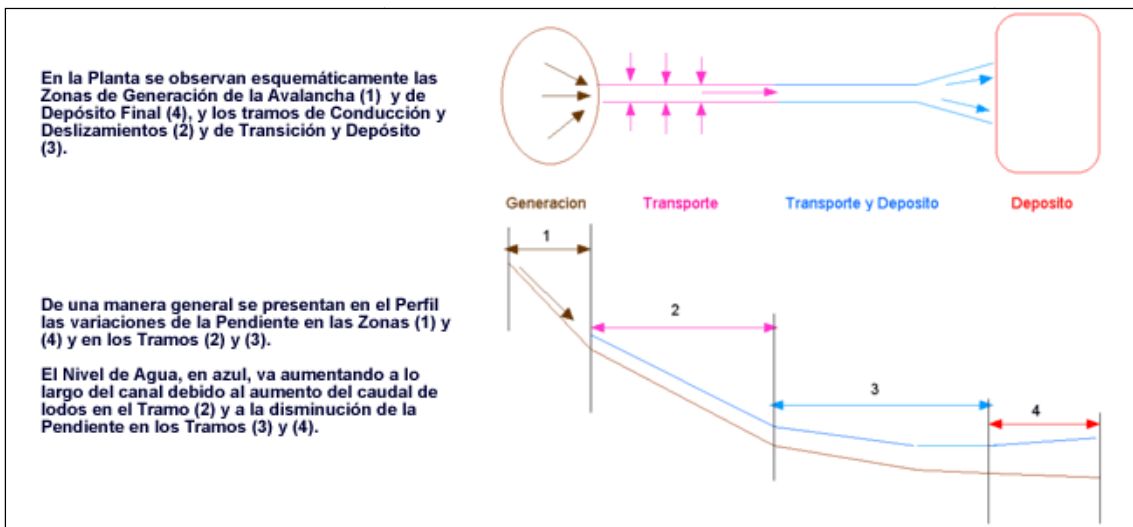


Figura 8.26 Perfil de un frente de detritos.

Los flujos de detritos se caracterizan además por poseer una alta concentración de energía que causa erosión del lecho, lo que incorpora incluso más material al propio flujo. Esto quiere decir que es un flujo que se retroalimenta, así que se conoce como dinámicamente creciente.

8.3.2.2. Comportamiento esfuerzo – deformación

En los flujos hiperconcentrados no es válido separar la fase sólida de la fase líquida a efectos de cálculo ya que la cantidad existente de sedimentos afecta las propiedades del fluido. El comportamiento de este tipo de flujos está en función de parámetros como la rugosidad, la pendiente, la geometría del canal y especialmente las propiedades de la matriz del fluido (mezcla entre agua y sedimentos).

Para describir el comportamiento de este tipo de flujos diversos investigadores han propuesto diferentes modelos reológicos con el fin de estimar los esfuerzos que se presentan, y finalmente, calcular la variación de la profundidad del flujo y la velocidad, tanto a nivel temporal como espacial. Entre los modelos reológicos existentes se encuentran el modelo de Voellmy, Herschel Bulkley, Bingham, entre otros. En la Figura 8.27 se ilustran algunos de los modelos usados para describir la relación esfuerzo deformación en distintas clases de fluidos.

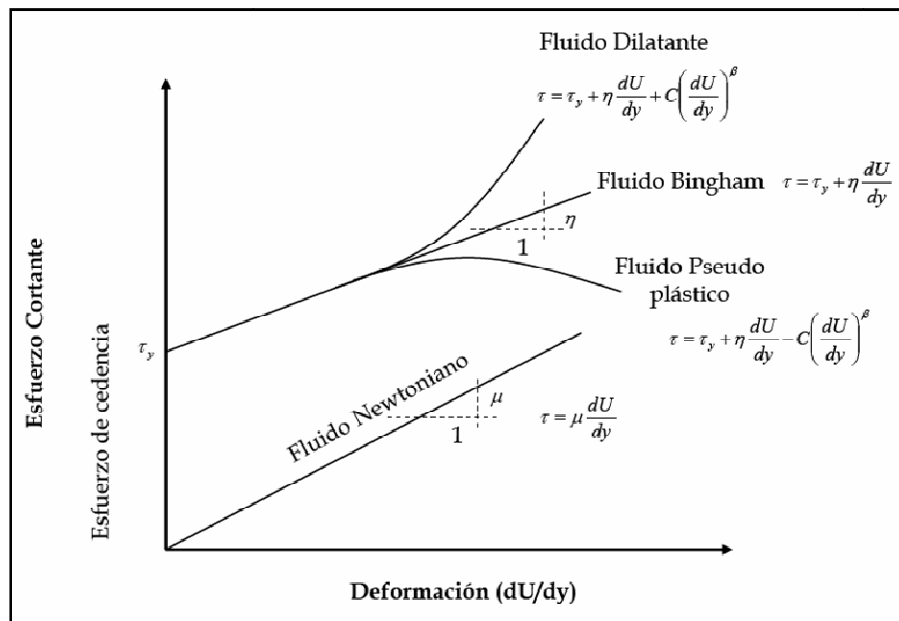


Figura 8.27 Relación esfuerzo – deformación para distintas clases de fluidos.

El comportamiento no-newtoniano de la matriz de fluido está controlado en parte por la cohesión entre las partículas de sedimento fino. Esta cohesión causa que haya un esfuerzo de cedencia (τ_y) que debe ser excedido por un esfuerzo aplicado para iniciar el movimiento. Combinando el esfuerzo de cedencia y los componentes del esfuerzo viscoso, se tiene el modelo plástico de Bingham:

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dU}{dy} \right) \quad \text{ec. (3)}$$

El modelo Bingham ha sido uno de los más utilizados a nivel mundial para la descripción del comportamiento de un flujo hiperconcentrado. Pese a ello, el modelo reológico cuadrático propuesto por O'Brien y Julien (1988) es más apropiado para describir el comportamiento de los regímenes de flujo de viscoso a turbulento-dispersivo.

8.3.2.3. Modelo reológico cuadrático (O'Brien y Julien, 1988)

O'Brien y Julien (1988) mostraron en investigaciones reológicas que las matrices de lodo se comportan como flujos Bingham para altas concentraciones de sedimentos finos y tasas de cortante bajas. Sin embargo, encontraron además que para concentraciones bajas de sedimentos, los esfuerzos dominantes son los turbulentos (como suele ocurrir en abanicos aluviales de alta pendiente). Igualmente, notaron que al presentarse concentraciones altas de material grueso en combinación con concentraciones bajas de material fino se generan esfuerzos dispersivos (el modelo reológico de Bingham no incluye los esfuerzos turbulentos ni los esfuerzos dispersivos).

Un modelo reológico que incorpora sólo los esfuerzos de cedencia y viscosos e ignora los esfuerzos inerciales asume que el flujo de lodo es viscoso, como ya se mencionó anteriormente. Esta suposición no siempre es aplicable ya que algunos flujos hiperconcentrados son turbulentos. Dependiendo de las propiedades de la matriz del fluido, los esfuerzos viscosos y de cedencia para concentraciones mayores al 40% pueden ser relativamente pequeños en comparación con los esfuerzos turbulentos a altas velocidades.

Por lo tanto, el esfuerzo cortante total en flujos hiperconcentrados (incluyendo flujos detríticos, de lodos e inundaciones de lodos) según el modelo reológico cuadrático se puede obtener sumando las cinco componentes de los esfuerzos cortantes:

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d \quad \text{ec. (4)}$$

Donde el esfuerzo cortante total depende del esfuerzo cortante cohesivo τ_c , el esfuerzo cortante de Mohr-Coulomb τ_{mc} , el esfuerzo cortante viscoso τ_v , el esfuerzo cortante turbulento τ_t y el esfuerzo cortante dispersivo τ_d . El esfuerzo de Mohr-Coulomb ($\tau_{mc} = p_s \tan \phi$) depende de la presión intergranular p_s y el ángulo ϕ del material.

La ecuación 4 puede ser expresada en términos de $\frac{dv}{dy}$:

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dU}{dy} \right) + C \left(\frac{dU}{dy} \right)^2 \quad \text{ec. (5)}$$

Donde $\tau_y = \tau_c + \tau_{mc}$, y se conoce como el esfuerzo de cedencia; $\eta \left(\frac{dU}{dy} \right)$ representa el esfuerzo cortante viscoso. La suma del esfuerzo de cedencia y el esfuerzo viscoso constituyen el esfuerzo cortante de un fluido cohesivo, hiperconcentrado en un régimen de flujo viscoso (modelo reológico de Bingham). El último término de la ecuación 5, $C \left(\frac{dU}{dy} \right)^2$, representa la suma del esfuerzo cortante turbulento y el esfuerzo cortante dispersivo; la sumatoria de estos tres términos es lo que se conoce como el modelo reológico cuadrático.

El esfuerzo cortante depende de parámetros como la viscosidad dinámica (η) y el coeficiente inercial de esfuerzo cortante C; este parámetro se define de la siguiente forma:

$$C = \rho_m l^2 + f(\rho_m, C_v) d_s^2 \quad \text{ec. (6)}$$

Donde C depende a su vez de la densidad de la mezcla ρ_m , la longitud de la mezcla de Prandtl l, el tamaño del sedimento d_s y una función de la concentración volumétrica C_v , definida de la siguiente manera:

$$f(\rho_s, C_v) = \frac{\pi}{12} \left(\frac{6}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \text{sen}^2 \alpha_1 \rho_s (1 - e_n^2) C_v^{\frac{1}{3}} \quad \text{ec. (7)}$$

Donde el coeficiente de restitución de energía e_n^2 varía, después del impacto, entre 0.70 y 0.85 para arenas; α_1 es el ángulo promedio de impacto de la partícula; y ρ_s es la densidad de las partículas de sedimento.

8.3.2.4. Marco teórico del modelo FLO-2D

El modelo FLO-2D resuelve la ecuación 5 para calcular las pérdidas de energía. Reescrita en términos de la pendiente de fricción, ésta toma la siguiente forma:

$$S_f = S_y + S_v + S_{td} \quad \text{ec. (8)}$$

Donde $S_y = \frac{\tau_y}{\gamma_m h}$, es la pendiente de cedencia; $S_v = \frac{K_\eta V}{8\gamma_m h^2}$ es la pendiente viscosa; y

$S_{td} = \frac{n^2 V^2}{h^{\frac{4}{3}}}$ es la pendiente turbulento-dispersiva. La ecuación 8 está en términos de la velocidad promedio en la vertical V; el peso específico de la mezcla de sedimento γ_m ; el parámetro de resistencia K, que es igual a 24 para canales lisos y de sección transversal rectangular, y que se incrementa con la rugosidad y la irregularidad de la sección

transversal; y el coeficiente de rugosidad de Manning n . De acuerdo a esto, la ecuación 8 se puede expresar de la siguiente forma:

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{K\eta V}{8\gamma_m h^2} + \frac{n^2 V^2}{h^{\frac{4}{3}}} \quad \text{ec. (9)}$$

Mediante esta ecuación, el modelo matemático FLO-2D calcula la velocidad a través de cada frontera entre los elementos de la malla, usando la profundidad promedio entre dos elementos adyacentes. Los valores de K y n deben ser estimados para el canal y las llanuras de inundación. El peso específico de la mezcla γ_m aumenta con la concentración de sedimentos.

Las variables τ_y y η varían principalmente con la concentración de sedimentos. Las siguientes relaciones empíricas pueden ser usadas a menos que haya disponible un análisis reológico del material.

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad \text{ec. (10)}$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad \text{ec. (11)}$$

Donde C_v es la concentración de sedimentos de materiales finos de la mezcla (limos, arcillas, y en algunos casos, arenas finas), y no incluye la cantidad de material grueso de la mezcla.

Para definir los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 se deben hacer hidrometrías del material fino del lecho, y después se comparan estos resultados con las muestras Aspen y Glenwood, las cuales fueron tomadas en sitios donde ocurrieron avalanchas. En la Tabla 8.14 se muestran los valores de los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 en los sitios donde fueron tomadas (O'Brien y Julien, 1988).

Tabla 8.14. Valores de los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 .

Sitios estudiados	α_2 (dinas/cm ²) ⁴	β_2	α_1 (poises) ⁵	β_1
Datos de Campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Parámetros disponibles en la literatura				
Iida (1938)*	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

8.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y FLUJOS TORRENCIALES

El presente apartado contiene un resumen de las principales metodologías encontradas en la bibliografía consultada para la determinación de mapas de amenaza por inundaciones y flujos torrenciales. Finalmente, se presentan las metodologías propuestas en desarrollo del presente estudio.

8.4.1. Estado del arte

A partir de los criterios para la clasificación de las amenazas por inundaciones y avenidas torrenciales se han desarrollado en diferentes regiones alrededor del mundo numerosas metodologías para la elaboración de los mapas de amenaza. Estas metodologías generalmente se basan en la determinación de valores límites para la profundidad del agua, la velocidad del flujo o una combinación de estos dos parámetros, así como en la frecuencia de los eventos en términos de los periodos de retorno. Las metodologías existentes difieren entre sí en los requerimientos de información y los criterios establecidos para la zonificación de la amenaza (incluyendo los valores límites adoptados). Algunas de las metodologías desarrolladas y que se describen a continuación son las siguientes:

- 1) Metodología establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de España, 1995.

- 2) Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua, 2003.
- 3) Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana, PATRICOVA, 2002.
- 4) Metodología propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y tramo bajo del río Cinca (Gobierno de Aragón – Iberinsa, 2005).
- 5) Metodología Implementada para la Generación de Mapas de Inundación en la Llanura Aluvial del río Cauca. Proyecto de Modelación río Cauca – Proyecto PMC (CVC-Universidad del Valle, 2007).
- 6) Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE “Inundaciones Fluviales Mapas de Amenaza” Recomendaciones técnicas para su elaboración. Managua, Nicaragua, Agosto de 2005.
- 7) Metodología para la Zonificación de Amenaza y Riesgo por Avenidas Torrenciales en la Cabecera Municipal de Florida-Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC - Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Ingeominas. Convenio CVC-984/96 Ingeominas I-024. Santa Fé de Bogotá, Marzo de 1998.
- 8) Metodología para delimitación de mapas de amenaza propuesta por R. García, J.J. Rodríguez y J.S. O’Brien.
- 9) Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek y propuesta por Kerr Word Leital Associates Limited para el Departamento de Obras Públicas del Condado de Whatcom (Estados Unidos, 2004).

8.4.1.1. Metodología de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil

Esta metodología fue establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en España, en 1995. Para la determinación de los riesgos por inundaciones se considera la población potencialmente afectada y los elementos (edificios, instalaciones, infraestructuras y elementos naturales o medioambientales) situados en zonas de peligro que debido a la inundación puedan producir víctimas, interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad o impedir atender la emergencia generada.

La vulnerabilidad de estos elementos se estima considerando sus características, su ubicación y las características hidráulicas de la creciente que genera el desbordamiento (profundidad del agua, velocidad del flujo, caudal sólido transportado y duración de la inundación).

En esta metodología, las zonas potencialmente inundables de acuerdo con el grado del riesgo, se clasifican de la siguiente manera:

Zona A de Riesgo Alto. Conformada por aquellas áreas en las que las crecientes con período de retorno de 50, 100 ó 500 años generarán graves daños a núcleos de población importantes. También se consideran zonas de riesgo alto aquellas en las que la creciente con período de retorno de 50 años generará impactos a viviendas aisladas o daños importantes a instalaciones comerciales o industriales y/o a los servicios básicos.

Estas zonas de riesgo alto se dividen en tres subzonas:

- **Zonas A-1. Zonas de riesgo alto frecuente.** Son aquellas en las que la creciente con período de retorno de 50 años generará graves daños a núcleos urbanos.
- **Zonas A-2. Zonas de riesgo alto ocasional.** Son aquellas en las que la creciente con período de retorno de 100 años generará graves daños a núcleos urbanos.
- **Zonas A-3. Zonas de riesgo alto excepcional.** Son aquellas en las que la creciente con período de retorno de 500 años generará graves daños a núcleos urbanos.

Zonas B de Riesgo Significativo. Conformada por aquellas áreas, no coincidentes con las zonas A, en las que la creciente con período de retorno de 100 años generará impactos en viviendas aisladas y las crecientes de período de retorno igual o superior a los 100 años causarán daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Zonas C de Riesgo Bajo. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la creciente con período de retorno de 500 años generará impactos en viviendas aisladas, y las crecientes consideradas en los mapas de inundación causarán daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

8.4.1.2. ***Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua***

Esta metodología fue adoptada por la Agencia Catalana del Agua en el año 2003. Se presenta en la guía “Recomendaciones Técnicas para los Estudios de Inundabilidad Locales” (Agencia Catalana del Agua, 2003) y propone la siguiente clasificación de las zonas potencialmente inundables:

Zonas de Inundación Alta. Corresponde a los sectores ubicados por fuera de las Zonas de Intenso Desagüe, donde la profundidad del agua alcanza valores superiores a 1 m, la velocidad de flujo es mayor a 1 m/s o el producto de la profundidad del agua por la velocidad del flujo es mayor a $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ (ver Figura 8.28).

La Zona de Intenso Desagüe. Se define como la zona limitada por paramentos verticales imaginarios en ambas márgenes del río en la cual al discurrir por ella la creciente con período de retorno de 100 años se producirá un incremento ΔH en el nivel de agua con respecto al nivel natural sin paramentos que alcanzaría la tabla de agua (ver Figura 8.29). Se define un valor máximo de un ΔH igual a 0.10 m en los sectores en los que la inundación provocaría daños importantes (sectores poblados o de alta inversión) y un valor

máximo de ΔH igual a 0.50 m en las zonas en las que la inundación generaría daños menores (poblaciones menores).

Zonas de Inundación Moderada. Son los sectores ubicados por fuera de las zonas de intenso desagüe en los que la profundidad del agua es superior a 0.40 m e inferior a 1.00 m, la velocidad de flujo es mayor a 0.40 m/s y menor a 1.00 m/s o el producto de la profundidad del agua por la velocidad del flujo es mayor a 0.08 m²/s y menor a 0.50 m²/s (ver Figura 8.28).

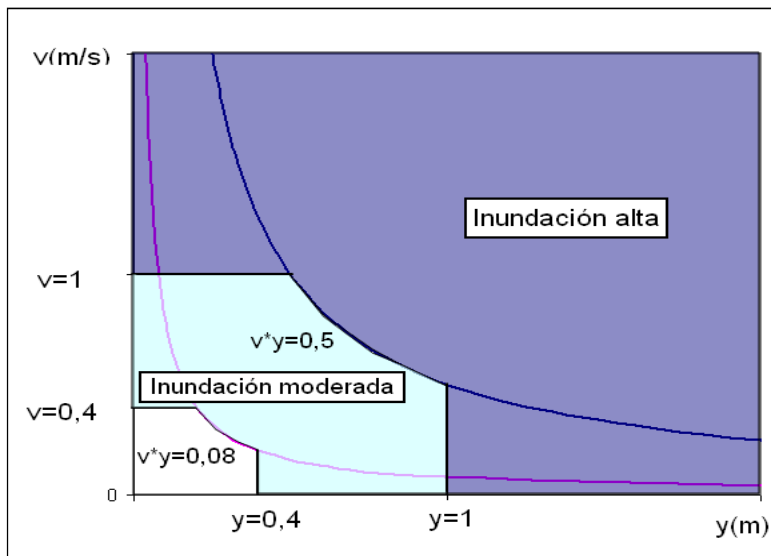


Figura 8.28 Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua.

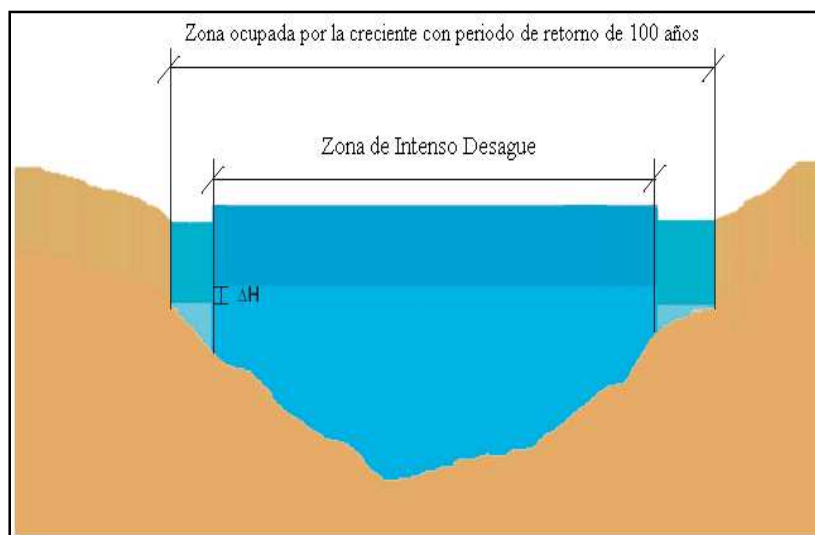


Figura 8.29 Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua.

8.4.1.3. Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial

Esta metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la comunidad valenciana PATRICOVA, en el año 2002, define 6 niveles de riesgo de acuerdo con la frecuencia de ocurrencia del evento que genera el desbordamiento y la profundidad que alcanza la columna de agua en la llanura de inundación.

Para la definición de los niveles de riesgo deben considerarse tres frecuencias de ocurrencia de crecientes:

- **Frecuencia Alta:** corresponde a períodos de retorno inferiores a 25 años, es decir, probabilidades de ocurrencia en cualquier año superiores al 4 %.
- **Frecuencia Media:** corresponde a períodos de retorno entre 25 y 100 años (probabilidades de ocurrencia entre el 4 y el 1 % en cualquier año).
- **Frecuencia Baja:** corresponde a períodos de retorno entre 100 y 500 años, los cuales presentan probabilidades de ocurrencia entre el 1 y 0.20 % en cualquier año.

De la misma forma, deben considerarse dos profundidades de la columna de agua en la planicie:

- **Profundidades Bajas:** corresponden a profundidades inferiores a 0.80 m. Se considera que estas profundidades generan daños menores, lo cual significa que se tendría un bajo nivel de vulnerabilidad.
- **Profundidades Altas:** corresponden a profundidades superiores a 0.80 m. Se asume que estas profundidades generan daños importantes, por lo cual están asociadas a altos niveles de vulnerabilidad.

Al combinar los rangos definidos para las dos variables analizadas se obtienen los seis niveles de riesgo que se presentan en la Tabla 8.15.

Tabla 8.15. Niveles de Riesgos definidos en la Metodología del PATRICOVA.

Profundidad de la inundación H (m)	Nivel de riesgo		
	Período de retorno (Tr) de la inundación (años)		
	Tr < 25 (Frecuencia Alta)	25 ≤ Tr ≤ 100 (Frecuencia Media)	100 ≤ Tr ≤ 500 (Frecuencia Baja)
Alta: H > 0.80	1 – Alto	2 – Alto	5 – Bajo
Baja: H ≤ 0.80	3 – Medio	4 – Medio	6 – Bajo

Con base en esta clasificación se establecen las siguientes restricciones en el desarrollo urbanístico:

- Las zonas potencialmente inundables sometidas a un nivel de riesgo 1 se consideran no urbanizables y deben contar con una protección especial.

- En las áreas sometidas a niveles de riesgo 2, 3 y 4 se prohíbe la construcción de viviendas, granjas, hoteles, centros escolares o sanitarios, zonas para camping, bomberos, cementerios y otros usos y actividades de naturaleza similar.
- En las zonas de riesgo 5 y 6 se permite la construcción de viviendas y hoteles con ciertas medidas de seguridad.

Para la elaboración de los mapas de riesgo aplicando esta metodología es necesario conocer los niveles de inundación para las crecientes con períodos de retorno de 25, 100 y 500 años y la extensión de las áreas que resultarían inundadas al presentarse estos eventos.

8.4.1.4. Metodología propuesta en el Plan Medioambiental

Esta metodología fue propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y el tramo bajo del río Cinca, en España en el año 2005. Plantea la implementación de dos procedimientos para la evaluación del riesgo debido a inundaciones: un procedimiento simplificado aplicable para las situaciones de riesgo bajo, en donde no se espera que se presenten daños importantes, y un procedimiento general que debe implementarse cuando los bienes amenazados son de alta vulnerabilidad o edificaciones importantes para la atención de desastres.

Procedimiento Simplificado. Este procedimiento considera márgenes de seguridad bastante altos y debería aplicarse sólo para descartar el riesgo en aquellos sectores que se estima podrían estar por fuera de la zona de riesgo.

Para la estimación del nivel de riesgo, de acuerdo con este procedimiento, es necesario llevar a cabo las siguientes actividades: caracterización preliminar de la cuenca, cálculo de los caudales máximos, cálculo del tiempo de concentración, caracterización del comportamiento hidráulico de las secciones críticas, modelación hidráulica del tránsito de los caudales máximos calculados, estimación del nivel de exposición, estimación del nivel de vulnerabilidad y, finalmente, establecimiento del grado de aceptabilidad del riesgo debido a las inundaciones, en función de la profundidad del agua y la velocidad del flujo (de acuerdo con la Tabla 8.16).

Tabla 8.16. Nivel del riesgo de acuerdo con el Procedimiento Simplificado del Plan Medioambiental del río Ebro y tramo Bajo del río Cinca.

Velocidad del Flujo (m/s)	Nivel de Riesgo	
	Profundidad del agua (H)	
	H < 1,00 m	H ≥ 1,00 m
Menor a 0,50	Aceptable	Inaceptable
Mayor a 0,50	Inaceptable	Completamente Inaceptable

Procedimiento General. En este procedimiento la estimación del nivel de riesgo se realiza a través de la implementación de los siguientes estudios: caracterización hidrológica de la cuenca, estimación de precipitaciones máximas, elaboración del plano de localización de los cursos de agua, análisis y evaluación de la frecuencia histórica de las inundaciones,

cálculo de caudales correspondientes a eventos con períodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, determinación de caudales de diseño de las obras hidráulicas existentes, estimación del tiempo de concentración, identificación de las características hidráulicas de las secciones representativas y críticas de los diferentes tramos del curso de agua, modelación hidráulica a través de la cual se determinan los planos de inundabilidad para los eventos correspondientes a los diferentes períodos de retorno analizados, cálculo de las velocidades y profundidades máximas, estudio geomorfológico, estimación del nivel de exposición, estimación del nivel de vulnerabilidad, estimación cuantitativa del nivel de riesgo y generación de una cartografía de riesgo de inundaciones en la que se diferencien cuatro zonas en función del riesgo:

Zona Blanca. Corresponde a los sectores en los que se considera que el nivel de riesgo es aceptable sin necesidad de tomar medidas de mitigación debido a las inundaciones.

Zona Amarilla. Corresponde a las zonas en las que se considera que el nivel de riesgo es bajo y deben implementarse medidas de mitigación de baja intensidad.

Zona Azul. Corresponde a sectores en los que se considera que el nivel de riesgo es entre medio y alto, por lo que es necesario tomar medidas de mitigación de intensidad media a alta.

Zona Roja. Corresponde a sectores sometidos a un alto nivel de riesgo por lo que no se permiten usos permanentes como la urbanización.

8.4.15. *Metodología para la generación de mapas de inundación en la llanura aluvial del río Cauca*

Esta fue la metodología implementada para la generación de mapas de inundación en la llanura aluvial del río Cauca, en el Proyecto PMC (Proyecto de modelación del río Cauca, CVC-Universidad del Valle, 2007). Para la elaboración de los mapas de riesgo de la llanura de inundación del río Cauca se implementó la metodología planteada en el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la comunidad valenciana (PATRICOVA), ya que se considera que los criterios establecidos por esta metodología para la zonificación del riesgo son aplicables a la planicie de inundación del río Cauca.

Debe destacarse que los criterios del PATRICOVA corresponden a una metodología simplificada en la que la vulnerabilidad se asocia a la profundidad de la inundación. Para implementar una metodología más detallada es necesario realizar un estudio de vulnerabilidad en el que se establezca la real susceptibilidad de los elementos ubicados en la llanura de inundación a ser dañados parcial o totalmente debido a inundaciones ocasionadas por el río Cauca.

Mapas de Inundación para crecientes con Períodos de Retorno de 10, 25, 100 y 500 años.

Los mapas de inundación en el valle del río Cauca fueron generados utilizando el modelo MIKE 11 GIS así como los resultados de la modelación hidrodinámica de las crecientes

simuladas a través del modelo MIKE 11 y el modelo digital de elevaciones de Terreno de la zona de estudio.

Para la generación de los mapas de inundación requeridos para implementar la metodología del PATRICOVA es necesario establecer previamente los caudales extremos asociados a los diferentes períodos de retorno en cada una de las estaciones hidrométricas ubicadas sobre el río Cauca y posteriormente, durante la modelación hidrodinámica, garantizar estos caudales a través de los aportes de los ríos tributarios.

8.4.1.6. Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

Esta metodología fue aplicada por el **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales en Managua, Nicaragua en el año 2005**. A su vez, dentro de esta metodología existen diversos criterios para la evaluación de la amenaza los cuales se mencionan a continuación.

1. *Criterios para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación.* La amenaza está en función de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad. La intensidad a su vez se puede definir en función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de las inundaciones. Por tanto, la definición de amenaza por inundaciones (en función del daño potencial) debe tener en cuenta tanto la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación como los niveles o altura del agua.

$$\text{Amenaza por inundación} = f(\text{Intensidad} \times \text{probabilidad de ocurrencia})$$

Donde:

Intensidad = f (profundidad de agua, duración, velocidad)

Probabilidad = f (precipitaciones, eventos desencadenantes (huracanes y tormentas), cambios climáticos).

2. *Criterios recomendados para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación.* La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no sólo meteorológicos sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, la magnitud de las pendientes de la cuenca, las obras realizadas en los cauces, entre otros. Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en las que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado, especialmente en las desembocaduras, donde se acumula el limo y la arena arrastrada por la corriente.

Los criterios para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo. Mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo (siempre y cuando esta fórmula arroje valores más altos, en términos de intensidad, que la anterior).

Los umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja, han sido establecidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores.

En la Tabla 8.17 y en la Figura 8.30 se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

Tabla 8.17. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).

Nivel de intensidad de la inundación	Profundidad del flujo (H) (inundaciones estáticas) (m)	Profundidad x velocidad del flujo (inundaciones dinámicas) (m ² /s)
Alto	$H \geq 1.00$	$H*V \geq 1.50$
Medio	$0.50 \leq H < 1.00$	$0.50 \leq H*V < 1.50$
Bajo	$0.25 \leq H < 0.50$	$H*V < 1.5$ y $H \geq 0.25$ m

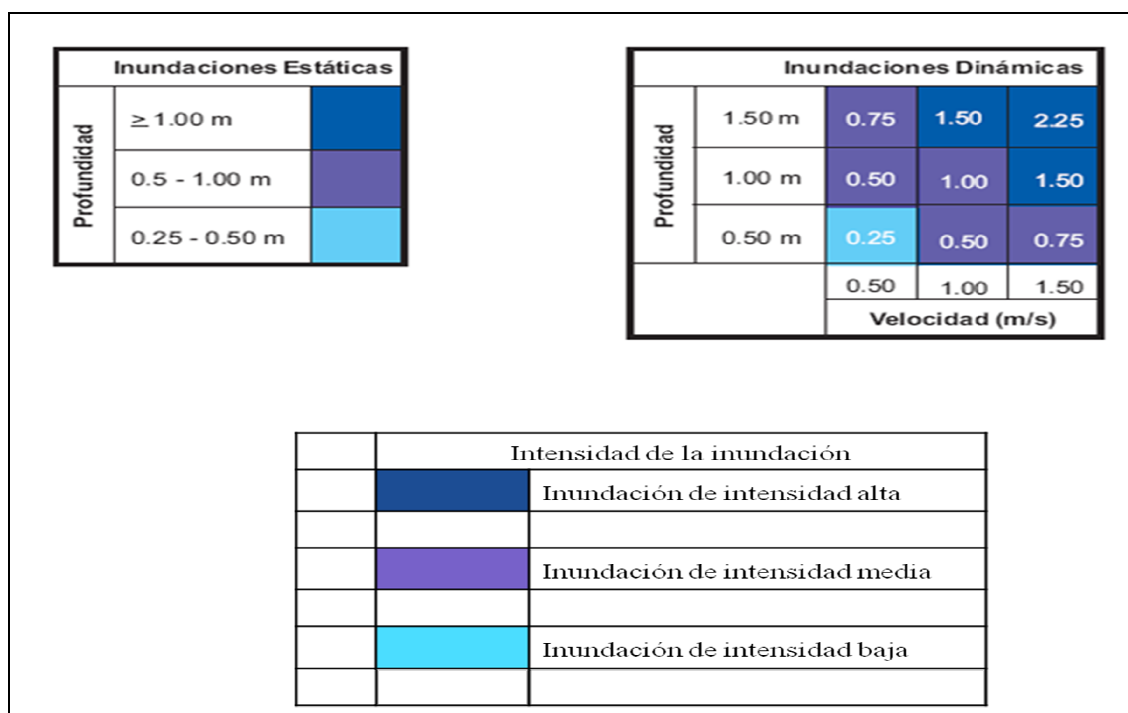


Figura 8.30 Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).

Las inundaciones de alta intensidad corresponden a aquellas que presentan profundidades de flujo mayores a 1.00 m o el producto resultante de la velocidad por la altura de agua ($V*H$) es mayor a 1.50 m²/s. Los daños causados por una inundación de alta intensidad generalmente producen altas pérdidas económicas y de vidas humanas.

Las inundaciones de media intensidad son aquellas con altura de agua (H) entre 0.50 y 1.00 m o el producto resultante de la velocidad por altura (V*H) entre 0.50 y 1.50 m²/s. Los daños económicos y a la población son menores con respecto a los causados por la inundación intensa, pero no despreciables.

Las inundaciones de baja intensidad corresponden a aquellas con profundidad del flujo superiores a 0.25 m pero inferiores a 0.50 m, o el producto V*H es menor a 0.50 m²/s.

Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales. La definición de los criterios de intensidad (velocidad y profundidad) han sido consensuados con base en las experiencias del equipo técnico participante y de experiencias de proyectos ejecutados o en ejecución en Nicaragua, tales como el PRRAC, ALARN-COSUDE, SIG-Georiesgos y el SIG para mapas de amenazas.

De igual forma, los criterios resultantes han sido revisados y comparados con criterios similares utilizados en el ámbito internacional, en particular países como España, Venezuela y Suiza, entre otros. En España por ejemplo, la intensidad de la inundación está en función de la altura de agua y se ha definido 0.80 m como el umbral entre una inundación intensa y otra de baja intensidad (no existen tres niveles de amenaza como los propuestos en la metodología aquí presentada).

3. Criterios para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o período de retorno de la inundación. La frecuencia o recurrencia de las inundaciones, es decir, cada cuánto se inunda una determinada zona dependerá esencialmente de la frecuencia de las precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los periodos de retorno se establecieron en tres categorías (ver Tabla 8.18).

Tabla 8.18. Categorización de la inundación según el período de Retorno (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).

Frecuencia de la inundación	Periodo de retorno (Tr) (años)
Alta	$Tr \leq 10$
Media	$10 < Tr \leq 50$
Baja	$50 < Tr \leq 200$

No se consideran periodos de retorno mayores a 200 años, principalmente porque las series de datos hidrometeorológicos que existen en Nicaragua no son lo suficientemente extensas (menores a 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores. Tampoco otros métodos (como los geomorfológicos) permiten estimar con precisión satisfactoria el alcance de crecidas de periodos de retorno mayores.

4. Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones. Los niveles de amenaza por inundación de un área dada resultan de la relación entre la frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir, su profundidad o el producto de la profundidad por la velocidad). Esta forma de evaluar la amenaza es comúnmente usada en países como Australia, Estados Unidos y Suiza y ha sido aplicada en Nicaragua en el proyecto PRRAC.

Los niveles de amenaza considerados son tres: alta, media y baja, que resultan de la combinación de la categorización de la inundación según el período de retorno y la intensidad de la inundación (H y V) (ver Tabla 8.19).

Tabla 8.19. Matriz de niveles de amenaza por inundaciones.

INTENSIDAD	NIVEL DE AMENAZA			
	Alta $H \geq 1.00 \text{ m}$ ó $H*V > 1.50 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Alta	Alta
	Media $0.50 \leq H < 1.00 \text{ m}$ ó $0.50 < H*V < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Media	Baja
	Baja $0.25 \text{ m} \leq H < 0.50$ ó $H*V < 0.50 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	Baja	Baja
FRECUENCIA	Alta $Tr \leq 10$	Media $10 < Tr \leq 50$	Baja $50 < Tr \leq 200$	

5. Zonificación de la amenaza por inundaciones fluviales. Conocida el área de inundación para diferentes periodos de retorno, los criterios para determinar el nivel de amenaza son definidos con los mismos criterios de período de retorno e intensidad (profundidad y velocidad de flujo), tanto para mapas a escala 1:50000 como a escala 1:10000 y 1: 5000. Las zonas inundables se clasificarán en la forma siguiente:

- **Zonas de amenaza alta.** Son aquellas zonas en donde la inundación de cualquier frecuencia supera 1.00 m o 1.50 m²/s produciendo graves daños a la población e infraestructura expuesta a ésta. También se considera zona de alta amenaza aquella inundación de alta frecuencia con profundidades de agua desde 0.50 a 1.00 m o 0.50 a 1.50 m²/s.
- **Zonas de amenaza media.** Son aquellas zonas en donde la inundación de frecuencia alta es menor a 0.50 m, y la inundación de frecuencia moderada es menor a 1.00 m o 1.50 m²/s, y producirá generalmente daños reparables a viviendas e infraestructura, pero no destrucción total, y algunas pérdidas de vidas.

- **Zonas de amenaza baja.** Son aquellas zonas en donde la inundación de frecuencia moderada no supera 0.50 m o 0.50 m²/s produciendo daños leves a la población e infraestructura. Las inundaciones de frecuencia baja pueden llegar hasta 1.00 m o 1.50 m²/s.

8.4.1.7. Metodología empleada en Florida-Valle del Cauca

Esta metodología fue empleada para la zonificación de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Florida-Valle del Cauca, en marzo de 1998. En este estudio, el alcance establecido permite obtener la cuantificación de los elementos expuestos afectados y la estimación del nivel de pérdidas de los mismos, lo cual lleva a establecer la condición de riesgo en que se encuentra la población para el caso específico de avenidas torrenciales que tengan una magnitud similar a la considerada en el presente trabajo.

La evaluación del riesgo permite la consideración de la vulnerabilidad desde distintos aspectos y con diferentes niveles de profundidad. De igual forma, puede ser considerada la dinámica social de la zona expuesta. Todo esto se encuentra considerado dentro de una propuesta metodológica concebida para estas evaluaciones y que se ha denominado “Escenarios de Riesgo”.

Un escenario de riesgo pretende ilustrar los efectos que un fenómeno amenazante desencadenado y de una cierta magnitud, en este caso las avenidas torrenciales, puede generar sobre una serie de elementos expuestos representados por personas, construcciones y actividades. Este escenario posee intrínseco unas características determinadas tanto de potencialidad y como de espacialidad del fenómeno como de ocurrencia en el tiempo del mismo, considerando una cierta dinámica de los elementos expuestos. La estructuración de la metodología que sintetiza este estudio se presenta en la Figura 8.31.

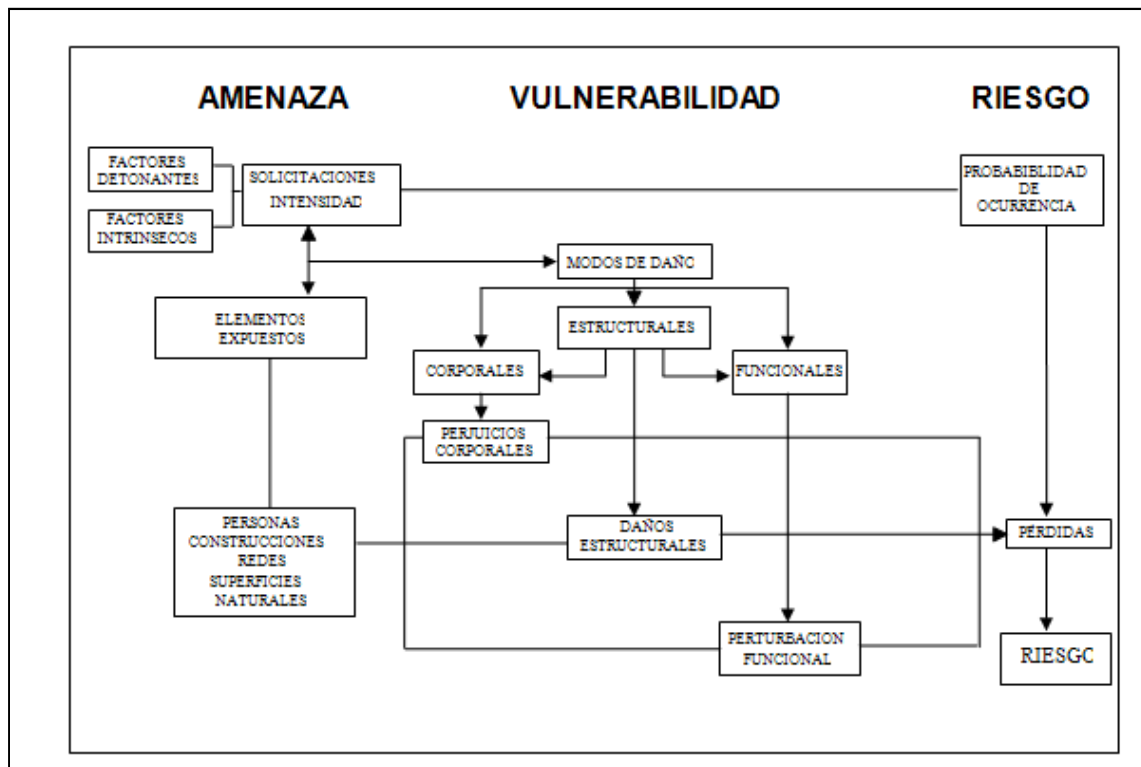


Figura 8.31 Metodología para la estructuración de un escenario de riesgo.





Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC - Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Ingeominas. Convenio CVC-984/96 Ingeominas I-024. Santa Fe de Bogotá, marzo de 1998)

8.4.1.8. Metodología propuesta por R. García₁, J.J. Rodríguez₂ y J.S. O'Brien₃

La metodología para delimitación de mapas de amenaza propuesta por R. García, J.J. Rodríguez y J.S. O'Brien ha sido propuesta en el proyecto PREVENE (2001). Esta metodología fue aplicada en la región de Vargas, Caracas, y está basada en estándares suizos y australianos (OFEE *et al.*, 1997; Fiebiger, 1997), donde se establecen tres zonas que identifican los niveles de amenaza en ubicaciones específicas. La amenaza por inundación es función de la frecuencia e intensidad de la inundación. Grandes inundaciones ocurren con menor frecuencia pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad de flujo y a la velocidad. Eventos pequeños de flujos son más frecuentes pero menos dañinos. El nivel de amenaza de flujos es entonces definido como una discreta combinación en función de la intensidad del flujo (severidad del evento) y el periodo de retorno (frecuencia) como se presenta en la Tabla 8.20.

Tabla 8.20. Nivel Discreto de Amenaza (PREVENE, 2001).

INTENSIDAD	ALTA				
	MEDIA				
	BAJA				
FRECUENCIA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	
Periodo de Retorno	10	100	500	>>500	
Probabilidad de excedencia	10%	1%	0.20%	<<0,2%	

	Amenaza Alta
	Amenaza Media
	Amenaza Baja
	Amenaza muy Baja

En este estudio, la probabilidad de los niveles está definida para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Otros periodos de retorno podrían ser considerados en este método. Para definir la intensidad del evento existen métodos que combinan la profundidad y la velocidad de flujo. El método australiano (Fiebiger et al. 1997) usa la energía total definida como $h + v^2/2g$, donde h es la profundidad de flujo, v es la velocidad y g es la aceleración de la gravedad. El método suizo (OFEE et al. 1997) define la intensidad en términos de una combinación de h y del producto de h y v . Altas intensidades se relacionan con altas profundidades y se asigna independiente de la velocidad de flujo. Cuando se superpone sobre un mapa, los diferentes niveles de amenaza pueden ser delimitados como se presenta en la Tabla 8.21.

Tabla 8.21. Definición de nivel de amenaza

Nivel de Amenaza	Color en el mapa	Descripción
Alta	Rojo	Las personas están en peligro, tanto adentro como afuera de las casas. Las edificaciones pueden ser destruidas.
Media	Naranja	Las personas están en peligro afuera de las casas. Las edificaciones pueden sufrir daños y posiblemente destrucción, dependiendo de los materiales con los que han sido construidas.
Baja	Amarrillo	El peligro en las personas es bajo, o puede no existir. Las edificaciones pueden sufrir un ligero daño, pero los sedimentos pueden afectar el interior de estas.

Siguiendo el método suizo, los criterios usados en este trabajo hacen la distinción entre inundaciones de agua e inundaciones con flujos de lodos. La intensidad está definida en términos de profundidad máxima generada por el evento y el producto de la máxima velocidad por la máxima profundidad. En este caso de flujo de lodos las intensidades se definen en la Tabla 8.22.

Tabla 8.22. Intensidad de la inundación

Intensidad de la inundación	Profundidad máxima h (m)		Producto de la profundidad máxima h y la velocidad máxima V (m²/s)
Alta	$h > 1.5$	o	$Vh > 1.5$
Media	$0.5 < h < 1.5$	o	$0.5 < Vh < 1.5$
Baja	$0.1 < h < 0.5$	y	$0.1 < Vh < 0.5$

Los eventos de flujos de lodos o de detritos son más destructivos que los flujos de agua, por lo tanto los criterios de intensidad son más conservadores que las inundaciones de agua, como se muestra en la Tabla 8.23.

Tabla 8.23. Intensidad de Flujo de lodos y detritos

Intensidad de flujos de lodos o detritos	Profundidad máxima h (m)		Producto de la profundidad máxima h y la velocidad máxima V (m²/s)
Alta	$h > 1,0$	o	$Vh > 1.0$
Media	$0.2 < h < 1.0$	y	$0.2 < Vh < 1.0$
Baja	$0.2 < h < 1.0$	y	$Vh < 0.2$

8.4.1.9. Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek

Probabilidad de flujos de detritos

La amenaza de flujos de detritos es definida como una combinación de magnitud y probabilidad. Esta combinación determina la probabilidad o frecuencia del flujo de detritos en el cauce Jones Creek. Las probabilidades del flujo de detritos están establecidas en la Tabla 8.24.

Tabla 8.24. Frecuencia del flujo de detritos y probabilidad significativa.

Periodo de retorno (años)	Frecuencia	Probabilidad de ocurrencia en 50 años	Probabilidad significativa
<20	Muy alto	Más de 90%	La amenaza es inminente y es muy probable que ocurra dentro del tiempo de vida de las personas o estructuras. Las señales de alteración se aprecian claramente y son relativamente recientes.
20-100	Alto	40%-90%	La amenaza se puede presentar dentro del periodo de vida de personas o estructuras. Las alteraciones se aprecian claramente en los depósitos y en la vegetación, pero pueden no ser recientes.
100-500	Medio	10%-40%	Es posible que la amenaza ocurra dentro del periodo de vida. Las señales de alteración como daños en la vegetación no se aprecian fácilmente.
500-2500	Bajo	Menor a 10%	La probabilidad de amenaza se encuentra por fuera de lo utilizado en la gestión y toma de decisiones en Washington

Magnitudes de flujos de detritos

La clasificación de la magnitud del flujo de detritos puede también ser clasificado de acuerdo al volumen de sedimento transportado y a su descarga pico (ver Tabla 8.25).

Tabla 8.25. Clasificación de magnitud del evento de acuerdo al volumen de detritos transportado.

Frecuencia	Probabilidad de ocurrencia en 50 años	Flujo de detritos		
		Volumen (yd ³)	Descarga pico (p ³ /s)	Descarga pico (m ³ /s)
Alta	40%-90%	40.000	10.000	280
Media	10%-40%	120.000	10.000	280
Baja	Menos de 10%	245.000	20.400	575

Nota: Eventos de probabilidades altas ocurren para inundaciones de agua y flujo de lodos con pequeñas concentraciones de sedimentos. Así mismo, se pueden presentar eventos de flujos de lodos de gran capacidad de daño. (e.g 1953).

Impacto del flujo de detritos

La zona de impacto del flujo de detritos está basada en las siguientes definiciones presentadas en la tabla 8.26.

Tabla 8.26. Nivel de amenaza

Zona	Definición			
	v (p/s)	d (p)	D (p)	Descripción
Roja	> 12,0	> 8,0	> 2,0	Zona de impacto directo
Naranja	6,0 - 12,0	2,0 - 8,0	1,0 - 2,0	Zona de impacto indirecto
Amarilla	< 6,0	< 2,0	< 1,0	Zona de sedimentación
Las áreas afectadas por el sedimento no son detalladas específicamente. v = Velocidad máxima de flujo ; d = Profundidad máxima de flujo ; D = Dimensión máxima de las rocas (Diámetro)				

8.4.2. Metodología propuesta

La metodología propuesta en el presente estudio se fundamenta en varios de los criterios utilizados en las metodologías presentadas y la experiencia del grupo de investigación HIDROMAR en esta área de las amenazas aplicadas en el río Cauca, teniendo en cuenta los diferentes acuerdos reglamentados por la CVC para protección del río Cauca y sus tributarios (alineamientos de diques riberaños, determinación de la franja protectora del río Cauca, periodos de retorno de diseño para cultivos, infraestructuras y centros poblados y por supuesto acorde a los planes y esquemas de ordenamiento territorial y planes de prevención, atención de desastres, y emergencias y contingencias de las inundaciones y flujos torrenciales).

8.4.2.1. Metodología para flujos con concentración normal de sedimentos (inundaciones) Niveles de frecuencia del evento

A cada escenario seleccionado de mapas de inundación se le debe asignar un nivel de frecuencia en términos cualitativos: frecuencia alta, media, moderada, baja, etc.

Los umbrales de periodos de frecuencia o recurrencia recomendados se presentan en la Tabla 8.27. Los umbrales de los periodos seleccionados corresponden inicialmente a 2 veces el periodo de retorno de los diseños de los drenajes urbanos (10 años), el segundo umbral corresponde aproximadamente a los diseños que la normativa colombiana debe garantizar en las obras de infraestructura vial y de cultivos (30 años) y el tercer umbral corresponde a la norma que estipula que cualquier comunidad aledaña a un cauce debe tener garantizada su integridad para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 8.27. Nivel de frecuencia

Frecuencia	Nivel de frecuencia de la inundación
$Tr \leq 10$ años	Alta
$10 \text{ años} < Tr \leq 30$ años	Media
$30 \text{ años} < Tr \leq 100$ años	Baja

Niveles de intensidad o magnitud del evento

A cada escenario seleccionado de mapa de inundación se le debe realizar una clasificación cualitativa de acuerdo a su intensidad o magnitud.

Las características hidráulicas a tener en cuenta para determinar la intensidad y magnitud son la profundidad (H), la velocidad (V) y el producto de la profundidad por la velocidad (H*V).

Los umbrales de intensidad o magnitud recomendados se presentan en la Tabla 8.28. El primer umbral determinado corresponde al nivel observado a partir del cual las comunidades desalojan sus viviendas (0.45 m) y el segundo umbral corresponde al criterio en el cual una persona corre riesgo por su vida (0.90 m). En lo que respecta a las velocidades los umbrales corresponden a 0.50 m/s y 0.80 m/s respectivamente. Los umbrales del producto de la profundidad por la velocidad corresponden a 0.225 m²/s y 0.45 m²/s. Los umbrales definitivos de intensidad o magnitud se toman de acuerdo al rango de niveles, rango de velocidades y a los rangos de la multiplicación de la profundidad por la velocidad.

Tabla 8.28. Nivel de intensidad o magnitud

Intensidad o magnitud de la inundación profundidad (H) (m) velocidad (V) (m/s) profundidad por velocidad del flujo (H*V (m²/s))	Nivel de intensidad o magnitud de la inundación
$H \geq 0.90$ ó $V \geq 0.80$ ó $H*V \geq 0.45$	Alta
$0.45 \leq H < 0.90$ ó $0.50 \leq V < 0.80$ ó $0.225 \leq H*V < 0.45$	Media
$H < 0.45$ y $V < 0.50$ y $H*V < 0.225$	Baja

Los niveles de intensidad expresados en la Tabla 8.29 se presentan en la Figura 8.32.

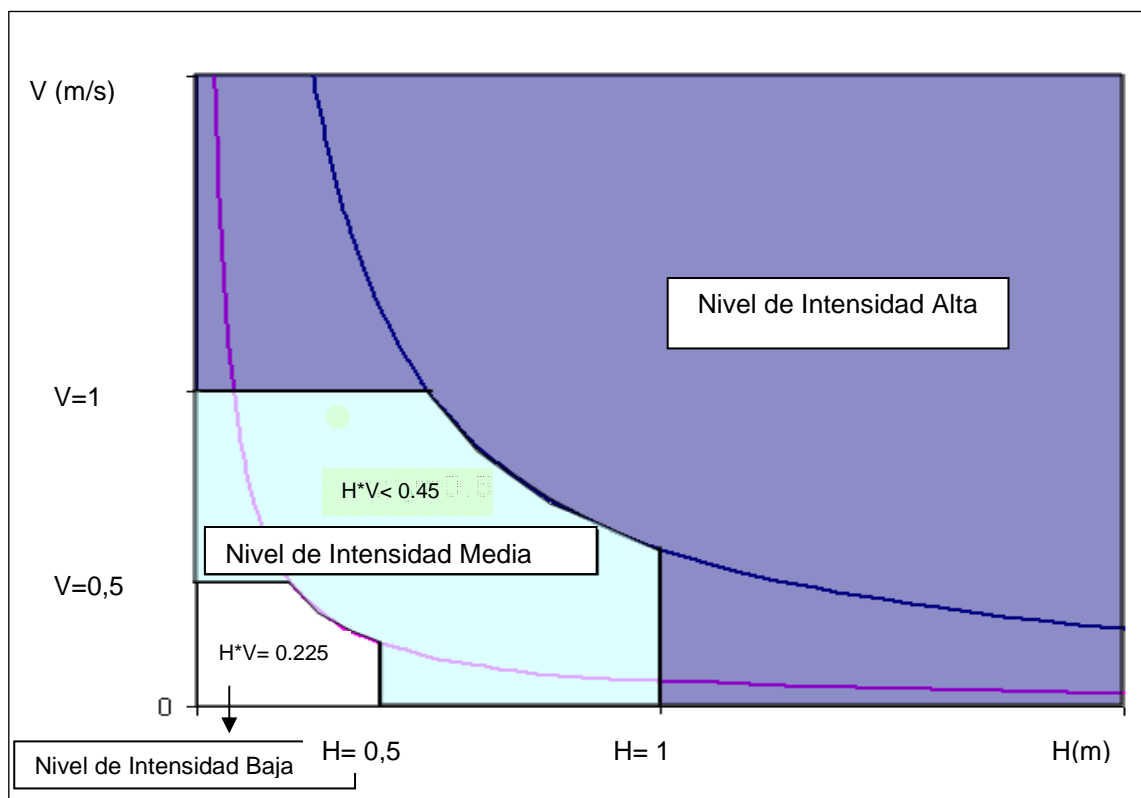


Figura 8.32 Nivel de intensidad o magnitud.

Determinación de los niveles de amenaza por evento

Determinado los umbrales y niveles de frecuencia e intensidad se procede a clasificar los mapas de inundación en diferentes niveles cualitativos de amenaza (alta, significativa, media, moderada alta, moderada, moderada baja, baja, etc.).

Los niveles de amenaza que se recomiendan son alta, media y baja, niveles que dependen de los niveles de frecuencia o recurrencia y de los niveles de intensidad de la amenaza, expresada con los tres rangos de profundidades de agua recomendados, como se observa en las Tablas 8.30 y 8.31.

Tabla 8.29. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud

		Nivel de amenaza		
		Alta	Media	Baja
Nivel de intensidad	Alta $H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Alta	Alta
	Media $0.45 \text{ m} \leq H < 0.90 \text{ m}$ ó $0.50 \text{ m/s} \leq V < 0.80 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Media	Media
	Baja $H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	Baja	Baja
Frecuencia de la inundación		Alta $Tr \leq 10$	Media $10 < Tr \leq 30$	Baja $30 < Tr \leq 100$

Tabla 8.30. Niveles de amenaza

Profundidad (m) o velocidad (m/s) o profundidad por velocidad (m^2/s)	Nivel de intensidad o magnitud	Periodo de retorno (años)	Nivel de frecuencia	Nivel de amenaza
$H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/s$	Alta	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/s$	Alta	$10 < Tr \leq 30$	Media	Alta
$H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/s$	Alta	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Alta
$0.45 \text{ m} \leq H < 0.90 \text{ m}$ ó $0.50 \text{ m/s} \leq V < 0.80 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/s \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/s$	Media	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$0.45 \text{ m} \leq H < 0.90 \text{ m}$ ó $0.50 \text{ m/s} \leq V < 0.80 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/s \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/s$	Media	$10 < Tr \leq 30$	Media	Media
$0.45 \text{ m} \leq H < 0.90 \text{ m}$ ó $0.50 \text{ m/s} \leq V < 0.80 \text{ m/s}$ ó $0.225 \text{ m}^2/s \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/s$	Media	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Media
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/s$	Baja	$Tr \leq 10$	Alta	Media
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/s$	Baja	$10 < Tr \leq 30$	Media	Baja
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/s$	Baja	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Baja

8.4.2.2. Metodología para flujos torrenciales

Los umbrales de intensidad o magnitud recomendados para flujos torrenciales se presentan en la Tabla 8.31. El primer umbral determinado corresponde al nivel observado a partir del cual las comunidades desalojan sus viviendas (0.25 m) y el segundo umbral corresponde al criterio en el cual una persona corre riesgo por su vida (0.50 m). En lo que respecta a las velocidades los umbrales corresponden a 0.25 m/s y 0.50 m/s respectivamente. Los umbrales del producto de la profundidad por la velocidad corresponden a 0.10 m^2/s y 0.25 m^2/s . Los umbrales definitivos de intensidad o magnitud se toman de acuerdo al rango de niveles, rango de velocidades y a los rangos de la multiplicación de la profundidad por la velocidad.

Tabla 8.31. Nivel intensidad o magnitud

Intensidad o magnitud de la inundación profundidad (H) (m) velocidad (V) (m/s) profundidad por velocidad del flujo (H*V (m ² /s))	Nivel de intensidad o magnitud de la inundación
$H \geq 0.50$ ó $V \geq 0.50$ ó $H*V \geq 0.25$	Alta
$0.25 \leq H < 0.50$ ó $0.25 \leq V < 0.50$ ó $0.10 \leq H*V < 0.25$	Media
$H < 0.25$ y $V < 0.25$ y $H*V < 0.10$	Baja

Los niveles de intensidad expresados en la Tabla 8.31 se pueden observar en la Figura 8.33.

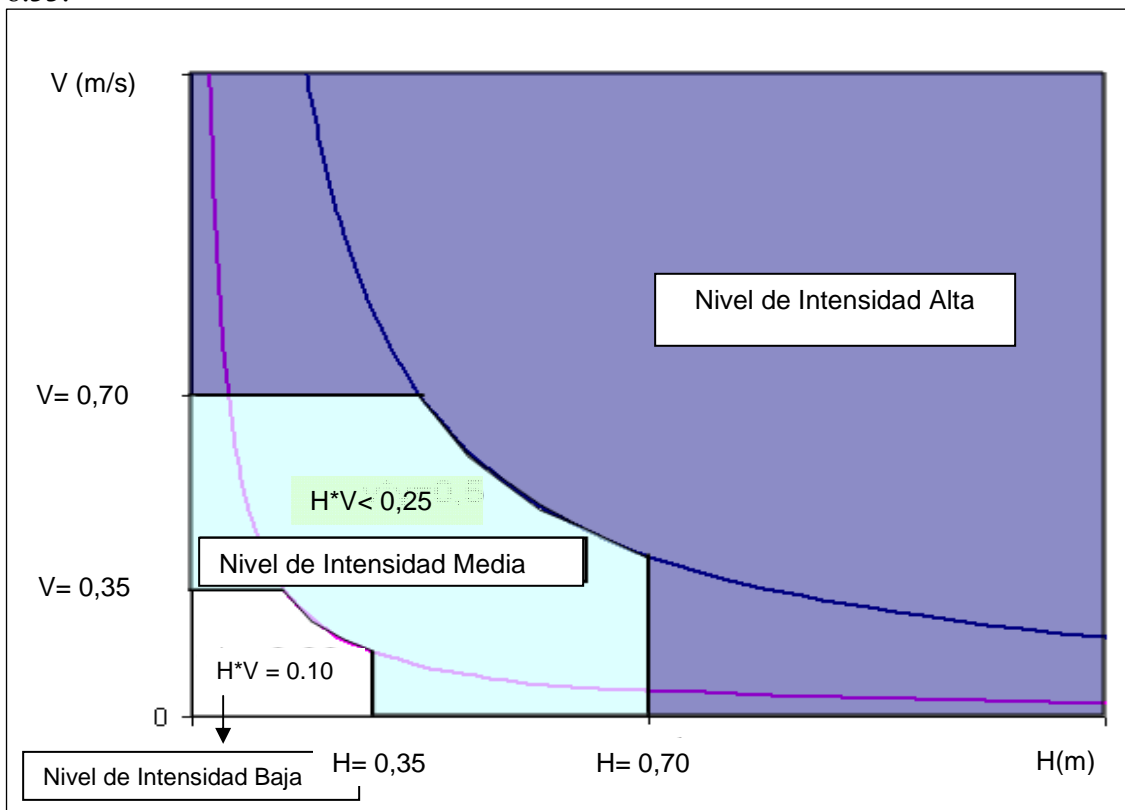


Figura 8.33 Nivel de intensidad de las inundaciones por flujos torrenciales según grupo Hidromar-Univalle.

Determinación de los niveles de amenaza por evento

Determinado los umbrales y niveles de frecuencia e intensidad se procede a clasificar los mapas de inundación en diferentes niveles cualitativos de amenaza (alta, media, moderada alta, moderada, moderada baja, baja, etc.).

Los niveles de amenaza que se recomiendan son alta, media y baja, niveles que dependen de los niveles de frecuencia o recurrencia y de los niveles de intensidad de la amenaza,

expresada con los tres rangos de profundidades de agua recomendados, como se observa en las Tablas 8.32 y 8.33.

Tabla 8.32. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud para flujos torrenciales

Nivel de Intensidad	Nivel de Amenaza			
	Alta $H \geq 0.50 \text{ m}$ ó $V \geq 0.50 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Alta	Alta
	Media $0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m}$ ó $0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s}$ ó $0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	Media	Media
	Baja $H < 0.25 \text{ m}$ y $V < 0.25 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	Baja	Baja
Frecuencia de la Inundación	Alta $Tr \leq 10$	Media $10 < Tr \leq 30$	Baja $30 < Tr \leq 100$	

En el sistema de información geográfica (SIG) de la zona de estudio se llevan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica para los diferentes escenarios simulados. Con base en las profundidades de agua en las áreas inundadas y teniendo en cuenta la intensidad de la inundación se generan los mapas de amenaza. A cada frecuencia de inundación corresponde un mapa de amenaza. En cada mapa se identifican las áreas inundadas y el nivel de amenaza al cual se encuentran sometidas.

Tabla 8.33. Niveles de amenaza

Profundidad (m) o profundidad por Velocidad (m²/s)	Nivel de intensidad o Magnitud	Periodo de retorno (años)	Nivel de frecuencia	Nivel de amenaza
$H \geq 0.50 \text{ m}$ ó $V \geq 0.50 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$H \geq 0.50 \text{ m}$ ó $V \geq 0.50 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$10 < Tr \leq 30$	Media	Alta
$H \geq 0.50 \text{ m}$ ó $V \geq 0.50 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Alta
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m}$ ó $0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s}$ ó $0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m}$ ó $0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s}$ ó $0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$10 < Tr \leq 30$	Media	Media
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m}$ ó $0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s}$ ó $0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Media
$H < 0.25 \text{ m}$ y $V < 0.25 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$Tr \leq 10$	Alta	Media
$H < 0.25 \text{ m}$ y $V < 0.25 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$10 < Tr \leq 30$	Media	Baja
$H < 0.25 \text{ m}$ y $V < 0.25 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Baja

Teniendo los resultados de los mapas de amenaza para cada escenario, tanto para los eventos de inundaciones como para los flujos torrenciales, se construye un mapa final que representa la envolvente crítica (superposición de los resultados de los tres escenarios para cada uno de los periodos de retorno, tomando para cada espacio del territorio el máximo nivel de amenaza) de los resultados píxel por píxel del territorio de los diferentes escenarios considerados, construyendo un único mapa denominado mapa de amenaza global que servirá de base para la planificación territorial de la zona de estudio de cada uno de los fenómenos evaluados.

9. GEOTECNIA

9. GEOTÉCNIA

9.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el propósito de identificar y caracterizar tanto espacialmente como en profundidad las propiedades geomecánicas del material aflorante y obtener los perfiles estratigráficos y la profundidad del material inestable, se realizó el plan de exploración correspondiente a catorce apiques a una profundidad máxima de 2.0 metros, complementadas con tres sondeos mecánicos.

Para caracterizar geomecánicamente la zona de estudio se realizó la exploración por sectores que abarcan la totalidad de la misma, teniendo como base el mapa de unidades geológicas superficiales realizado durante el presente estudio. Se realizaron en total tres perforaciones mecánicas a 18 m, 13.50 m y 10.50 m de profundidad respectivamente, y se localizaron de tal forma que los resultados fueran representativos del comportamiento del subsuelo. La primera perforación (S-1) se localizó dentro del perímetro urbano en el barrio El Porvenir; la segunda (S-2) en el barrio Ricaurte en la carrera 19 al lado del ferrocarril; y la tercera (S-3) al lado del taller rural.

En la Figura 9.1 se ilustra la ubicación de las perforaciones, los apiques y los muestreos sobre el lecho de los principales cauces, mientras que en la Tabla No. 9.1 se presentan las características de los puntos de exploración: coordenadas, tipo de exploración y profundidad.

En general y según el subsuelo explorado, se observó que el material que aflora es muy homogéneo, caracterizado principalmente por la presencia de arcillas de resistencia media a muy alta con algunas intercalaciones de basalto. Los registros fotográficos y descripciones de cada uno de los apiques realizados se incluyen en el Anexo 9.1 “Registro de exploración del subsuelo”.

En las Foto 9.1 y 9.2 se aprecian en detalle de unas de las muestras extraídas de los sondeos; mientras que en las Figuras 9.2, 9.3 y 9.4 se ilustran los perfiles estratigráficos representativos de los tres sondeos realizados.

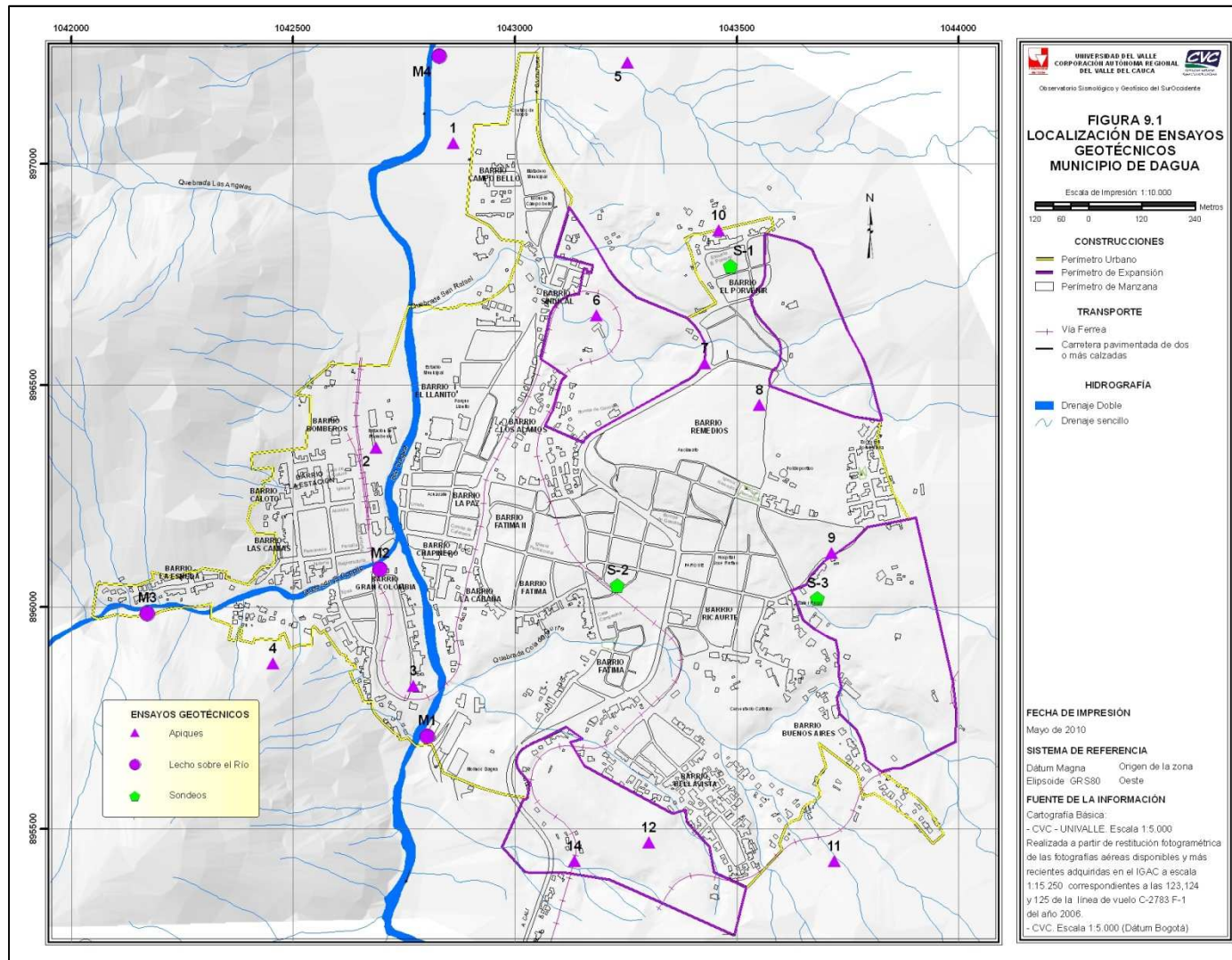


Figura 9.1 Ubicación de apiques, sondeos mecánicos y muestreos sobre el lecho de los principales cauces.

Tabla 9.1. Características de los apiques y sondeos mecánicos realizados

ID	COORDENADAS MAGNA		TIPO DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO [m]
	NORTE	ESTE			
S-1	896768	1043487	SONDEO	(0,00-18,0)	6.00
S-2	896048	1043231	SONDEO	(0,00-13.50)	3.40
S-3	896019	1043682	SONDEO	(0,00-10.50)	4.00
M1	895708	1042803	LECHO DE RIO	superficial	--
M2	896085	1042697	LECHO DE RIO	superficial	--
M3	895985	1042172	LECHO DE RIO	superficial	--
M4	897242	1042830	LECHO DE RIO	superficial	--
M5	896000	1042280	LECHO DE RIO	superficial	--
AP1	897046	1042862	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP2	896360	1042688	APIQUE	(0,00-1,70)	No se encontró
AP3	895822	1042772	APIQUE	(0,00-1,85)	No se encontró
AP4	895873	1042456	APIQUE	(0,00-2,20)	No se encontró
AP5	897228	1043255	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP6	896658	1043184	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP7	896550	1043429	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP8	896456	1043551	APIQUE	(0,00-2,00)	No se encontró
AP9	896122	1043714	APIQUE	(0,00-1,90)	No se encontró
AP10	896850	1043460	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP11	895427	1043720	APIQUE	(0,00-1,70)	No se encontró
AP12	895469	1043303	APIQUE	(0,00-2,00)	No se encontró
AP13	895228	1043847	APIQUE	(0,00-1,80)	No se encontró
AP14	895427	1043135	APIQUE	(0,00-2,20)	No se encontró



Foto 9.1 Muestra (10.50-11.00) en S-1, intercalación de basalto.



Foto 9.2 Muestra típica de arcillas en S-2.

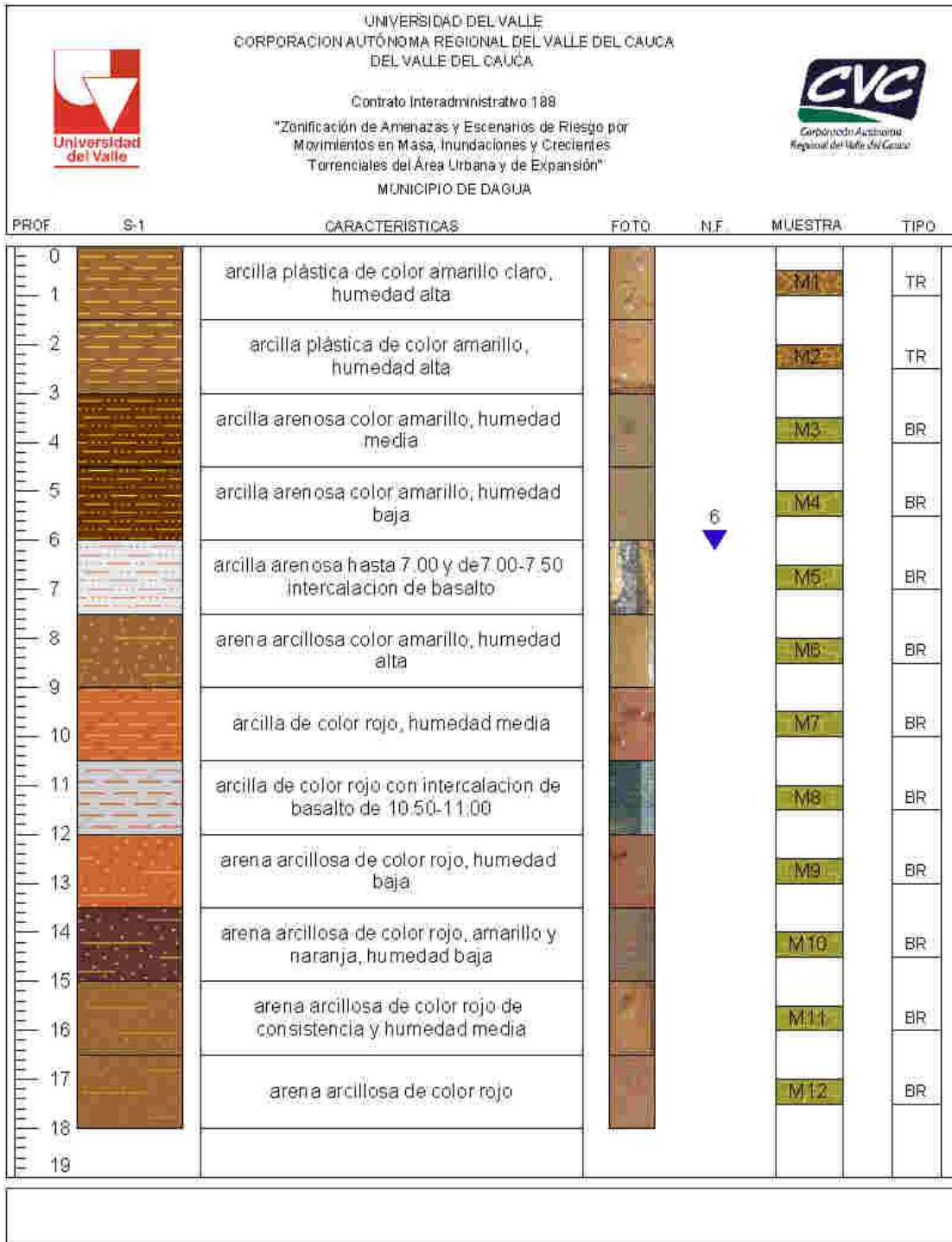


Figura 9.2 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-1.

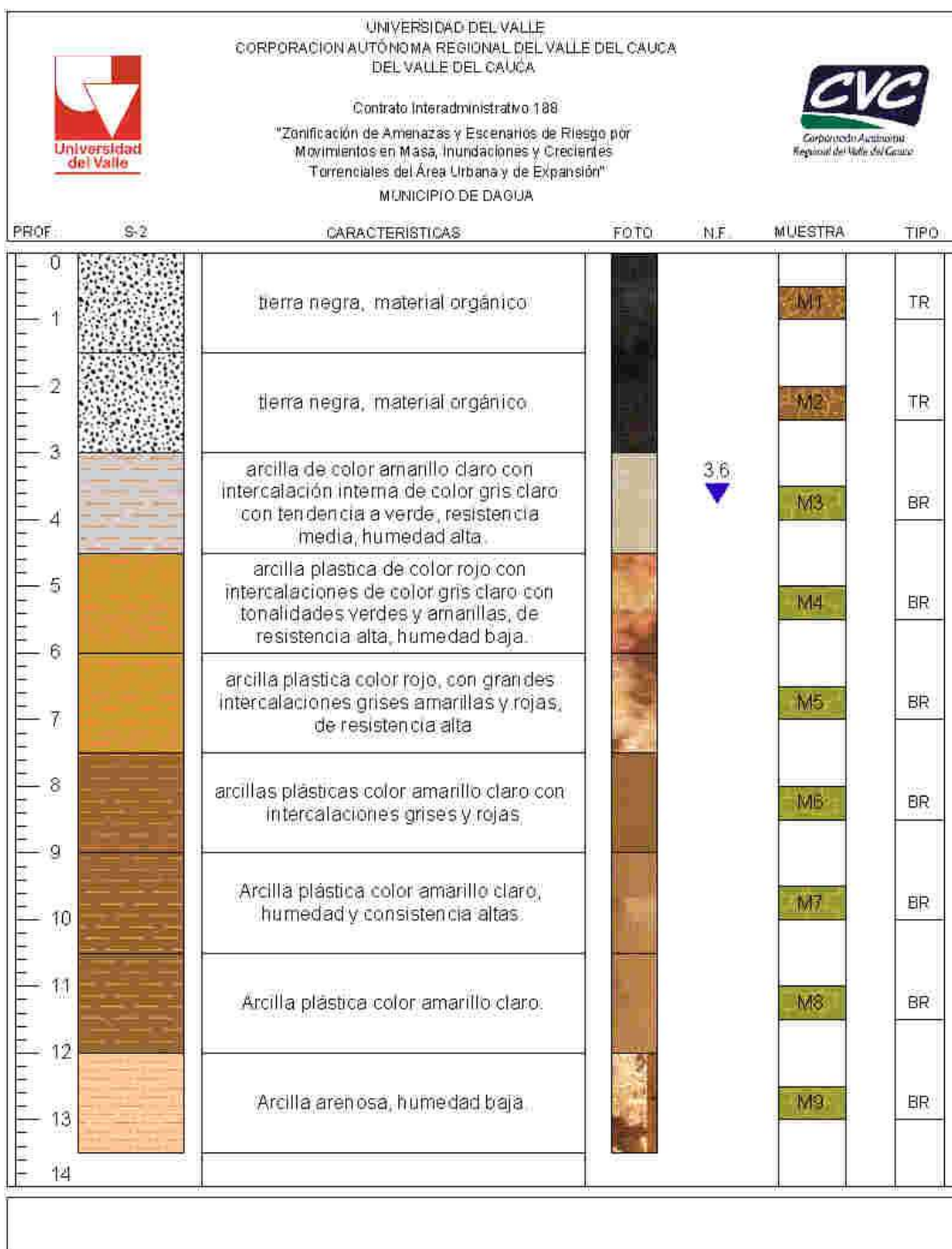


Figura 9.3 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-2.

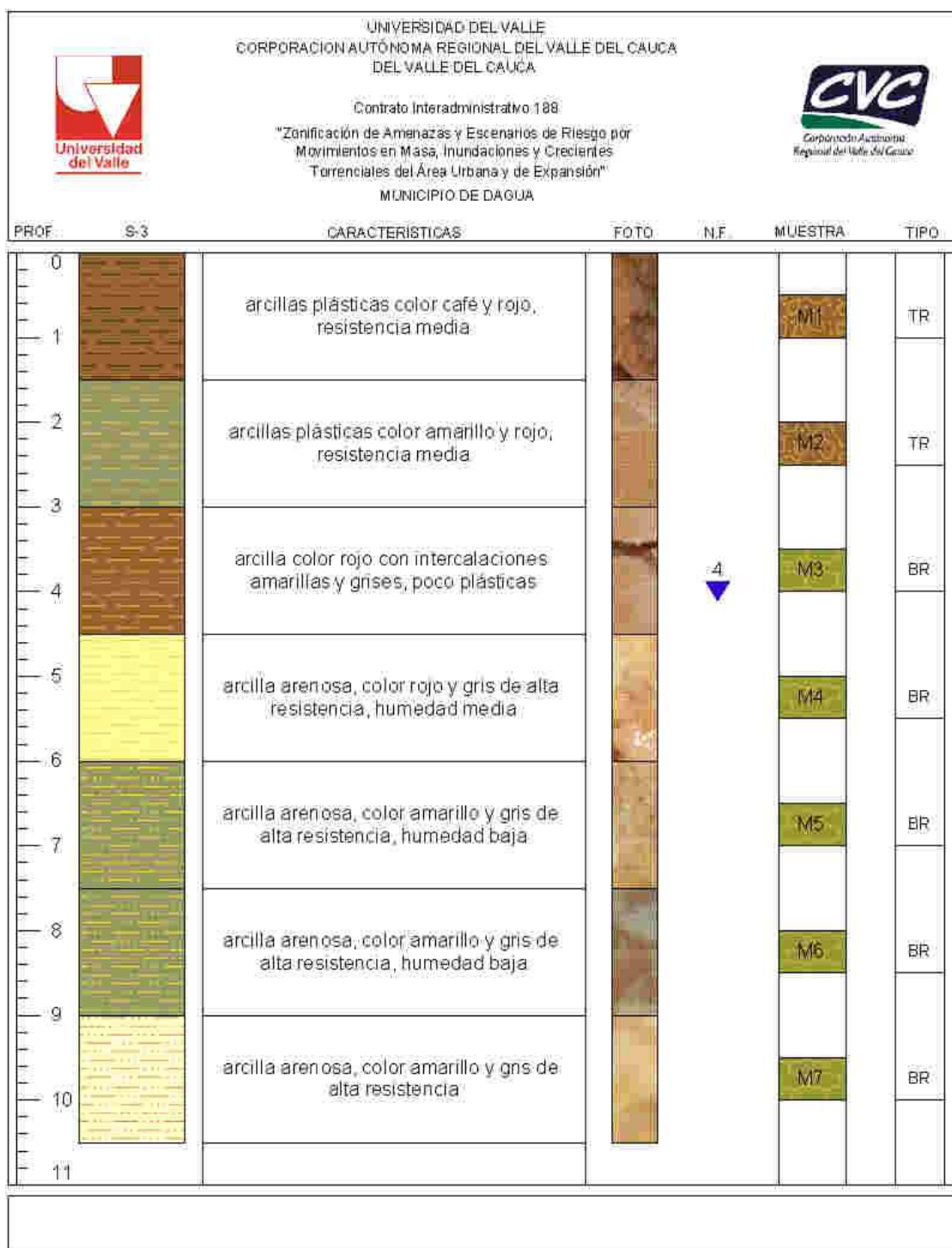


Figura 9.4 Perfil estratigráfico de sondeo mecánica S-3.

De los anteriores perfiles se destaca el hecho que el material aflorante corresponde a arcillas arenosas, y en profundidad el material tiende a ser más arenoso, probablemente de la alteración de los basaltos.

9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de caracterizar las propiedades índices y geomecánicas del material aflorante en la zona de estudio, se realizaron diferentes ensayos de laboratorio a las muestras recuperadas de la exploración del subsuelo. Los ensayos realizados abarcan desde caracterización, hasta ensayos de resistencia, destacándose las pruebas de compresión confinada, triaxiales y cortes directos. Ver Anexo 9.2 “Ensayos de Laboratorio”

9.2.1. Ensayos de clasificación

Se realizaron estos ensayos con el fin de caracterizar las propiedades de la fracción fina del material aflorante. Para tal fin, se llevaron a cabo los Límites de Atterberg, granulometrías e hidrometrías. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9.2.

✓ Granulometrías e Hidrometrías

A las muestras tomadas del lecho del río Dagua y de la quebrada El Cogollo, dada su característica de ser un material suelto y de depósito aluvial, se les hicieron ensayos granulométricos e hidrometrías, con el fin de determinar el tamaño típico del material arrastrado y depositado en el lecho del río. Los resultados típicos de las muestras se presentan en las Figuras 9.5 y 9.6. De los anteriores resultados se destacan los siguientes aspectos:

- El material arrastrado por el lecho del río es pobremente gradado, y el porcentaje de la fracción fina es inferior al 5%. Lo anterior implica que el material de arrastre es arenoso y la fracción fina (limos y arcilla), es muy poca.

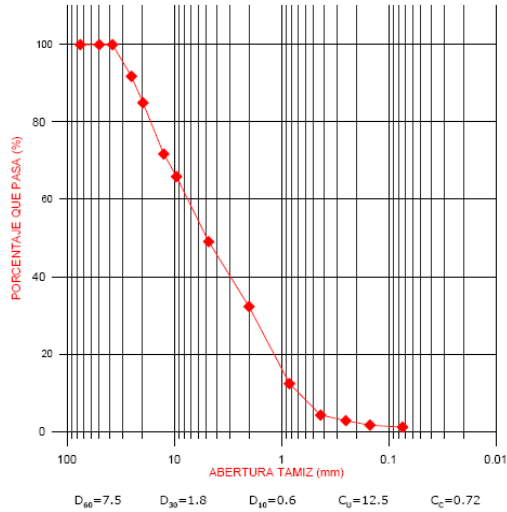
MUESTREO No 4

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Coordenadas: N: 897242

E: 1042830

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 4 MUESTRA: M4.1
Prof(m): Superficial SITIO: DAGUA



Relaciones granulométricas:

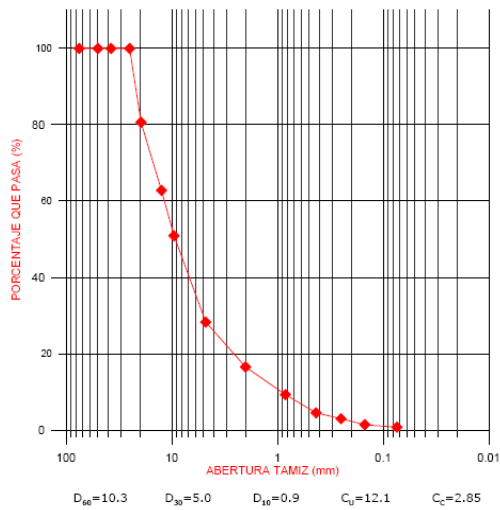
D60=7.5 ; D30=1.8 ; D10=0.6

Cu=12.5 ; Cc=0.72

Descripción M4.1: Material granular, grava fina con arena media de color café.



PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 4 MUESTRA: M4.2
Prof(m): Superficial SITIO: DAGUA



Relaciones granulométricas:

D60=10.3 ; D30=5.0 ; D10=0.9

Cu=12.1 ; Cc=2.85

Descripción M4.2: Material granular, Grava fina con presencia de arena grano medio.

Figura 9.5 Curvas Granulométricas y características de muestreo No.4. Quebrada El Cogollo.

Tabla 9.2 Resultados de ensayos de Clasificación material aflorante

ID	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD WN (%)	Límites de Att.			Clasifc. USCS	γ_t gr/cm ³	γ_t seco
			LL %	LP %	IP %			
S-1	(1.50-3.00)	41.9	60.2	32.7	27.5	MH		
S-1	(4.50-6.00)	25.6						
S-1	(12.00-13.50)	43.3	66.6	36.0	30.6	MH	1.63	1.14
S-2	(7.50-9.00)	34.8					1.73	1.28
S-3	(6.00-7.50)	32.4					1.86	1.40
AP 1	(0.00-1.80)	11.0	47.0	35.2	11.8	ML		
AP 6	(0.00-1.80)	23.8	43.6	25.4	18.2	CL		
AP 7	(0.00-1.80)	26.1	45.5	36.6	8.9	ML		
AP 10	(0.00-1.80)	20.2	50.0	27.1	22.9	CH		
AP 11	(0.00-1.70)	9.6	34.3	16.2	18.1	CL		
AP 12	(0.00-2.00)	30.1	58.2	30.9	27.3	MH		

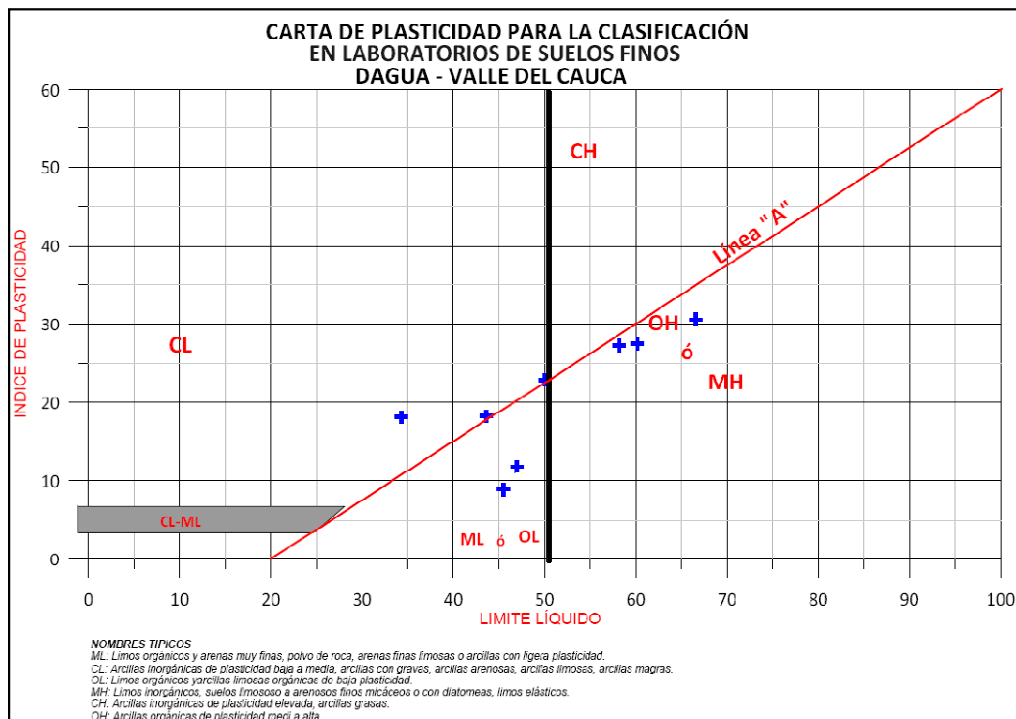


Figura 9.7 Carta de plasticidad de Casagrande.

9.2.2. Ensayos de resistencia

9.2.2.1. Ensayos Triaxiales consolidados no drenados (CU)

Mediante esta prueba, se pretende determinar los parámetros de resistencia de Mohr-Colomb, en términos de esfuerzos efectivos. Para tal fin, las pruebas realizadas fueron consolidando a la muestra a presiones similares a las existentes en el terreno y posteriormente, llevándolas a la falla en condición no drenada.

Cabe recordar que las muestras se tomaron en diferentes unidades superficiales con el fin de abarcar la totalidad de la zona de estudio, en la Figura 9.8 se presenta la curvas esfuerzo-deformación característica de la unidad superficial suelos coluviales de la Formación Volcánica mientras que en la Figura 9.9 se presenta la misma curva para la unidad de suelos residuales de la Formación Volcánica. De las curvas se puede deducir que el material tiene un comportamiento dúctil.

Las envolventes de resistencia se presentan en las Figuras 9.10 y 9.11 donde se aprecian valores muy bajos de los parámetros de resistencia del suelo. Finalmente en la Tabla 9.3 se presentan los parámetros de resistencia del suelo obtenidos.

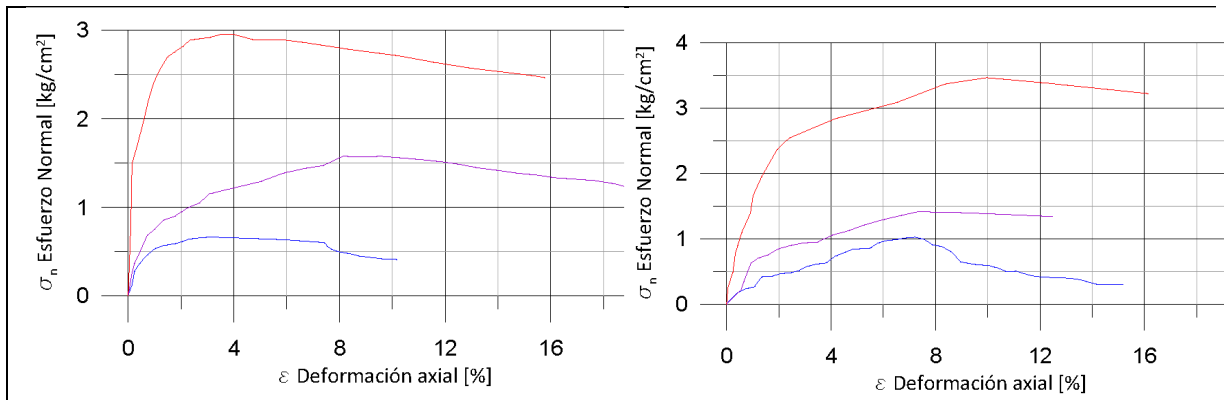


Figura 9.8 Curva Esfuerzo-Deformación S-2_3.00 - 4.50m.

Figura 9.9 Curva Esfuerzo-Deformación S-3_1.50 - 3.00m.

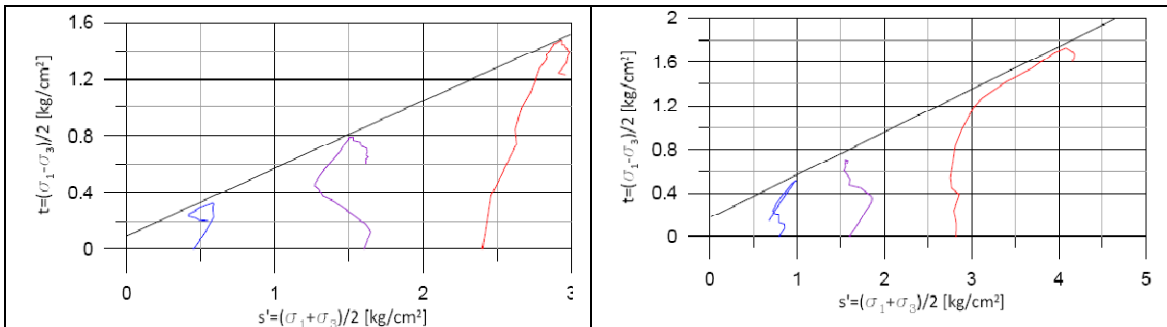


Figura 9.10 Envolvente de falla S-2_3.00-4.50m.

Figura 9.11 Envolvente de falla S-2_3.00 - 4.50m.

Tabla 9.3. Resultados de ensayos triaxiales.

ID	PROF. (m)	ϕ (°)	C' (kg/cm ²)
S3	4.50-5.00	20.10	1.06
S2	3.00-4.50	26.6	0.10

9.2.2.2. Ensayos de Corte Directo

Para determinar los parámetros de resistencia del suelo, se realizaron ensayos de corte directo para condición consolidada drenada. En la Figura 9.12 se ilustra la envolvente de falla Mohr-Coulomb típica de las muestras ensayadas, y además en la Figura 9.13 la curva esfuerzo - deformación para la misma en condición pico, en donde se puede apreciar que el suelo tiene un comportamiento dúctil.

En la Tabla 9.4 se presentan los parámetros de resistencia del suelo obtenidos tanto en condición pico como residual.

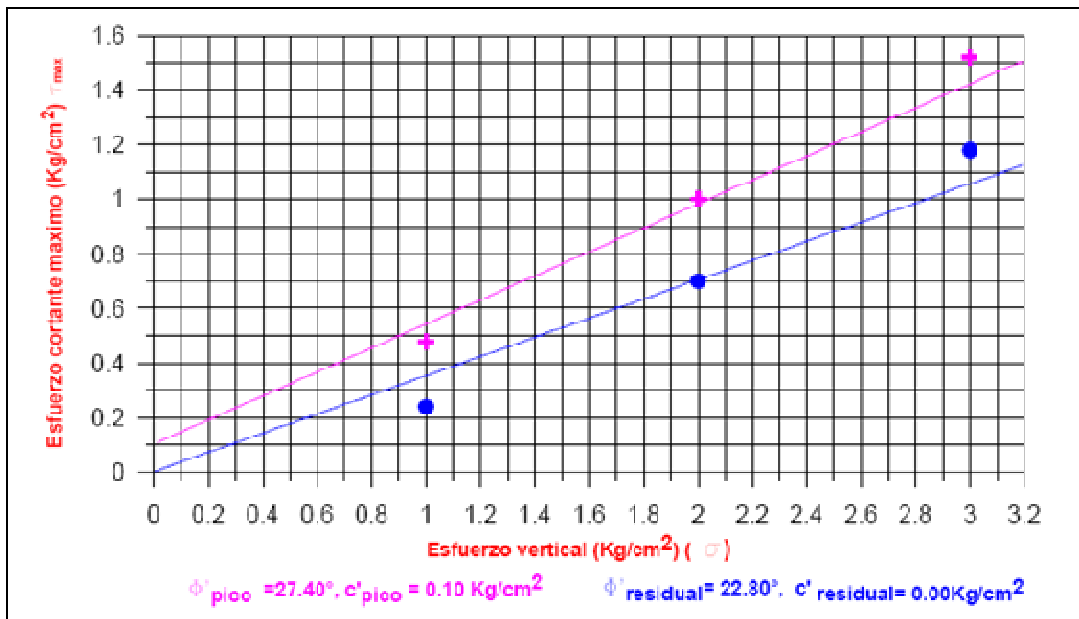


Figura 9.12 Envolvente de falla Mohr – Coulomb S-1_11.00-12.00m.

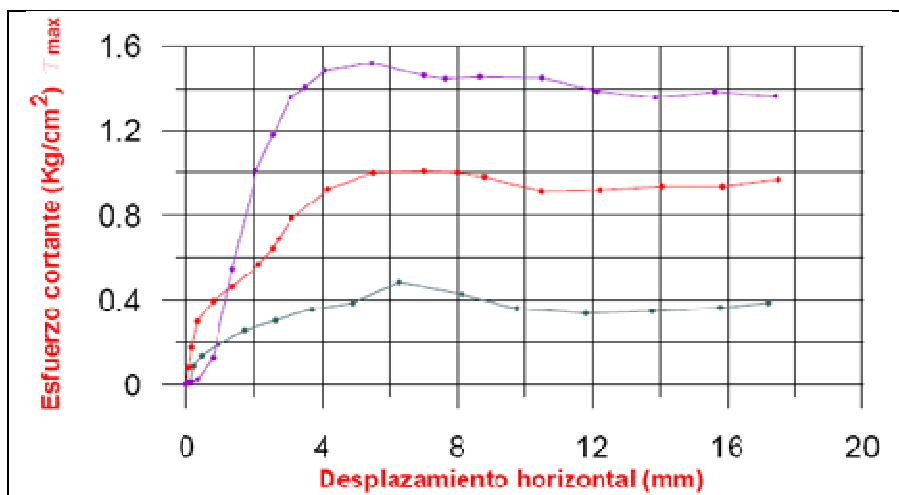


Figura 9.13 Curva Esfuerzo-Deformación en condición pico S-1_11.00-12.00m.

Tabla 2.1. Resultados de ensayos de corte directo

ID	PROF. (m)	ϕ' (°)	C' (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	
				ϕ (°)	RESIDUAL
AP5	0.00-1.80	14.80	0.20	9.50	0.06
AP9	0.00-2.50	41.60	0.07	39.50	0.00
S1	11.00-12.00	27.40	0.10	22.80	0.00
S2	3.00-3.50	39.80	0.20	12.56	0.03
S2	9.00-10.50	44.50	0.12	32.30	0.00
S2	10.50-12.00	44.80	0.10	20.50	0.00

Finalmente, se menciona el hecho de que los parámetros de resistencia obtenidos en esta sección, así como los resultados de los ensayos de infiltración serán utilizados en el modelo geológico-geotécnico, que es la base para los posteriores análisis de estabilidad. Estos parámetros de resistencia serán asignados a las diferentes unidades geológicas superficiales.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

Dada la ubicación del Municipio de Dagua y los problemas del sistema de alcantarillado que comparte con varios municipios del Departamento, se presentan problemas de inundaciones tanto por el desbordamiento del río Dagua y sus afluentes, como por la colmatación de su alcantarillado y deslizamientos por la alta pendiente en que se han construido asentamientos subnormales de la localidad como el caso del Barrio La Esneda y La Cabaña. Entre los eventos más graves se encuentran los ocurridos en los años 2002, 2006, 2007 y 2008, donde por el número de inundaciones y deslizamientos se puede constatar que fueron años donde los inviernos generaron muchos daños tanto en la cabecera municipal, como en los corregimientos. Claro está, los estragos causados por las lluvias del año 2008 son los más recordadas por las personas con las cuales hablamos.

Los mayores problemas de riesgo, sin demeritar los que suceden en la cabecera, se presentan por fuera del área de estudio de este proyecto, pero es igualmente importante registrar los problemas de corregimientos y veredas ya que se constituyen en causales de afectación de sectores del casco urbano, en el presente informe los tenemos en cuenta por esa razón. De allí que dentro de la información consultada, aunque corresponden a sectores aledaños a la cabecera municipal, se encuentren los eventos que los han afectado y que hacen parte de la jurisdicción del Municipio de Dagua.

Para finalizar es necesario que se desarrollen proyectos en el municipio encaminados a mitigar los estragos causados por el invierno y los inadecuados usos del suelo, como por ejemplo: recuperar las vías existentes deterioradas por el cauce del río Dagua, disminuir el impacto ambiental ocasionado por la falta de obras de arte en el manejo de las aguas lluvias, proteger a la comunidad del sector aledaño a la estación de Bomberos de posibles desastres, por el deterioro de la estabilidad del terreno aledaño a la cabecera municipal y la realizar la construcción de obras de mitigación, como gaviones, donde el río Dagua a efectuado socavaciones, como recomiendan los estudios técnicos consultados.

Los procesos de remoción en masa del municipio de Dagua, muestran una clara vinculación genética con los factores geológicos y geomorfológicos dominantes.

La falla activa de Dagua-Calima, que corre en dirección N-S, a lo largo de la depresión del río Dagua, separa dos dominios litológicos, estructurales y geomorfológicos diferentes. En cuanto a la litología; al W de la falla se tiene la formación Espinal de rocas sedimentarias silíceas, con laderas abruptas y valles encañonados. Al E de la falla se tiene la Formación Volcánica conformada por rocas básicas, con suelos residuales espesos, laderas suaves y corrientes de agua poco entalladas. El valle aluvial del río Dagua separa los dos dominios litológicos y morfológicos.

En las montañas occidentales, los procesos morfodinámicos están representados principalmente por *nichos longitudinales de erosión*, anchos y profundos, aparentemente inactivos o con actividad muy lenta, pero que potencialmente pueden ser canales de flujos

de lodo, fragmentos de roca y detritus. Aunque las laderas que conforman las Facetas Triangulares en el frente montañoso o del escarpe, no muestran deslizamientos activos, ni antiguos abundantes; su alta pendiente, la presencia de suelos residuales y la numerosa cantidad de nichos de erosión, podrían representar amenaza para los habitantes expuestos en el borde de las laderas empinadas contra el río Dagua.

En el frente montañoso próximo al escarpe de la falla de Dagua – Calima (barrio GRAN COLOMBIA), se presenta un deslizamiento de tipo traslacional, aparentemente inactivo o temporalmente estabilizado, de grandes proporciones, hoy día limitado por antiguos *nichos de erosión* desarrollados en sus bordes laterales. El deslizamiento podría constituir eventualmente una amenaza para el barrio.

Dentro de la parte montañosa, al W de la población, la quebrada Cogollo tiene una cuenca de drenaje que se extiende cordillera arriba, la cual por sus pendientes abruptas, presencia de suelos residuales y deslizamientos antiguos; conduce a pensar que potencialmente puede representar amenaza. La quebrada tiene un *cono de deyección*, conformado por materiales de tamaño irregular, distribuidos de manera caótica, donde no se observa una estratificación ordenada. Esta circunstancia conduce a pensar que pueden corresponder a *depósitos de avalancha* antiguos. Por otra parte el valle aluvial encañonado, aguas arriba, hacia la parte media de la cuenca, de acuerdo al análisis con fotografías del terreno, parece que ha tenido deslizamientos voluminosos antiguos, en particular desde su ladera izquierda, lo cual también representa un peligro potencial, que al repetirse el fenómeno, originaría el represamiento del cauce y su posterior ruptura, con posible aporte de gran cantidad de agua, fragmentos de roca y suelo. La posibilidad de una avalancha podría afectar notablemente a la comunidad e infraestructura de los barrios LA ESNEDA, LA ESTACIÓN y GRAN COLOMBIA, situados en vecindades del cono de deyección de la quebrada, en la zona hace unos 40 a 50 años se presentó un episodio de este tipo que causó serios daños.

La baja calidad de la roca del *macizo rocoso* de la Formación Espinal, que conforma la región montañosa, no está representada por movimientos de masa acordes con esta condición geomecánica del macizo. Posiblemente su inestabilidad potencial, estaría más bien asociada con la excavación y colapso de sitios para obras de ingeniería civil, donde las posibilidades de fallar serían mayores.

La región al E del río Dagua, de morfología suave, conformada por suelos espesos de la Formación Volcánica, presenta numerosas cárcavas de erosión, con mayor concentración hacia el sector SE de la zona. El cárcavamiento es un proceso lento, que en la actualidad no parece amenazar de manera sorpresiva a la comunidad ni a su infraestructura. Con algunas excepciones, como al NE del barrio BUENOS AIRES, no existen viviendas regulares cercanas o alrededor de las cárcavas mayores. Próximos a las zonas de expansión urbana, o dentro de ellas, se presentan estos fenómenos que en algunos casos pueden alcanzar los 300m de longitud, con posibilidades de seguir remontando el drenaje aguas arriba.

Las cárcavas son un fenómeno pasivo, sin posibilidad de consecuencias catastróficas, que afecta principalmente al paisaje y constituye una limitante para la expansión urbana.

La zona de reptación del terreno en el barrio FATIMA, en el sector de Telecom, está evidenciada por las rupturas en las paredes y fachadas de las casas, fenómeno muy lento y casi imperceptible, que se ha manifestado durante más de 20 años. Cerca de esta zona existe una cárcava antigua, estabilizada, y aún colonizada en su parte baja, que puede ser, entre otros, la causante del problema.

Los ensayos de refracción sísmica se realizaron en las áreas de expansión de la cabecera municipal de Dagua.

La profundidad de exploración geofísica alcanza los 15.00 metros.

La refracción sísmica nos define tres horizontes de velocidad a saber:

- *Primer Horizonte*, corresponde a suelos residuales de consistencia blanda, que alcanzan profundidades entre 1.00 a 2.00 metros con velocidades promedio de 600 a 1250 pies/segundo.
- El *Segundo Horizonte*, alcanza profundidades entre 2.00 a 7.70 metros y velocidades del orden de 1410 a 2460 pies/segundo, correlacionable con roca meteorizadas de consistencia dura.
- El *Tercer Horizonte*, corresponde a la roca muy fracturada a fracturada pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidades mayores de 3000 pies/segundo respectivamente.

Es de recordar que los ensayos ejecutados corresponden a medidas indirectas tomadas en superficie; por lo tanto; dichos resultados serán una base para la toma de decisiones.

10.2 RECOMENDACIONES

En las zonas de EXPANSIÓN URBANA es necesario conocer las condiciones geológico-geotécnicas de los suelos limo-arenosos y arcillo-limo-arenosos: granulometría, plasticidad, porosidad, pesos específicos y grado de saturación. Profundidad del nivel freático. Capacidad Portante y otros. Se debe tener en cuenta la eventual presencia de partículas tamaño grava, generalmente descompuestas por el intemperismo, y la posibilidad de encontrar, en las perforaciones, *núcleos residuales* aislados de roca basáltica, que haya sobrevivido a la *meteorización esferoidal*, tal como se observaron en el terreno, y que puedan producir *rechazo*.

El estudio geotécnico debe extenderse hacia las laderas de la MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO DAGUA, en el borde inferior de las facetas triangulares y zonas de acumulación de

talus, donde hay presencia de *asentamientos humanos*. En especial el barrio GRAN COLOMBIA.

Es importante, analizar la CUENCA DE LA QUEBRADA COGOLLO, en el aspecto geológico, geomorfológico, hidrológico y geotécnico, para identificar la posible *amenaza* y la probabilidad de tener movimientos de remoción en masa en las paredes de la cuenca y de avalanchas o de avenidas torrenciales a lo largo del cauce.

Un estudio, que se debe realizar a mediano plazo es el concerniente con el *aspecto sismogénico* de la FALLA DE DAGUA- CALIMA, en el *aspecto sismogénico*, pues es considerada como una de las fallas activas más notables en la Cordillera Occidental, en el Valle del Cauca. Es importante definir sus segmentos potencialmente movibles, las magnitudes máximas creíbles, los períodos de recurrencia, aceleraciones, atenuación de la onda y los efectos potenciales en Dagua y ciudades vecinas.

Finalmente, se debe estudiar la estabilidad de la Cuenca de drenaje del río Dagua a escala 1:25000 o menor con el fin de entender su posible amenaza en cuanto a las avenidas torrenciales o inundaciones sobre la cabecera municipal de Dagua.

11. BIBLIOGRAFÍA

11. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE DAGUA. Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Dagua. 2001.

ASPDEN, J.A. The geology of the Western Cordillera, Department of Valle, Colombia. (Sheets 261, 278, 279, 280 & 299). INGEOMINAS- Misión Británica (British Geological Survey), Report No. 4 (Inédito). Cali. 1984.

ASPDEN, J.A. NIVIA, A. & MILLWARD, D. Mapa geológico de Colombia – Escala 1:100.000, Plancha 279 - Dagua. INGEOMINAS. Bogotá. 1985.

BARRERO, D. Geology of the central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS, 4, 75p. 1979.

CVC. Subdirección de Gestión Ambiental. Grupo de Infraestructura. Informe Técnico Proceso de Carcavamiento Afluentes Quebrada El Cogollo. Barrio La Esneda. Dagua. Santiago de Cali. 1999.

CVC. Sistema de Información Geográfica de la Unidad de Manejo de Cuenca de Alto Dagua, La Cumbre. Restrepo. Santiago de Cali. 2001.

HUBACH, E & ALVARADO, B. Geología de los departamentos del Valle y Cauca en especial del carbón. Servicio Geológico Nacional, Informe 224 (Inédito). Bogotá. 1934.

INGEOMINAS. Mapa geológico del Valle del Cauca. Memorias del Valle del Cauca. 2001.

NIVIA, A. En imprenta. El Complejo Estructural Dagua, registro de deformación de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental. Memorias VI I Congreso Colombiano de Geología. 1997.

VERDUGO, G. & ASPDEN, J.A. Mapa Geológico de Colombia, Escala 1:100.000, Plancha 299 - Jamundí. INGEOMINAS. Bogotá. 1985

Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca. Convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle. 2005.

LÓPEZ, R. (2005). Resistencia al flujo de ríos de montaña: desarrollo de ecuaciones de predicción. España.

GARCÍA, D. F. (2003). Hidráulica y transporte de sedimentos en ríos de montaña. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá, Colombia.

Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca. Convenio 168 de 2003 – CVC/Universidad del Valle. 2005.

Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila y Dagua. CVC. 2007.

PARKER, G., KLINGEMAN, P.; MCLEAN, D. (1982). Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams. *Journal of Hydraulic Div., ASCE*, Vol. 108 No. HY4, 1982, pp. 544 – 571.

PARKER, G. (1990). The “Acronym” series of Pascal programs for computing bedload transport in gravel rivers. External Memorandum No. M-220. University of Minnesota, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory.

BUNTE, K. Y R. ABT, S. (2001). Sampling surface and subsurface particle – size distribution in wadable Gravel –and cobble- bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring.

Metodología establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de España, 1995.

Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua, 2003.

Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana, PATRICOVA, 2002.

Metodología propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y tramo bajo del río Cinca (Gobierno de Aragón – Iberinsa, 2005).

Metodología Implementada para la Generación de Mapas de Inundación en la Llanura Aluvial del río Cauca. Proyecto de Modelación río Cauca – Proyecto PMC (CVC-Universidad del Valle, 2007).

Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE “Inundaciones Fluviales Mapas de Amenaza”

Recomendaciones técnicas para su elaboración. Managua, Nicaragua, Agosto de 2005.

Metodología para la Zonificación de Amenaza y Riesgo por Avenidas Torrenciales en la Cabecera Municipal de Florida-Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC - Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Ingeominas. Convenio CVC-984/96 Ingeominas I-024. Santa Fé de Bogotá, Marzo de 1998.

Metodología para delimitación de mapas de amenaza propuesta por R. García, J.J. Rodríguez y J.S. O’Brien.

Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek y propuesta por Kerr Word Leital Associates Limited para el Departamento de Obras Públicas del Condado de Whatcom (Estados Unidos, 2004).

12. ANEXOS

Anexo 2.1: Historicidad - Lista de eventos del Municipio de Dagua

Municipio	Fecha	Evento	Lugar	Fuente	Observaciones
Dagua	05/05/96	Deslizamiento	Corregimiento El Danubio	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	06/05/96	desplome de vivienda	Barrio Buenos Aires	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	17/04/97	Inundación	Barrio Gran Colombia	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	19/07/98	Inundación	Barrios Los Álamos, La Esneda, Gran Colombia, Estadero Cuper, Droguería Cafioccidente	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	02/11/00	Inundación	Corregimientos El Naranjo, La Guinea y Cisneros	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	15/01/02	Deslizamiento	Barrio Bellavista	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	31/01/02	Inundación	Barrio Gran Colombia-Escuela	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	08/04/02	Inundación	Barrio - Av. Los Mangos	Minuta Bomberos Dagua	Colapso sistema de alcantarillado, fuertes lluvias
Dagua	25/04/02	Inundación	Barrio La Esneda	Minuta Bomberos Dagua	Amenaza desborde quebrada El Cogollo
Dagua	29/11/02	Inundación	Sector La Galería, cabecera municipal	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	29/10/03	Inundación	Barrios Bellavista, Provivienda, Fátima, Ricaurte, Colegurre, Av. Los Mangos	Minuta Bomberos Dagua	Colapso sistema de alcantarillado, fuertes lluvias
Dagua	20/11/03	Inundación	Barrio Gran Colombia-Escuela	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	09/05/04	Inundación	Sector La Galería, cabecera municipal	Minuta Bomberos Dagua	Taponamiento canal aguas lluvias
Dagua	13/09/04	Inundación	Barrio Los Mangos	Minuta Bomberos Dagua	Colapso sistema de alcantarillado, fuertes lluvias
Dagua	12/04/06	Inundación	Barrio La Paz y Cisneros	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua y quebrada Picorito
Dagua	05/05/06	Inundación	Corregimiento Loboguerrero, barrio Ventalamina	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	09/05/06	Inundación	Km. 30 vía Cali-B/ventura	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	09/05/06	Deslizamiento	3er túnel vía a B/ventura, corregimiento El Naranjo, vereda La Reina	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	03/06/06	Deslizamiento	Km. 54 vía a Loboguerrero	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	05/09/06	Inundación	Barrios Gran Colombia, Av. Los Mangos, Parte Alta Gran Colombia, Taller Rural, y Bellavista	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	12/12/06	Inundación	Sector Puerto Dagua, corregimientos	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua

			Juntas y Cisneros		
Dagua	01/12/07	Deslizamiento	Corregimientos Cisneros, Juntas, Zabaletas, y Km. 51 sector La Pezuña	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua y río Pepitas
Dagua	01/12/07	Inundación	Barrio Ricaurte	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	03/12/07	Deslizamiento	Vereda La Reina	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento quebrada
Dagua	28/05/08	Inundación	Sector La Galería, cabecera municipal	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	28/05/08	Deslizamiento	Vereda Delmira-Corregimiento Zabaletas	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento quebrada La Lora
Dagua	01/06/08	Inundación	Barrio Chiminangos	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	20/07/08	Inundación	Sector La Galería, cabecera municipal	Minuta Bomberos Dagua	Colapso sistema de alcantarillado, fuertes lluvias
Dagua	26/07/08	Inundación	Sector La Galería, cabecera municipal	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	28/08/08	Inundación	Km. 51 vía Loboguerrero	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	28/11/08	Deslizamiento inundación	Corregimiento El Naranjo- 3er Túnel, sitio La Pezuña	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento quebrada Jiménez y río Pepitas
Dagua	30/11/08	Deslizamiento	Vía Dagua B/ventura, sitio La Pezuña y vereda Peñas Gordas	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento quebradas Jiménez y La Ceniza
Dagua	30/11/08	Inundación y deslizamiento	Corregimientos la Providencia, El Naranjo, Juntas	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamientos 9 quebradas (Los Gatos, El hormiguero, El Paraguas, Sanjón Seco, La Mina, El Reniego, La Linda, La Venada, La Tatabra
Dagua	01/12/08	Inundación	Corregimiento El Naranjo, vereda La Reina	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento dos quebradas
Dagua	12/03/09	Inundación	Corregimiento Cisneros	Minuta Bomberos Dagua	Desbordamiento río Dagua
Dagua	23/03/09	Deslizamiento	Sector La Víbora, vía Cali-B/ventura	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	04/04/09	Deslizamiento	Sector Los Patiños, Km. 52	Minuta Bomberos Dagua	
Dagua	02/05/09	Inundación	Barrios Bellavista y Arrayanes, y Harinera del Valle	Minuta Bomberos Dagua	

Anexo 3.1: Topografía – Equipos utilizados



GPS HIPER LITE+ TOPCON Ficha Técnica

SERIE HIPER	
DESCRIPCIÓN	Receptor/antena GPS+ Integrado de 40 canales con Interface MINTER
ESPECIFICACIONES DE SEGUIMIENTO	
Canales de seguimiento	L1: 40 L1 GPS, L1+L2: 20 GPS L1+L2 (GD), 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD) (Hiper GGD & Hiper+)
Observables seguidas	Código C/A, Código P y Fase L1/L2 y GLONASS
PRESTACIONES	
Especificaciones	(1 sigma)
Precisión Línea Base	3mm + 1ppm para L1 + L2; 5mm + 1.5ppm para L1
Precisión RTK (OTF)	10mm + 1.5ppm para L1 + L2; 15mm + 2ppm para L1
Inicialización en Frío	<60 segundos
Inicialización en Caliente	<10 segundos
Readquisición	<1 segundo
ESPECIFICACIONES DE ENERGÍA	
Batería	Baterías Internas de Iones de Litio mas un puerto de alimentación externo
Autonomía	14+ horas
Entrada Energía Externa	6 a 28 voltios DC
Consumo de Energía	Menos de 4.2 watts (Hiper sin modem menos de 3.0 Watts)
ESPECIFICACIONES AMBIENTALES	
Cubierta	Aluminio extruido, impermeable
Temperatura Operación	-30°C a 60°C
Dimensiones	159 x 172 x 88 mm
Peso	1.65 kg
ESPECIFICACIONES ANTENA GPS+	
Antena GPS / GLONASS	Integrada (Hiper GGD & Hiper+)
Tipo Antena	Microstrip (Hiper/HiperGGD) / Antena UHF centrada (sólo Hiper+)
Plano de Tierra	Antena sobre estrecho plano de tierra
ESPECIFICACIONES DE RADIO	
Radio Modem UHF	Interno Rx o Externo Tx/Rx
Modem CDPD & GS	Modelo Opcional
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	
Comunicación	Bluetooth® versión 1.1 comp.™+ (sólo Hiper+)
ENTRADA / SALIDA	
Puertos Comunicación	4x serie (RS232)
Otras señales E/S	1pps, Marcador de Eventos
Indicador de estado	4 LEDs x 3 colores (Verde, Rojo, Naranja), 2 teclas de función (MINTER)
Unidad de Control y Pantalla	Externa: FC-1000, Ranger, u otra
MEMORIA Y REGISTRO	
Memoria Interna	Hasta 96MB (Hiper/HiperGGD) ó 1 GB(sólo Hiper+)
Registro Datos Brutos	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)
Tipo de Datos	Código y Fase L1 y L2, GPS y GLONASS
SALIDA DE DATOS	
Salida de datos en tiempo real	RTCM SC104 versión 2.1, 2.2, 2.3, CMR, CMR+
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 2.2
Otras Salidas	Formato TPS
Ratio de Salida	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)



GPS 4600 LS

Trimble Navigation

Ficha Técnica

4600LS

Economical, fully integrated single-frequency GPS survey unit

STANDARD FEATURES

- RTCM Version 2 input
- NMEA-0183 output
- Internal memory

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Physical

Size: 22.1 cm (8.7") Dia. x 11.8 cm (4.64") H
Weight: 1.4 kg (3.1 lbs)
 1.7 kg (3.7 lbs) with batteries for >32 hours

Electrical

Receiver power: <1 Watt receiver only
 5 VDC with C-size batteries, 9 to 20 VDC external supply
Battery life (typical): >32 hours continuous receiver operation on 4 standard C-size alkaline batteries
Certification: FCC & CE mark approved

Environmental

Operating temp: -40°C to +65°C (-40°F to +149°F)
Storage temp: -55°C to +75°C (-67°F to +167°F)
Humidity: 100%, fully sealed. Buoyant
Shock: 2 m (6ft) accidental pole drop

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Static Survey Performance

Modes: Quick-Start, L1 FastStatic
Accuracy:
Horizontal: ±5 mm + 1 ppm (≤10 km)
Vertical: ±10 mm + 2 ppm (≤10 km)
Azimuth: ±1 arc second + 5/baseline length in kilometers

Kinematic Survey Performance (Postprocessed)

(Requires TSC1 data collector with Trimble Survey Controller at rover)

Modes: Continuous, Stop-&-go
Accuracy:
Horizontal: ±1 cm + 1 ppm
Vertical: ±2 cm + 1 ppm
Occupation:
Continuous: 1 measurement
Stop & go: 2 epochs (min) with 5 satellites

Fastest datalogging rate: 1 Hz

General Performance

Start-up: <30 seconds from power-on to start survey with recent ephemeris
Measurements: L1 C/A-code, L1 full-cycle carrier
Number of channels: 12
Datalogging: In internal memory; in optional TSC1 data collector; or on TSC1 optional removable PC card
Receiver data storage: 64 hours internal memory of L1 data, 5 satellites, 15 second interval (typical)
 4.5 hours internal memory of L1 data, 5 satellites, 1.0 seconds (minimum)
 Unlimited data storage using optional TSC1 and PC data card

OPTIONS AND ACCESSORIES

Survey options: 2 m rangepole
 2 m adjustable height tripod
 Rugged transit cases
Datalogging options: TSC1 data collector with Trimble Survey Controller software
 GPS Configurator software
Batteries: Camcorder battery (24 hours of operation)
 6 Ah battery (72 hours of operation)
 10 Ah battery (120 hours of operation)
Support: Extended hardware warranty
 Firmware and software update agreement
 Training on-site or at factory
Software: Trimble Geomatics Office — *The total GPS and conventional survey data processing solution.*
 GPS Configurator software — *Free software that runs on a CE or IPAQ device to control static surveys.*

ORDERING INFORMATION

For further information please contact your nearest Trimble Authorized Distributor or Trimble Office. You may also visit our website at <http://www.trimble.com>.

Anexo 3.2: Topografía – Localización puntos GPD



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social



Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrio, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PUNTO GPD1 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

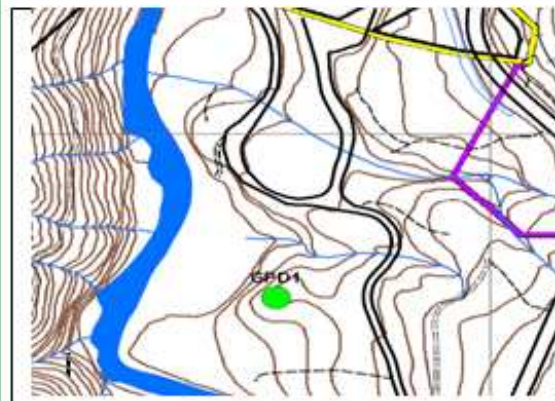
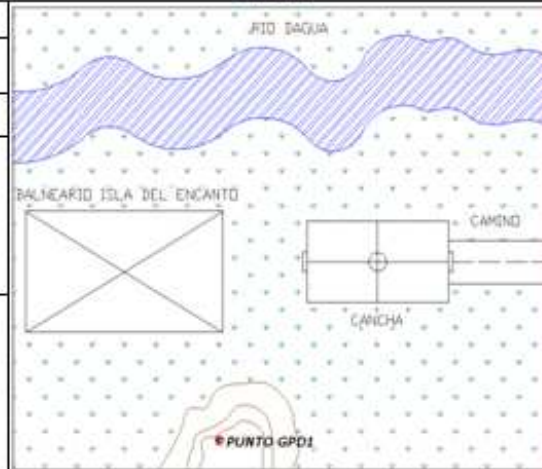
Latitud: 3° 38' 58.76887" N
Longitud: 76° 41' 30.84781" O
Alt. Elipsoidal: 880.1189m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 895726,446
Este: 1043706,030

Cota: 855.718m (Geoco)



LOCALIZACION Y ACCESO:

Por la entrada al Molino Harinera del Valle se llega al balneario Isla del Encanto y a una distancia de 300 metros aproximadamente de este lugar hacia el norte en la parte más alta de una colina adyacente al balneario, se encuentra el punto GPD1 al lado de un arbusto. De 2 metros de altura.



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social

Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PUNTO GPD2 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

Latitud: 3° 39' 08.08046" N
Longitud: 76° 41' 37.90184" O
Alt. Elipsoidal: 933.6079m

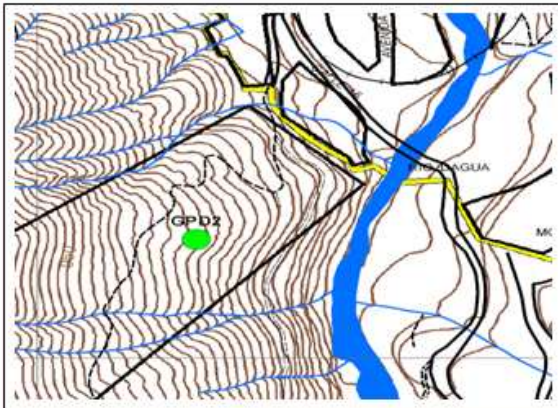
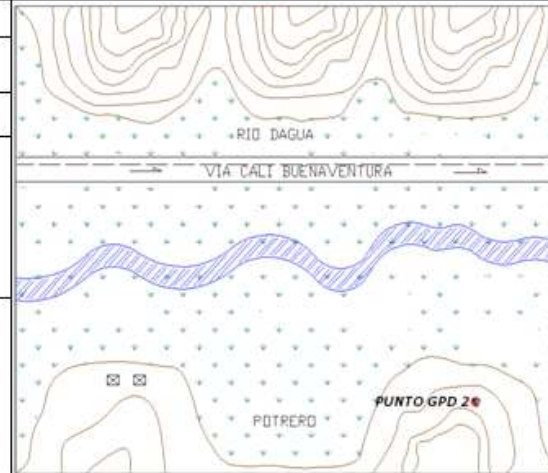
Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 895626,411

Cota: 909.2470 m (Geocol)

Este: 1042621,471



LOCALIZACION Y ACCESO:

Por la entrada al molino de la Harinera del Valle al otro lado del rio Dagua en frente de las montañas en lado occidental donde esta una colina que limita con la ultima casa de la zona y la quebrada el Cogollo, se encuentra posicionado el punto GPD2.



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social

Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PUNTO GPD3 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

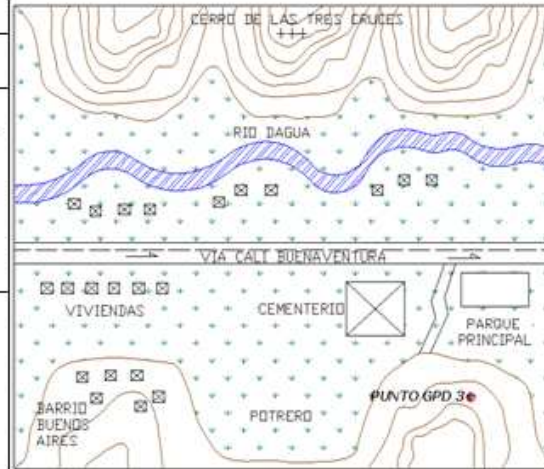
Latitud: 3° 39' 09.89464" N
Longitud: 76° 41' 05.11858" O
Alt. Elipsoidal: 941.3343 m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 895682,574
Este: 1043633,151

Cota: 916.8540 m (Geocol)



LOCALIZACION Y ACCESO:

En el sentido sur-norte en la vía de buenaventura se encuentra el taller rural, desde este se avanza 4 cuadras hasta llegar a un potrero ubicado en el barrio Buenos Aires que limita con el cementerio católico. El punto GPD3 se encuentra en este potrero al lado de una roca visible, en ella se ha marcado con pintura amarilla el nombre de este punto.



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social

Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrio, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PUNTO GPD4 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

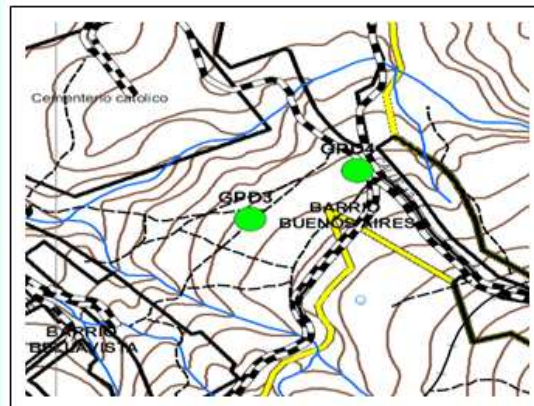
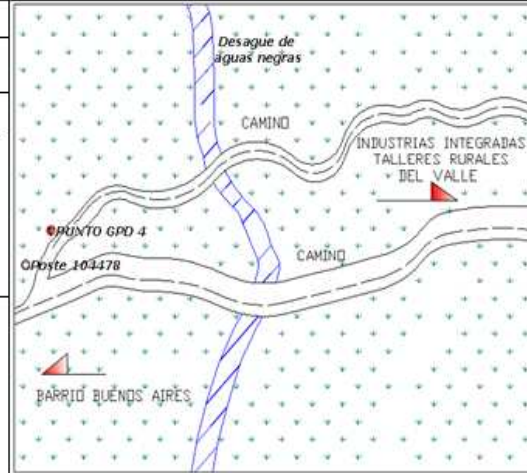
Latitud: 3° 39' 11.32186" N
Longitud: 76° 41' 02.75641" O
Alt. Elipsoidal: 942.6317m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 895726,446
Este: 1043706,030

Cota: 918.1447m (Geoco)



LOCALIZACION Y ACCESO:

Partiendo de Industrias Integradas y Talleres Rurales del Valle en dirección al barrio Buenos Aires en la parte baja al lado del poste de energía 104478, se encuentra ubicado el punto GPD4.

Anexo 3.3: Topografía – Localización placas



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social

Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrio, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PLACA 16 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

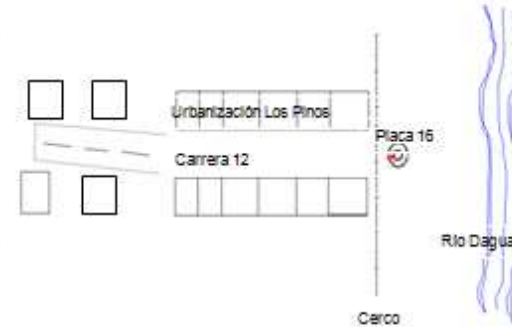
Latitud: 3° 39' 49.30777"N
Longitud: 76° 41' 28.47175" O
Alt. Elipsoidal: 846.9970m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 896891.507
Este: 1042923.529

Cota: 822.6606m (Geocol)



LOCALIZACION Y ACCESO:

Por la quebrada San Rafael hacia la salida que conduce a Buenaventura a 200 metros aproximadamente, girando a la izquierda donde se encuentra ubicado el Barrio los Pinos y pasando el cerco de alambre sobre una alcantarilla, se encuentra incrustada una placa de aluminio con vástago de acero inoxidable marcada como OSSO UNIVALLE - CVC PLACA 16 del año 2009. La placa se encuentra materializada 1.cm por debajo de la superficie del concreto, por lo tanto se recomienda limpiar tierra o arena del estribo, para su fácil identificación.



Nombre del Punto: **PLACA 17** Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

Latitud: 3° 39' 49.53331" N
Longitud: 76° 41' 22.93416" O
Alt. Elipsoidal: 861.9084 m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 896899,918
Este: 1043082,830

Cota: 837.5515m (Geoco)



LOCALIZACION Y ACCESO:

En el municipio de Dagua, en la diagonal 2 con carrera 12, Se identifica el final del pavimento de la carrera 12, en cuya esquina se encuentra incrustada una placa de aluminio con vástago de acero inoxidable marcada como OSSO UNIVALLE - CVC PLACA 17 del año 2009, La placa se encuentra materializada 1...cm por debajo de la superficie del concreto, por lo tanto se recomienda limpiar tierra o arena del estribo, para su fácil identificación.



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente
Hacia una proyección social

Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrio, Dagua, El Cairo y La Unión

Nombre del Punto: PLACA 18 Municipio: Dagua

COORDENADAS

Geográficas

Dátum: WGS84

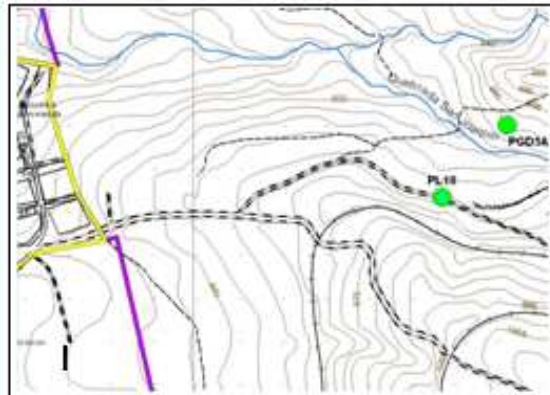
Latitud: 3° 39' 28.43786" N
Longitud: 76° 40' 42.87680" O
Alt. Elipsoidal: 982.1224m

Planas MAGNA

Origen: 3 grados al oeste del Obs. Astronómico de Bogotá.

Norte: 896252,470
Este: 1044319,289

Cota: 957.5868 m (Geoco)



LOCALIZACION Y ACCESO:

Llegando por la vía principal al barrio el Descanso se toma el camino que conduce hacia la vereda San Joaquín. En la entrada a la finca de la familia Ríos que esta en esta vereda, en el muro de cemento del lado derecho se encuentra incrustada una placa de aluminio con vástago de acero inoxidable marcada como OSSO UNIVALLE - CVC PLACA 18 del año 2009. La placa se encuentra materializada 1.cm por debajo de la superficie del concreto, por lo tanto se recomienda limpiar tierra o arena del estribo, para su fácil identificación.

Anexo 4.1: Sistemas de Información Geográfico – Propuesta de estructuración

DATASET: USO DEL SUELO**Feature Class:** uso_urbano**Nombre de la capa:** Usourbano**Geometría:** Polígono

Atributo	Tipo de datos	Longitud del tipo de dato		Nombre del Alias	Nombre del Dominio
		Ent	Dec		
CODIGO_MUNICIPIO	Texto	11		Código DANE del Municipio	Dom_Municipio
USO_SUELO	Texto	30		Uso suelo urbano	Dom_Uso_Urbano
TIPO_USO	Texto	50		Tipo según destinación económica	Dom_Tipo_Uso
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Nombre del dominio: Dom_Municipio

Código	Definición
76001	Cali
76020	Alcala
76036	Andalucia
76041	Ansermanuevo
76054	Argelia
76100	Bolivar
76109	Buenaventura
76111	Guadalajara de Buga
76113	Bugalagrande
76122	Caicedonia
76126	Calima
76130	Candelaria
76147	Cartago
76233	Dagua
76243	El Aguila
76246	El Cairo
76248	El Cerrito
76250	El Dovio
76275	Florida
76306	Ginebra
76318	Guacari
76364	Jamundi
76377	La Cumbre
76400	La Union
76403	La Victoria
76497	Obando
76520	Palmira

76563	Pradera
76606	Restrepo
76616	Riofrio
76622	Roldanillo
76670	San Pedro
76736	Sevilla
76823	Ansermanuevo
76828	Trujillo
76834	Tulua
76845	Ulloa
76863	Versalles
76869	Vijes
76890	Yotoco
76892	Yumbo
76895	Zarzal

Observación: El dominio Municipio propuesto corresponde a la codificación para Departamentos y Municipios del territorio nacional generado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, en su documento “División Político-Administrativa de Colombia”

Nombre del dominio: Dom Uso Urbano

Código	Definición
01	Residencial
02	Comercial
03	Industrial
04	Dotacional
05	Predio no edificado
06	Agrícola
07	Pecuaría
08	Agropecuaria
09	Agroindustrial
10	Forestal
11	Mixto

Nombre del dominio: Dom_Tipo_Uso

Código	Definición
0101	Unifamiliar puntual
0102	Unifamiliar agrupada
0103	Multifamiliar puntual
0104	Multifamiliar agrupado
0201	Local
0202	Zonal
0203	Metropolitana
0301	Transformadora tipo 1
0301	Transformadora tipo 2
0302	Transformadora tipo 3
0401	Asistenciales
0402	Educativos
0403	Culturales
0404	Administrativos y de seguridad
0405	Recreativos y deportivos
0406	De abastecimiento
0407	Servicios urbanos y especiales
0408	De culto o religioso
0501	Urbanizable no urbanizado
0502	No urbanizable
0503	Urbanizado no edificado
0601	Todo tipo
0701	Todo tipo
0801	Todo tipo
0901	Todo tipo
1001	Todo tipo
1101	Vivienda y comercio
1102	Vivienda e institucional
1103	Comercio e institucional

**Anexo 4.2: Sistemas de Información Geográfica - Propuesta de Adiciones
a la Estructuración propuesta por CVC**

Feature Class: Geología estructural**Nombre de la Capa:** Geología Estructural**Geometría:** Línea

Atributo	Tipo de datos	Longitud del tipo de dato		Nombre del Alias	Nombre del Dominio
		Ent	Dec		
CODIGO_CUENCA	Texto	11		Código de Cuenca	Dom_Cuenca
TIPO_ESTRUCTURA	Texto	6		Tipo Estructura Geológica	Dom_Estructura_Geologica
NOMBRE_ESTRUCTURA	Texto	50		Nombre Estructura Geológica	
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Descripción de Dominios:**Nombre del Dominio:** Dom Estructura Geologica

Código	Definición
100000	Falla definida
100100	Falla inferida
100200	Falla incierta
100300	Falla cubierta
180000	Lineamiento fotogeológico
180500	Falla fotogeológica
200000	Contacto definido
200100	Contacto inferido
200200	Contacto incierto
200400	Contacto discordante
400000	Sinclinal definido
400300	Sinclinal cubierto
430000	Sinclinal volcado
430300	Sinclinal cubierto volcado
500000	Anticlinal definido
500300	Anticlinal cubierto
530000	Anticlinal volcado
530300	Anticlinal cubierto volcado

Los códigos asignados al dominio de estructura geológica son correspondientes con los utilizados por el INGEOMINAS; los códigos fueron tomados del documento “Estándares Cartográficos y Manejo de Información Geográfica para mapas Geológicos Departamentales y Planchas 1:100.000” Versión 1.1 - 2001.

Feature Class: Morfodinámica Líneas

Nombre de la Capa: Morfodinámica de líneas

Geometría: Línea

Atributo	Tipo de datos	Longitud del tipo de dato		Nombre del Alias	Nombre del Dominio
		Ent	Dec		
CODIGO_CUENCA	Texto	11		Código de Cuenca	Dom_Cuenca
CODIGO_PROCESO	Integer	4		Código proceso morfodinámico	Dom_Procesos_Linea
TIPO_LEVANTAMIENTO	Texto	2		Tipo de Levantamiento	Dom_Tipo_Levantamiento
TIPO_PROCESO	Texto	2		Tipo de proceso Morfodinámico	Dom_Tipo_Proceso_Morfodinámico
FECHA_EVENTO	Date			Fecha de ocurrencia o reporte del proceso morfodinámico	
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Descripción de Dominios:

Nombre del Dominio: Dom_Tipo_Levantamiento

Código	Definición
01	Campo
02	Fotointerpretación
03	Análisis de Imágenes de Satélite

Nombre del Dominio: Dom_Tipo Proceso Morfodinamico

Código	Definición
01	Remoción
02	Acumulación
03	Remoción y Acumulación

Nombre del Dominio: Dom_Procesos Linea

Código	Definición
3000	Deslizamiento activo de 0 – 3 ha
3001	Deslizamiento – avalancha
5902	Terraza
5917	Vertiente en roca
5920	Borde superior de valle glaciar en U
5921	Garganta sub-glacial
5923	Paleocanal en la llanura aluvial
5925	Cresta monoclinal con talud abrupto
5926	Cresta divisoria
5927	Escarpe erosivo bien preservado
5930	Corredor de debris flow activo
5931	Corredor de debris flow inactivo
5933	Circo glaciar
5934	Cárcava areal activa
5935	Cárcava areal inactiva
5936	Debris flow activo
5937	Debris flow inactivo
5938	Morrena terminal
5943	Deslizamiento mayor de 3 ha
5944	Corona de deslizamiento antiguo
5945	Corredor inactivo de flujo de lodo
5946	Corredor activo de flujo de lodo
5947	Escarpe erosivo con caída activa de bloques
5948	Caída de rocas
5950	Deslizamiento inactivo de 0 - 3 ha
5955	Depósito de vertiente
5956	Relleno aluvial
5957	Desgarre superficial activo
5959	Socavamiento del lecho del río
5960	Soliflucción – Reptación
5962	Cárcava lineal inactiva
5963	Cárcava lineal activa
5964	Zona afectada por carcavamiento activo
5965	Erosión laminar intensa
5966	Vertiente con inestabilidad manifiesta

5967	Vertiente con inestabilidad manifiesta inactiva
5968	Escurrecimiento difuso
5975	Erosión laminar
5980	Escarpe erosivo
5981	Agrietamiento del terreno
5982	Reptación
5983	Hundimiento del terreno

Feature Class: Morfodinámica_Poligonos

Nombre de la Capa: Morfodinámica de polígonos

Geometría: Polígono

Atributo	Tipo de datos	Longitud del tipo de dato		Nombre del Alias	Nombre del Dominio
		Ent	Dec		
CODIGO_CUENCA	Texto	11		Código de Cuenca	Dom_Cuenca
CODIGO_PROCESO	Integer	4		Código proceso morfodinámico	Dom_Procesos_Linea
TIPO_LEVANTAMIENTO	Texto	2		Tipo de Levantamiento	Dom_Tipo_Levantamiento
TIPO_PROCESO	Texto	2		Tipo de proceso Morfodinámico	Dom_Tipo_Proceso_Morfodinámico
FECHA_EVENTO	Date			Fecha de ocurrencia o reporte del proceso morfodinámico	
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Descripción de Dominios:

Nombre del Dominio: Dom_Procesos_Poligono

Código	Definición
5901	Llanura aluvial del río Cauca
5902	Terraza
5903	Llanura aluvial
5904	Cono – abanico antiguo
5905	Abanico aluvial
5906	Abanico intracolinado
5907	Abanico colinado muy antiguo

5908	Deposito de flujo de lodo
5909	Llanura aluvial de piedemonte
5910	Abanico reciente y subreciente
5911	Abanico: cuerpo y pie
5914	Morrena
5917	Vertiente en roca
5918	Circo glaciar
5919	Depresión cerrada por sobre-excavación
5932	Colina aislada circundada por depósitos cuaternarios
5933	Colina sobresaliente en relieve denudativo
5934	Cárcava areal activa
5935	Cárcava areal inactiva
5943	Corona de deslizamiento antiguo inactivo
5954	Zona afectada por desgarres superficiales
5955	Depósito de vertiente
5956	Relleno aluvial
5957	Relleno fluvio-torrencial
5958	Relleno aluvial intracolinado sin diferenciar
5959	Depósito de río
5964	Zona afectada por carcavamiento antiguo
5965	Zona con erosión laminar intensa
5966	Vertiente con inestabilidad manifiesta
5967	Vertiente con inestabilidad manifiesta inactiva
5968	Vertiente con inestabilidad manifiesta activa
5969	Zona de alta concentración de cárcavas lineales y areales inactivas
5970	Erosión antrópica
5971	Depósito coluvial
5972	Depósito coluvio-aluvial
5973	Flujo de escombros
5976	Zona afectada por erosión concentrada
5977	Zona en proceso de reactivación de cárcavas
5978	Tierras malas
5979	Erosión por terracetos
5982	Zona de alta concentración de deslizamientos
5990	Depósito glaciar
5991	Zona de alta concentración de movimientos en masa pequeños
5992	Vertiente en roca con expresión nítida de sus estructuras
5993	Rocas aborregadas
5994	Depresión cerrada por sobre-excavación glaciar
5995	Laguna
5998	Superficie heredada en la cima de bloques montañosos

5999	Colina aislada
6000	Playa – Arenal
6001	Afloramiento de roca
6002	Deslizamiento antiguo
6003	Deslizamiento rotacional reactivado
6004	Erosión controlada
6005	Erosión activa
6006	Rasgos morfológicos de remoción en masa antiguos no clasificados
6007	Zona de erosión potencial

Observación: El dominio Dom_Tipo_Levantamiento y Dom_Tipo_Proceso_morfodinamico es igual que el del feature Morfodinámica_Líneas.

Anexo 7.1: Hidrología – Isoyetas mensuales multianuales

Anexo 9.1: Geotecnia – Registro de exploración del subsuelo (Apiques)

AP1

Coordenadas: N 897046

E 1042862

AP1	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2		
0.4	LIMO ARENO ARCILLOSO DE COLOR AMARILLO CON OXIDACIONES DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
0.6		
0.8		
1.0	LIMO ARENO ARCILLOSO DE COLOR AMARILLO CON OXIDACIONES DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		

AP2

Coordenadas: N 896360

E 1042688

AP2	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO	
0.2		
0.4	ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO CON OXIDACIONES, DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4	ARCILLA COLOR HABANO DE CONSISTENCIA MEDIA	
1.6		
1.8		

AP3

Coordenadas: N 895822

E 1042772

AP3	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2		
0.4	LIMO ARCILLO ARENOSO COLOR HABANO DE CONSISTENCIA MEDIA	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4	LIMO ARENO ARCILLOSO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA MEDIA	
1.6		
1.8		

AP4

Coordenadas: N 895873

E 1042456

AP4	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	LIMO ARENOSO COLOR AMARILLO, PRESENTA GRAVAS ANGULARES DE 2 CM	
0.2		
0.4	LIMO ARCILLO ARENOSO DE COLOR CAFÉ CON TONOS AMARILOS DE CONSISTENCIA FIRME	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6	LIMO ARCILLO ARENOSO DE COLOR AMARILLO DE UNA CONSISTENCIA FIRME	
1.8		
2.0		
2.2		

AP5

Coordenadas: N 897228

E 1043255

AP5	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2	ARENA DE GRANO MEDIO, COLOR AMARILLO	
	LIMO ARCILLO ARENOSO DE COLOR BLANCO CON TONOS ROJOS DE CONSISTENCIA MEDIA	
	LIMO ARCILLOSO DE COLOR ROJO, DE UNA CONSISTENCIA FIRME	

AP6

Coordenadas: N 896658

E 1043184

AP6	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
	LIMO ARENO ARCILLOSO DE COLOR AMARILO DE UNA CONSISTENCIA	
	GRAVAS DE 3-5 CM EN MATRIZ LIMO ARENO ARCILLOSA COLOR GRIS DE HUMEDAD MUY BAJA CONSISTENCIA MEDIA	

AP7

Coordenadas: N 896550


E 1043429

AP7	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	LIMO ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA MEDIA	
0.4	ARENA COLOR AMARILLO DE GRANO MEDIO	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6		

AP8

Coordenadas: N 896456

E 1043551

AP8	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO	
0.2	LIMO ARENOSO COLOR AMARILLO DE GRANO MEDIO	
0.4	LIMO ARCILLO ARENOSO COLOR CAFÉ CON GRAVAS ANGULARES DE ENTRE 2-3 CM DE CONSISTENCIA MEDIA	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		
2.0		

AP9

Coordenadas: N 896122

E 1043714

AP9	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2		
0.4		
0.6		
0.8		
1.0	LIMO ARCILLO ARENOSO COLOR AMARILLO DE CONSISTENCIA MEDIA	
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		

AP10

Coordenadas: N 896850

E 1043460

AP10	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2		
0.4		
0.6	LIMO ARENOSO COLOR AMARILLO , DE GRANO MEDIO	
0.8		
1.0		
1.2		
1.4	LIMO ARENO ARCILLOSO DE COLOR CAFÉ CON OXIDACIONES DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
1.6		
1.8		

AP11

Coordenadas: N 895427

E 1043720

AP11	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON PRESENCIA DE RAICILLAS	
0.2		
0.4	LIMO ARENO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON GRAVAS REDONDEADAS DE 3-4 CM	
0.6		
0.8		
1.0		
1.2	LIMO ARENO ARCILLOSO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA MEDIA	
1.4		
1.6		
1.8		

AP12

Coordenadas: N 895469


E 1043303

AP12	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO CON RAICILLAS	
0.2		
0.4	ARENA COLOR AMARILLO CON TONOS NEGROS DE HUMEDAD BAJA	
0.6		
0.8		
1.0	LIMO ARENO ARCILLOSO COLOR AMARILLO	
1.2		
1.4		
1.6	LIMO ARCILLO ARENOSO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA MEDIA	
1.8		
2.0		

AP13

Coordenadas: N 895228

E 1043847

AP13	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	MATERIAL ORGANICO	
0.2	ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS DE CONSISTENCIA MEDIA Y HUMEDAD BAJA	
1.0	LIMO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON OXIDACIONES DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
0.4		
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		

AP14

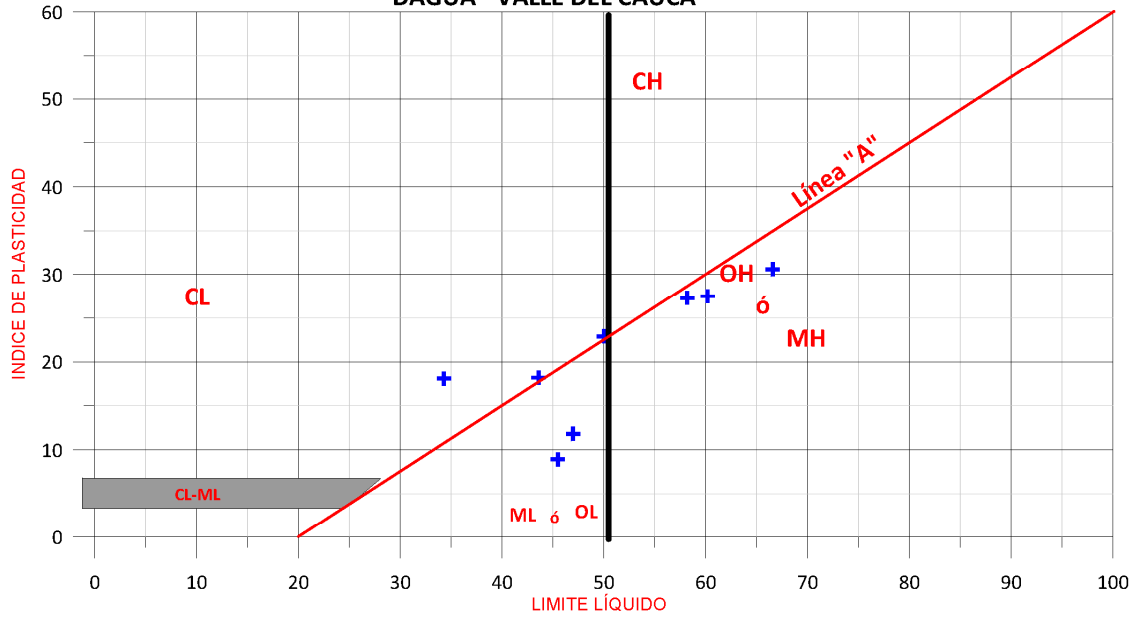
Coordenadas: N 895427

E 1043135

AP14	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
0.0	LIMO ARENOSO COLOR AMARILLO DE UNA HUMEDAD MUY BAJA	
0.2	LIMO ARCILLO ARENOSO DE COLOR BLANCO CON TONOS ROSADOS DE UNA CONSISTENCIA MEDIA	
1.0	LIMO ARCILLOSO DE COLOR DE CONSISTENCIA MEDIA	
0.4		
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		

Anexo 9.2: Geotecnia - Ensayos de laboratorio

**CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACIÓN
EN LABORATORIOS DE SUELOS FINOS
DAGUA - VALLE DEL CAUCA**



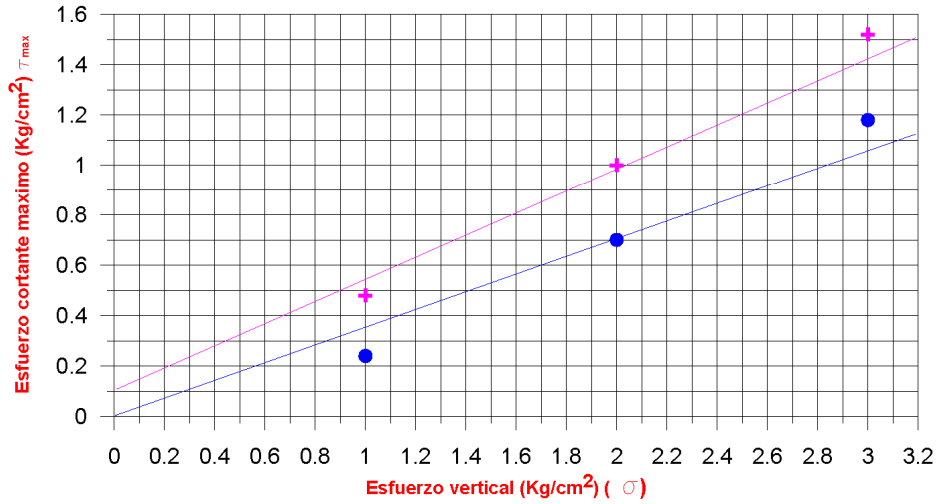
NOMBRES TÍPICOS

ML: Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas con ligera plasticidad.
 CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
 OL: Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
 MH: Limos inorgánicos, suelos limosos a arenosos finos micáceos o con diatomeas, limos elásticos.
 CH: Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas.
 OH: Arcillas orgánicas de plasticidad medi a alta.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 11.00-12.00

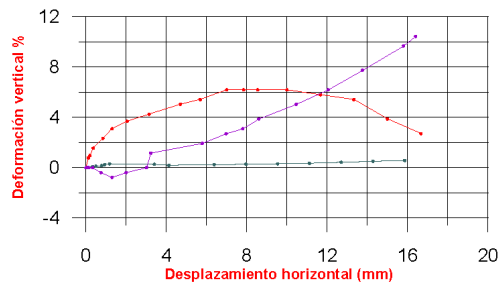
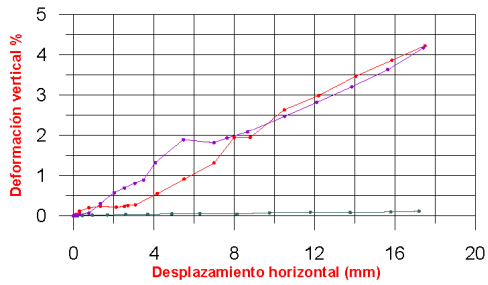
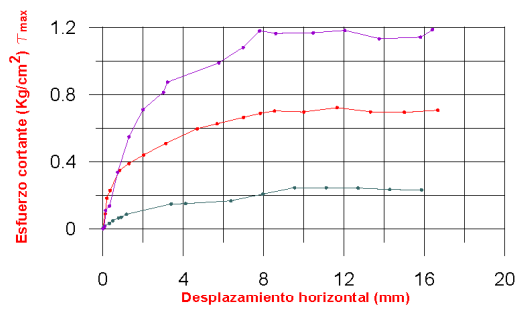
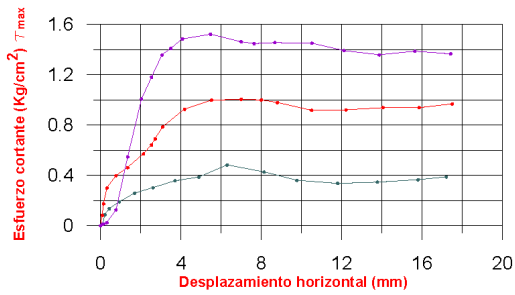
SONDEO: 1
SITIO: DAGUA



punto 1 ———
 punto 2 ———
 punto 3 ———
CONDICIÓN PICO

RESULTADOS
 ϕ pico = 27.40°, c' pico = 0.10 Kg/cm²
 ϕ residual = 22.80°, c' residual = 0.00 Kg/cm²

CONDICIÓN RESIDUAL

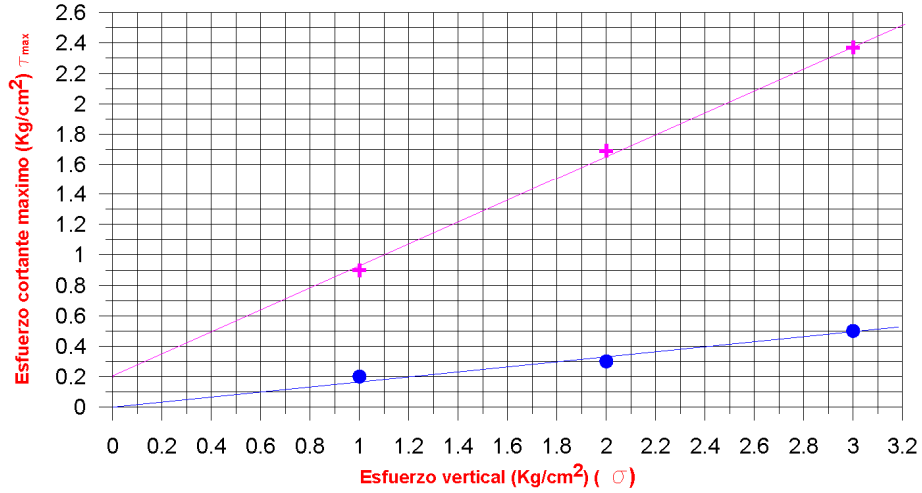


CI AMBIENTAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 10.50-12.00

SONDEO: 2
SITIO: DAGUA

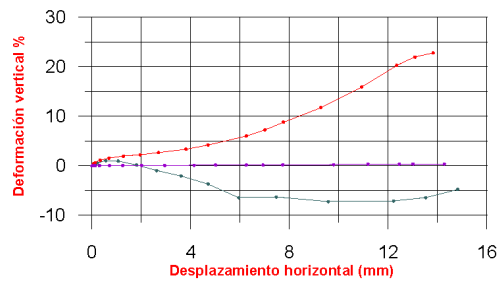
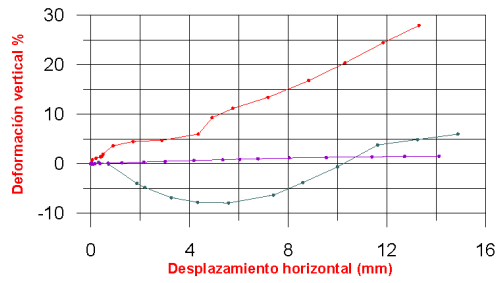
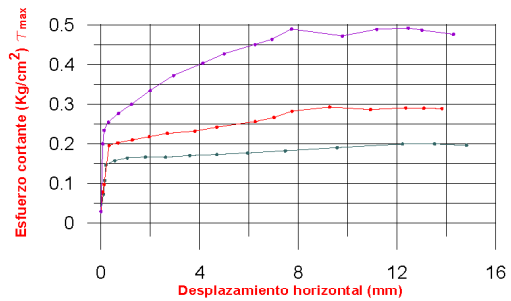
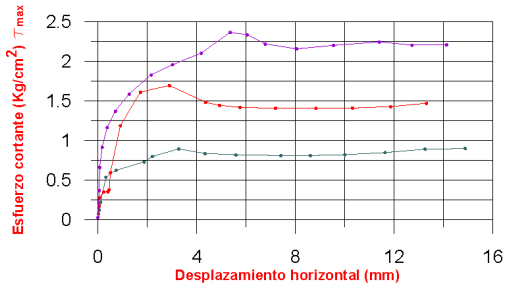


CONDICIÓN PICO

RESULTADOS

ϕ^i pico = 39.8°, c^i pico = 0.20 Kg/cm^2
 ϕ^r residual = 12.56°, c^r residual = 0.00 Kg/cm^2

CONDICIÓN RESIDUAL

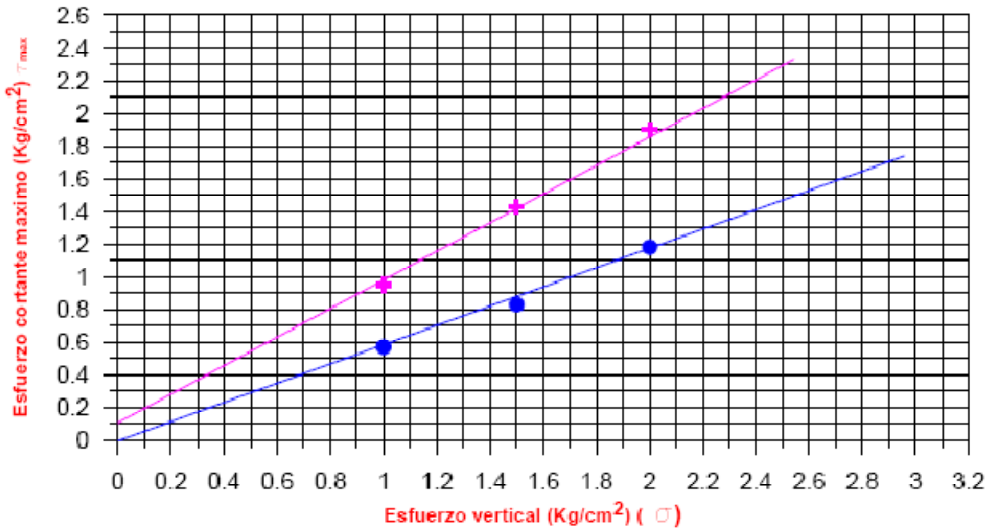


CI AMBIENTAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 3.00-4.50

SONDEO: 2
SITIO: DAGUA

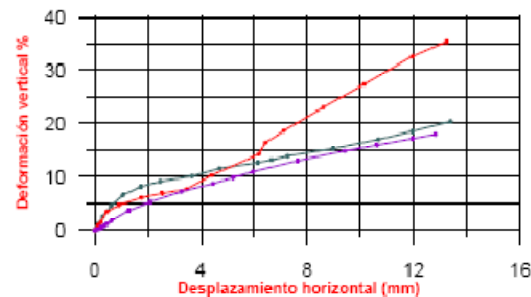
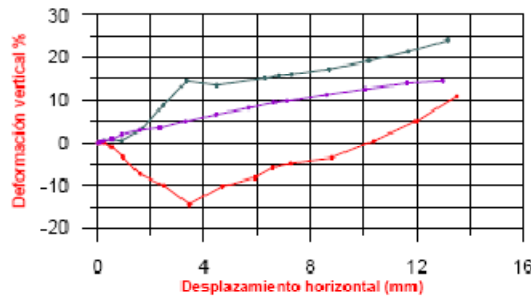
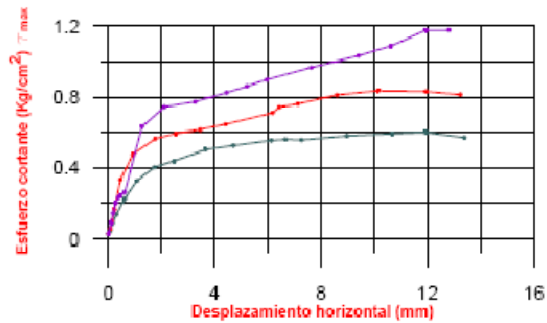
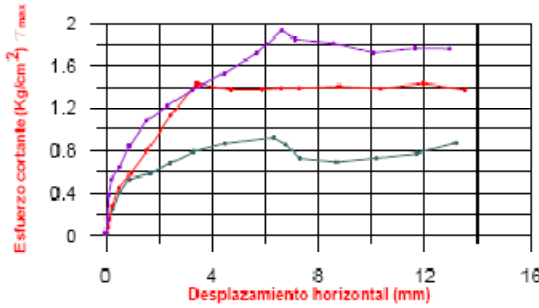


punto 1 ———
punto 2 - - - -
punto 3 - - - -

CONDICIÓN PICO

RESULTADOS
 ϕ pico = 44.5°, c' pico = 0.12 Kg/cm²
 ϕ residual = 32.3°, c' residual = 0.00 Kg/cm²

CONDICIÓN RESIDUAL

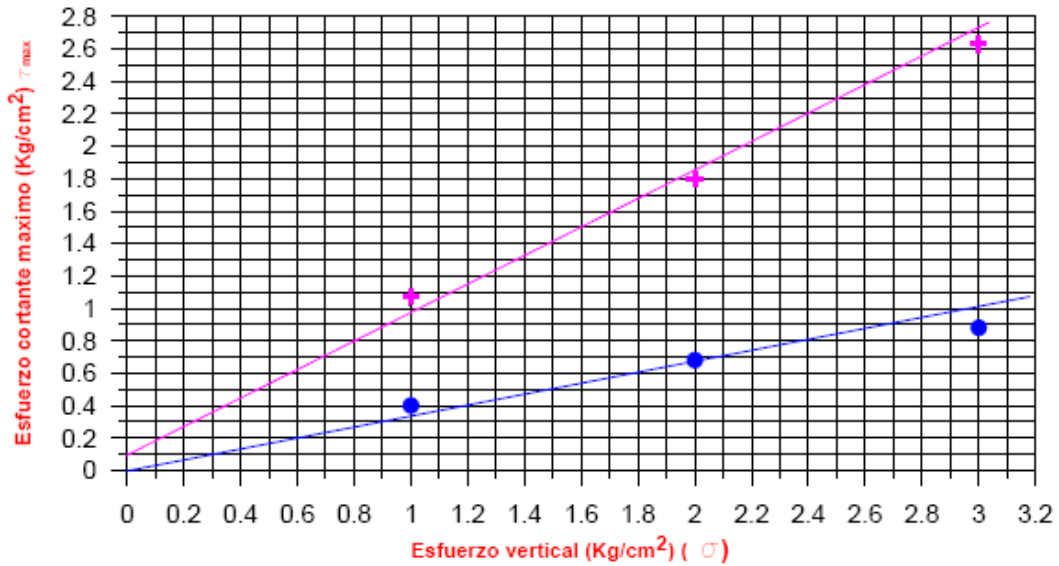


CI AMBIENTAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 9.00-10.50

SONDEO: 2
SITIO: DAGUA



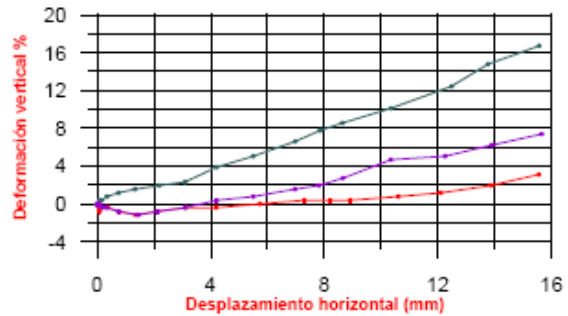
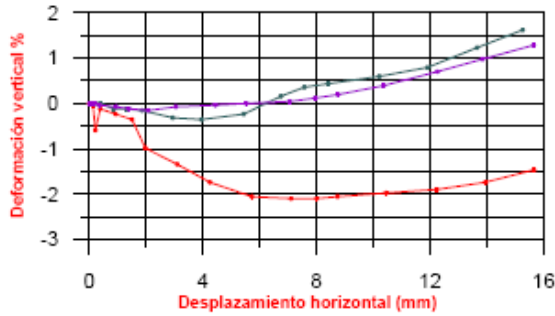
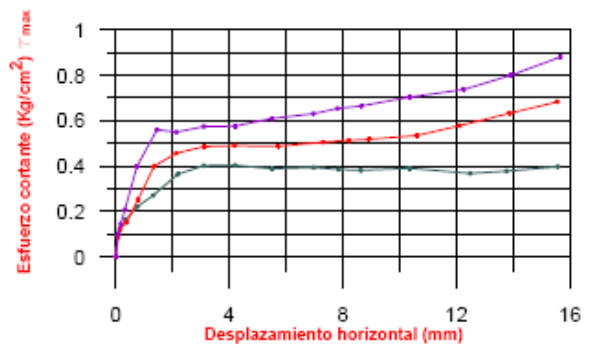
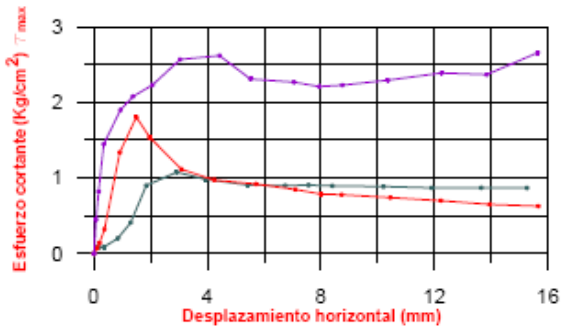
punto 1
punto 2
punto 3

RESULTADOS

$\phi^{\text{pico}} = 44.8^{\circ}$, $c^{\text{pico}} = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$
 $\phi^{\text{residual}} = 20.5^{\circ}$, $c^{\text{residual}} = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$

CONDICIÓN PICO

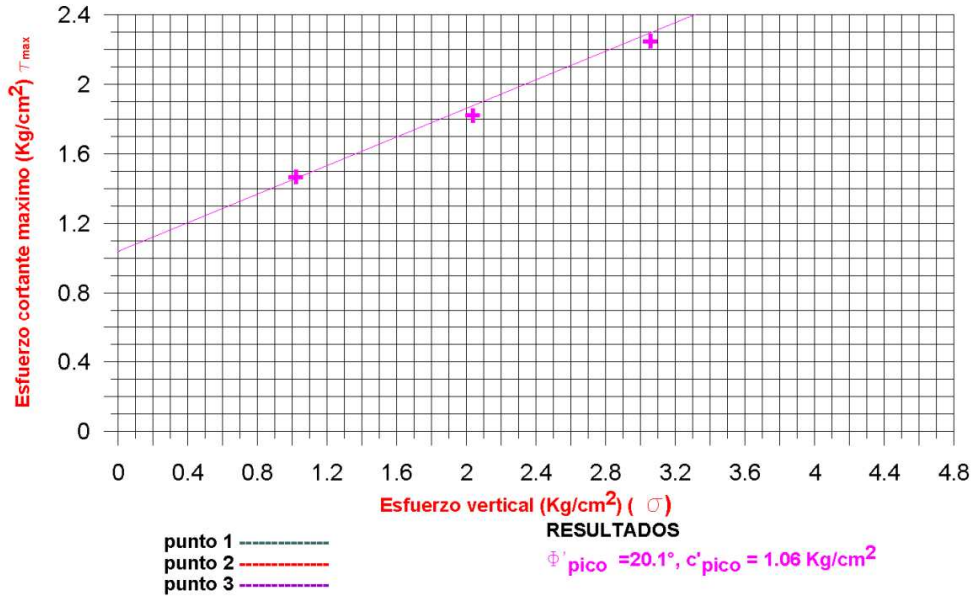
CONDICIÓN RESIDUAL



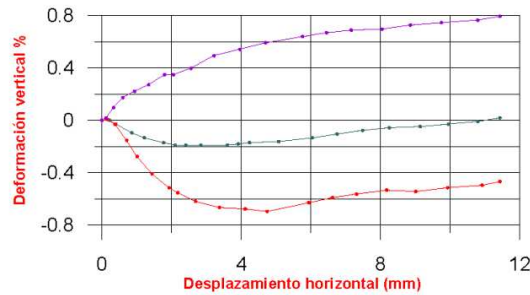
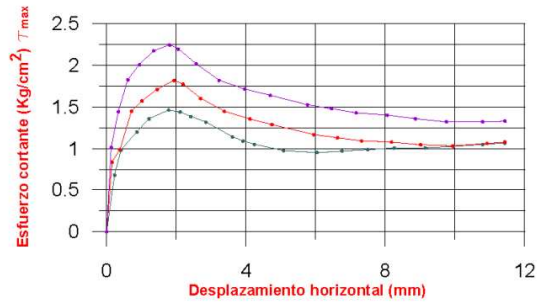
CI AMBIENTAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: DAGUA **SONDEO:** S3 **MUESTRA:** **Prof(m):** 4.50-5.00
SITIO: SECTR ORIENTAL BARRIO RICAURTE **Fecha:** Diciembre de 2009



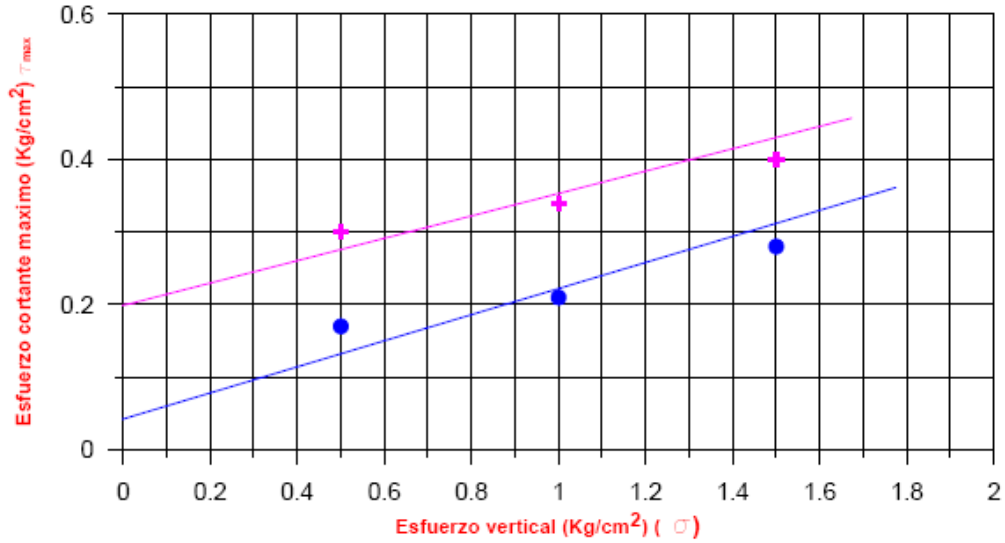
CONDICIÓN PICO



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 0.00-1.80

APIQUE: 5
SITIO: DAGUA



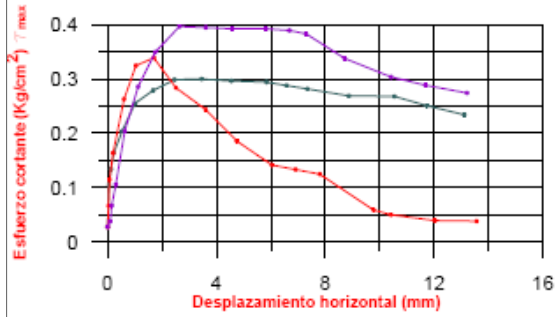
punto 1 ———
punto 2 ———
punto 3 ———

RESULTADOS

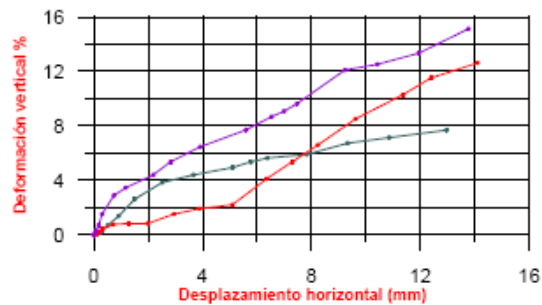
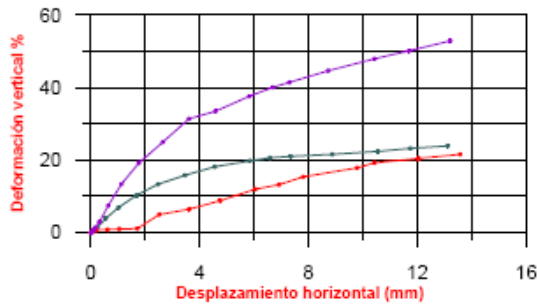
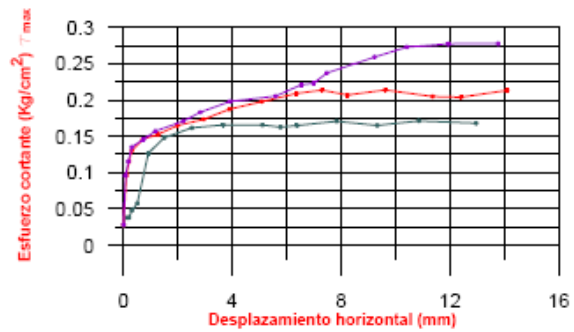
$\phi'_{\text{pico}} = 14.8^\circ$, $c'_{\text{pico}} = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi'_{\text{residual}} = 9.5^\circ$, $c'_{\text{residual}} = 0.06 \text{ Kg/cm}^2$

CONDICIÓN PICO



CONDICIÓN RESIDUAL

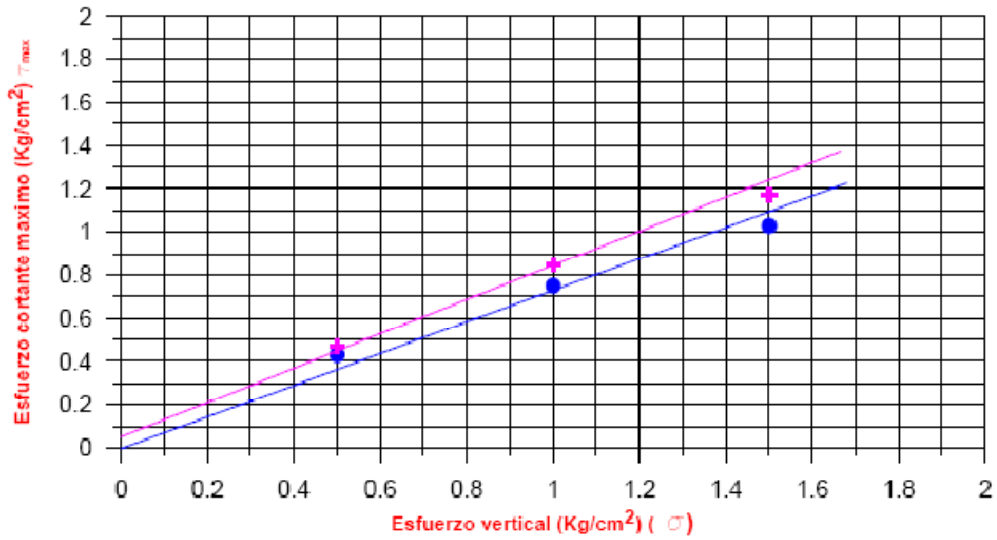


CI AMBIENTAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 0.00-2.90

APIQUE: 9
SITIO: DAGUA



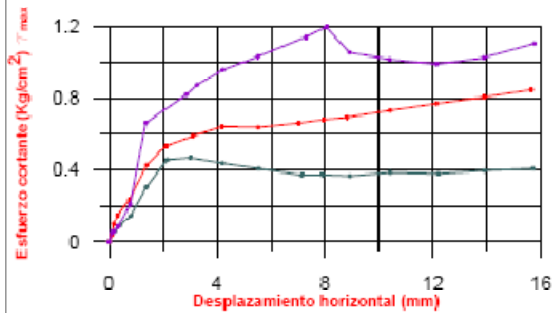
punto 1 ———
punto 2 ———
punto 3 ———

RESULTADOS

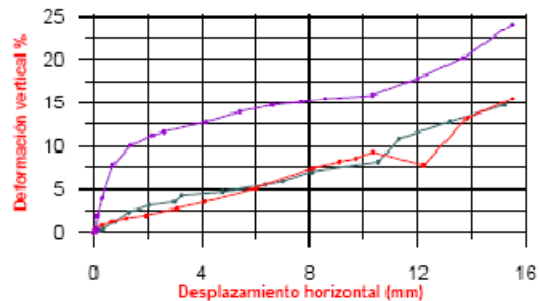
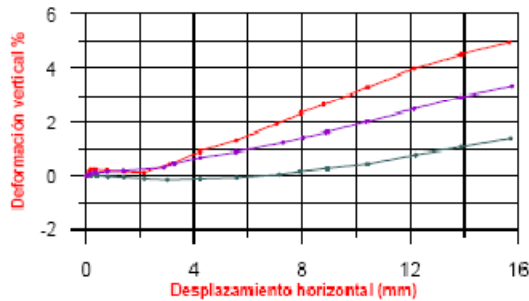
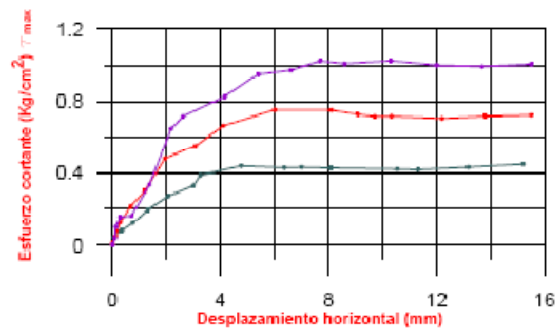
ϕ' pico = 41.6°, c' pico = 0.07 Kg/cm²

ϕ' residual = 39.5°, c' residual = 0.00 Kg/cm²

CONDICIÓN PICO



CONDICIÓN RESIDUAL

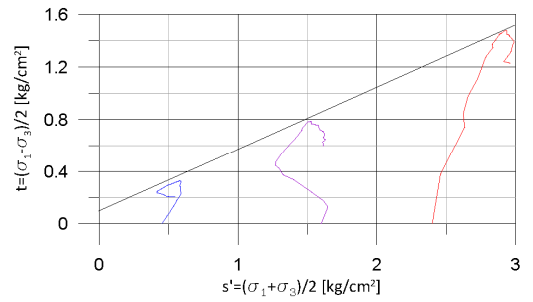
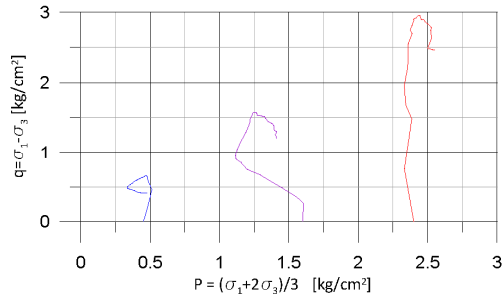
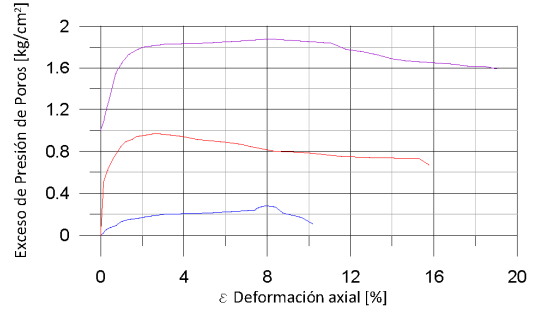
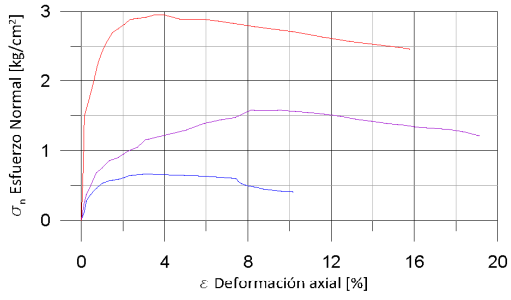


CI AMBIENTAL

ENSAYO TRIAXIAL

PROYECTO: DAGUA SONDEO: S2
SITIO: BARRIO FATIMA - FATIMA II

MUESTRA: 1 Prof(m): 3,00-4,50
Fecha: Diciembre de 2009



$\phi = 26.60^\circ$
 $c' = 0.10 \text{ kg/cm}^2$

ENSAYO TRIAXIAL

PROYECTO: DAGUA **SONDEO:** S2
SITIO: BARRIO FATIMA - FATIMA II

MUESTRA: 1 **Prof(m):** 3,00-4,50
Fecha: Diciembre de 2009

