

**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 LA UNIÓN**

**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

<i>AGRADECIMIENTOS</i>	12
<i>INTRODUCCIÓN</i>	13
1. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO	19
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	19
1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS	22
1.3. AMENAZAS	24
1.4. DEFINICIÓN DE LÍMITES DE ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN	26
2. HISTORICIDAD	29
2.1. BUSQUEDA DOCUMENTAL Y NOTICIAS DE EVENTOS	29
2.1.2. Informes del CLOPAD	29
2.1.3. Informes técnicos	34
3. TOPOGRAFÍA	38
3.1. PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO	38
3.2. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES	40
3.2.1. Toma de datos de Sección	41
3.3. DISEÑO DE RED DE FOTOCONTROL PARA CONTROL FOTOGRAMÉTRICO	42
4. CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	47
4.1 RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	47
4.3. ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA	55
4.3. GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA	55
4.3.1. Mapa básico	57
4.3.2. Mapa Geológico	58
4.3.3. Mapa de Uso de Suelo Urbano y Cobertura de Suelo	59
4.3.4. Mapa de Isoyetas Mensuales Multianuales y Mapa de Precipitaciones Máximas con periodos de 24, 48 y 72 horas	59
4.3.6. Ortofotomapa	60
4.3.7. Modelo de Elevación Digital	60
4.3.8. Localización Secciones Transversales	60
5. GEOLOGÍA	62
5.1. OBJETIVO	62

5.2. ALCANCE	62
5.3. METODOLOGÍA	62
5.3.1. Consulta Preliminar	62
5.3.2. Compilación Temática	62
5.3.3. Fotointerpretación	63
5.3.4. Trabajo Preliminar	63
5.3.5. Trabajo de Campo	63
5.3.5.1. Mapa geológico	63
5.3.5.2. Mapa de unidades superficiales	63
5.3.5.3. Mapas finales	63
5.4. TRABAJOS ANTERIORES	63
5.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL	64
5.5.1. Litología	64
5.5.1.1. Formación Volcánica (Kv)	65
5.5.1.2. Formación Espinal (Ke)	66
5.5.1.3. Depósitos Piroclásticos (Qp)	66
5.5.1.4. Aluviones sin diferenciar (Qd)	66
5.5.2. Tectónica	66
5.6. GEOLOGÍA LOCAL ALREDEDOR DE LA UNIÓN	67
5.6.1. Formación Volcánica (Kv)	67
5.6.1.1. Rocas básicas	67
5.6.2. Complejo estructural Dagua Kd (c)	68
5.6.3. Formación Zarzal (QTz)	69
5.6.4. Conos Aluviales	69
5.6.4.1. Depósito Qal ₁	69
5.6.4.2. Depósitos Qal ₂	69
5.6.4.3. Depósitos Qal ₃	70
5.6.4.4. Depósitos aluviales del río Cauca	75
5.6.4.5. Conos aluviales recientes (Qca)	75
5.6.5. Depósito de terraza antigua Qt ₁	75
5.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	76
5.8. FENÓMENOS DE AMENAZAS GEOLÓGICAS	77
6. GEOFÍSICA	80
6.1. LOCALIZACIÓN	80
6.2. METODOLOGÍA	80
6.3. GEOFÍSICA	81
6.3.1. Equipos	81
6.3.2. Método Exploratorio	83
6.3.3. Interpretación Geofísica	83
6.3.3.1. Línea sísmica L-1	85
6.3.3.2. Línea sísmica L-2	87
6.3.3.3. Línea Sísmica L-3	89
6.3.3.4. Línea Sísmica L-4	91

6.3.3.5. Línea sísmica L-5	93
6.3.3.6. Línea sísmica L-6	95
6.3.3.7. Línea sísmica L-7	97
6.3.3.8. Línea Sísmica L-8	99
6.3.3.9. Línea Sísmica L-9	101
7. HIDROLOGÍA	106
7.2. MEDICIONES Y DETERMINACIONES DE CAMPO	107
7.2.1. Visita 1; Reconocimiento inicial de la zona de estudio	107
7.2.3.1. Levantamiento complementario de cobertura de suelo	114
7.2.4. Uso potencial de suelo	118
7.2.5. Conflicto del uso del suelo	126
7.2.5. Evaluación de la infiltración y perfiles del suelo	130
7.3 CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	135
7.3.1. Conformación de la base de datos hidrometeorológica	135
7.3.1.1. Verificación de la calidad de la información	138
7.3.1.2. Evaluación de Datos Extremos o Posibles Atípicos	138
7.4. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	140
7.4.1. Análisis espacial de la precipitación	140
7.4.2. Análisis temporal de la precipitación	145
7.4.2.1. Régimen de humedad	145
7.4.2.2. Curvas de variación estacional	145
7.4.2.3. Precipitaciones máximas	146
7.4.2.4. Análisis de intensidad-frecuencia-duración (ifd)	150
7.4.2.5. Distribución temporal de las lluvias máximas	151
7.5. ANÁLISIS DE ESCURRIMIENTO	152
7.5.1. Aforos y secciones transversales	153
7.5.2. Caudales Máximos	155
8. HIDRÁULICA	159
8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	160
8.1.1. Información disponible	160
8.1.1.1. Información recopilada acerca de eventos históricos	160
8.1.1.2. Información recopilada sobre la caracterización de los cauces de la zona de estudio del municipio de La Unión	165
8.1.2. Investigación de Campo	165
8.1.2.1. Cauces a modelar y monitorear en el estudio	165
8.1.2.2. Diseño del programa de campo	166
8.1.2.2.1. Delimitación de la zona de estudio	166
8.1.2.2.2. Requerimientos topobatimétricos	167
8.1.2.2.3. Requerimientos hidrológicos	174
8.1.2.2.4. Requerimientos de granulometría del material del lecho	175
8.1.2.3. Muestreo sedimentológico	176
8.2. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA E HIDRÁULICA	177
8.2.1.1. Descripción del método de muestreo	177

8.2.1.2. Métodos de conversión	178
8.2.1.3. Diámetros característicos del material del los cauces del municipio de La Unión.	181
8.2.2. Caracterización hidráulica	185
8.2.2.1. Características generales de la quebrada La Unión	185
8.2.2.2. Secciones transversales	185
8.2.2.3. Rugosidad	186
8.3. DEFINICIONES DE FLUJO, CLASIFICACIÓN Y MECÁNICA DE LODOS	188
8.3.2. Reología y mecánica de lodos	191
8.3.2.1. Características generales de las avenidas torrenciales	191
8.3.2.3. Modelo reológico cuadrático (O'Brien y Julien, 1988)	194
8.3.2.4. Marco teórico del modelo FLO-2D	195
8.4 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y FLUJOS TORRENCIALES	197
8.4.1. Estado del arte	197
8.4.1.2. Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua	199
8.4.1.3. Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial	200
8.4.1.4. Metodología propuesta en el Plan Medioambiental	202
8.4.1.5. Metodología para la generación de mapas de inundación en la llanura aluvial del río Cauca	203
8.4.1.6. Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales	204
8.4.1.7. Metodología empleada en Florida-Valle del Cauca	208
8.4.1.8. Metodología propuesta por R. García ₁ , J.J. Rodríguez ₂ y J.S. O'Brien ₃	209
8.4.1.9. Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek	212
8.4.2. Metodología propuesta	213
8.4.2.1. Metodología para flujos con concentración normal de sedimentos (inundaciones)	214
8.4.2.2. Metodología para flujos torrenciales	217
9. GEOTECNIA	222
9.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	222
9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO	224
9.2.1. Ensayo de clasificación	224
9.2.2.1. Ensayos de corte directo	226
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	229
10.1 CONCLUSIONES	229
11. BIBLIOGRAFÍA	232
12. ANEXOS	234
Anexo 2.1 Lista eventos historicidad	235
Anexo 3.1: Topografía – Equipos	239

Anexo 4.1: Cartografía y Sistemas de Información Geográfica - Propuesta de estructuración	242
Anexo 4.2: Cartografía y Sistemas de Información Geográfica - Propuesta de Adiciones a la Estructuración propuesta por CVC	257
Anexo 7.1: Hidrología – Isoyetas mensuales multianuales	263
Anexo 9.1: Geotecnia – Exploración del subsuelo	277
Anexo 9.2: Geotecnia – Ensayos de laboratorio	279

CONTENIDO DE TABLAS

<i>Tabla 3.1. Coordenadas y Errores asociados a los puntos de amarre de topo-batimetría.</i>	40
<i>Tabla 3.2. Cuerpos de agua con secciones transversales</i>	42
<i>Tabla 3.3. Puntos Ajustados en WGS84 (Coord. Geogr. y Desv. Típica).</i>	44
<i>Tabla 3.4. Precisiones al 95% de confianza.</i>	45
<i>Tabla 4.1 Información cartográfica del PBOT</i>	47
<i>Tabla 4.2. Información cartográfica básica CVC de la Cuenca RUT</i>	52
<i>Tabla 4.3. Información cartográfica temática CVC de la Cuenca RUT</i>	52
<i>Tabla 4.4. Información Cartográfica Básica de Planchas 1:10000.</i>	53
<i>Tabla 4.5. Elementos restituidos</i>	57
<i>Tabla 7.1 Áreas de uso de suelo (zona del proyecto).</i>	114
<i>Tabla 7.2. Categorías de Uso del suelo</i>	115
<i>Tabla 7.3. Clasificación de la velocidad de infiltración</i>	130
<i>Tabla 7.4. Rango y calificación general de la velocidad de infiltración.</i>	130
<i>Tabla 7.5. Perfil del suelo Barrio El Amparo – Municipio de La Unión</i>	134
<i>Tabla 7.6. Resumen pruebas de infiltración realizadas en el municipio de La Unión</i>	134
<i>Tabla 7.7. Calificación del terreno según los datos obtenidos de infiltración</i>	135
<i>Tabla 7.8. Estaciones seleccionadas para el análisis de precipitaciones que cumplieron los criterios definidos de selección.</i>	136
<i>Tabla 7.9. Porcentaje de datos faltantes de las estaciones (Base Diaria)</i>	138
<i>Tabla 7.10. Resultados del análisis de precipitaciones máximas, estación El Porvenir (1982 – 2007)</i>	147
<i>Tabla 7.11 Distribución temporal de las lluvias máximas estación Manuel M. Mallarino Periodo 1986-2006</i>	151
<i>Tabla 7.12. Resultados de los aforos – salida técnica municipio La Unión</i>	154
<i>Tabla 8.1. Zonificación de amenazas naturales por inundaciones</i>	161
<i>Tabla 8.2. Resumen de los cauces, ubicación de las fronteras, longitudes totales y cantidad de secciones transversales y aforos en el municipio de La Unión.</i>	172
<i>Tabla 8.3. Resumen de aforos líquidos a realizar en el municipio de La Unión.</i>	173
<i>Tabla 8.5. Valores de x para la expresión de Kallerhals y Bray para convertir curvas granulométricas obtenidas por diferentes métodos de muestreo.</i>	180
<i>Tabla 8.6. Diámetros característicos del material del lecho la quebrada La Unión.</i>	181
<i>Tabla 8.7. Diámetros característicos del material del lecho la quebrada El Rincón.</i>	183
<i>Tabla 8.8. Diámetros característicos del material del lecho del zanjón Moral.</i>	184
<i>Tabla 8.9. Características geométricas e hidráulicas de las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón, en las fronteras superiores, para el nivel de banca llena.</i>	186
<i>Tabla 8.10. Rugosidad de Manning, coeficiente de Chezy y coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach para las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón, en las fronteras superiores.</i>	188
<i>Tabla 8.11. Valores de los parámetros α_1, β_1, α_2 y β_2.</i>	196
<i>Tabla 8.12. Niveles de Riesgos definidos en la Metodología del PATRICOVA.</i>	201

<i>Tabla 8.13. Nivel del riesgo de acuerdo con el Procedimiento Simplificado del Plan Medioambiental del río Ebro y tramo Bajo del río Cinca.</i>	202
<i>Tabla 8.14. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).</i>	205
<i>Tabla 8.15. Categorización de la inundación según el periodo de retorno (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).</i>	206
<i>Tabla 8.16. Matriz de niveles de amenaza por inundaciones.</i>	207
<i>Tabla 8.17. Nivel discreto de amenaza (PREVENE, 2001).</i>	210
<i>Tabla 8.18. Definición de nivel de amenaza.</i>	211
<i>Tabla 8.19. Intensidad de la inundación.</i>	211
<i>Tabla 8.20. Intensidad de flujo de lodos y detritos.</i>	211
<i>Tabla 8.21. Frecuencia del flujo de detritos y probabilidad significativa.</i>	212
<i>Tabla 8.22. Clasificación de magnitud del evento de acuerdo al volumen de detritos transportado.</i>	213
<i>Tabla 8.23. Nivel de amenaza.</i>	213
<i>Tabla 7.24. Nivel de frecuencia.</i>	214
<i>Tabla 8.25. Nivel de intensidad o magnitud.</i>	215
<i>Tabla 8.26. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud.</i>	216
<i>Tabla 8.27. Niveles de amenaza.</i>	217
<i>Tabla 7.28. Nivel intensidad o magnitud.</i>	218
<i>Tabla 8.29. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud para flujos torrenciales.</i>	219
<i>Tabla 8.30. Niveles de amenaza.</i>	220
<i>Tabla 9.2. Relaciones granulométricas.</i>	224
<i>Tabla 9.3. Resultado de ensayo de corte directo</i>	227

CONTENIDO DE FIGURAS

<i>Figura 1.2 Ubicaciones de la zona de estudio y delimitación del área urbana y de expansión.</i>	20
<i>Figura 1.3 Perímetros de la zona urbana y de expansión del municipio de Dagua, definidos en conjunto con la Oficina de Planeación Municipal.</i>	27
<i>Figura 2.1 Eventos históricos.</i>	36
<i>Figura 3.1 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de la red de control.</i>	38
<i>Figura 3.2 Materialización de puntos con placa en concreto.</i>	39
<i>Figura 3.3 Construcción de secciones batimétricas.</i>	40
<i>Figura 3.5. Ejemplo de poligonal geoméricamente cerrada en proyectos lineales.</i>	41
<i>Figura 3.5. Foto mosaico con todos los puntos de fotocontrol para el municipio de La Unión.</i>	43
<i>Figura 3.6 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de los puntos de fotocontrol.</i>	44
<i>Figura 4.1 Flujo de procesos y productos cartográficos del proyecto.</i>	56
<i>Figura 4.2. Cubrimiento de fotografías aéreas.</i>	57
<i>Figura 5.1 Entorno geológico del municipio de La Unión.</i>	65
<i>Figura 5.2 Mapa geológico.</i>	72
<i>Figura 5.3.a. Secuencias estratigráficas de los depósitos aluviales y cenizas a lo largo de la quebrada La Unión.</i>	73
<i>Figura 5.3.b. Secuencias estratigráficas de los depósitos aluviales y cenizas a lo largo de la quebrada La Unión.</i>	74
<i>Figura 6.1 Dispositivo de prospección sísmica y disposición de los geófonos sobre el terreno.</i>	83
<i>Figura 6.2 Localización de líneas de refracción sísmica.</i>	84
<i>Figura 6.3 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-1.</i>	86
<i>Figura 6.3 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-2.</i>	88
<i>Figura 6.5 Dromocrónica Línea de Refracción sísmica L-3.</i>	90
<i>Figura 6.6 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-4.</i>	92
<i>Figura 6.7 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-5.</i>	94
<i>Figura 6.8 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-6.</i>	96

Figura 6.9 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-7.	98
Figura 6.10 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-8.	100
Figura 6.11 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-9.	102
Figura 6.12 Interpretación Dromocrónica L-10.	104
Figura 7.1 Mapa de Uso actual y cobertura del suelo.	113
Figura 7.2 Mapa de uso potencial de suelo. Municipio de La Unión.	125
Figura 7.3 Mapa de conflictos de uso de suelo. Municipio de La Unión.	129
Figura 7.4 Ubicación puntos para pruebas de infiltración.	131
Figura 7.5 Infiltración acumulada Barrio El Amparo.	133
Figura 7.6 Curva de velocidad de infiltración Barrio El Amparo.	133
Figura 7.7 Estaciones meteorológicas utilizadas en el municipio de La Unión.	137
Figura 7.8 Serie temporal de la estación La Despensa, para identificar los datos extremos.	139
Figura 7.9 Distribución anual multianual de la precipitación – Municipio de La Unión (1982 – 2007).	141
Figura 7.10 Distribución mensual multianual de la precipitación - Municipio de La Unión (1982 – 2007).	142
Figura 7.11 Isoyetas anuales multianuales - Municipio de La Unión (1982 – 2007).	143
Figura 7.12 Distribución mensual multianual de la precipitación en la zona urbana y de expansión municipio de La Unión (1982 – 2007).	144
Figura 7.13 Distribución mensual multianual de la precipitación en la estación El Porvenir (1982 – 2007).	145
Figura 7.14 Curvas de variación estacional estación El Porvenir (1982 – 2007).	146
Figura 7.15 Isoyetas de precipitación máxima – P 24 (1982 – 2007).	148
Figura 7.16 Isoyetas de precipitaciones máximas – P48 (1982 – 2007).	148
Figura 7.17 Isoyetas de precipitaciones máximas – P72 (1982 – 2007).	149
Figura 7.18 Curva de precipitación y frecuencia con tiempo retorno de 10, 30 y 100 años; Estación El Porvenir (1982 – 2007).	150
Figura 7.19 Curva IFD con tiempo retorno de 10, 30 y 100 años; Estación Centro Administrativo la Unión.	150
Figura 7.20 Distribución temporal de las lluvias máximas estación Manuel María Mallarino Periodo 1986 – 2006.	151
Figura 7.21 Red de drenaje, unidades de análisis, puntos de entrega de los caudales máximos y aforos municipio de La Unión.	152
Figura 7.22 Sección transversal quebrada La Unión.	154
Figura 7.23 Sección transversal quebrada El Rincón.	155
Figura 7.24 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto de La Quebrada La Unión.	155
Figura 7.25 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto de la Quebrada El Rincón.	156
Figura 7.26 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto del Zanjón El Moral.	156
Figura 7.27 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto del Zanjón Las Palmas.	157
Figura 8.1 Plano de localización de la quebrada La Unión en la zona urbana.	163
Figura 8.2 Perímetro de la zona de estudio del municipio de La Unión.	166
Figura 8.3 Localización de las secciones transversales a levantar en la zona de estudio del municipio de La Unión.	174
Figura 8.4 Identificación de partículas para análisis granulométricos de malla-número (a) Muestra fotográfica; (b) Partículas delimitadas en las intersecciones de la malla.	178
Figura 8.5 Curvas granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada La Unión, en diferentes sectores.	182
Figura 8.6 Curvas granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada El Rincón, en diferentes sectores.	184
Figura 8.7 Curva granulométrica del material superficial del zanjón Moral.	185
Figura 8.8 Sección transversal de la quebrada La Unión (frontera superior).	186
Figura 8.9 Clases de flujo.	190
Figura 8.10 Clasificación de flujos según Meunier (1991).	190

<i>Figura 8.11 Perfil de un frente de detritos (extraído de Schatzman, 2005).</i>	192
<i>Figura 8.12 Morfología de la huella de los flujos detríticos (extraído de Věosla, 2005).</i>	192
<i>Figura 8.13 Perfil de un frente de detritos (Silva (1998)).</i>	192
<i>Figura 8.14 Relación esfuerzo – deformación para distintas clases de fluidos.</i>	193
<i>Figura 8.15 Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua.</i>	200
<i>Figura 8.16 Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua.</i>	200
<i>Figura 8.17 Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).</i>	205
<i>Figura 8.19 Nivel de intensidad o magnitud.</i>	215
<i>Figura 8.20 Nivel de intensidad de las inundaciones por flujos torrenciales según grupo Hidromar-Univalle.</i>	218
<i>Figura 9.1 Ubicación de apiques, sondeos mecánicos y muestreos sobre el lecho de los principales cauces.</i>	223
<i>Figura 9.2 Curvas granulométricas y características de muestreo No 3 Quebrada el Rincón.</i>	225
<i>Figura 9.3 Envolvente de falla Mohr-Coulomb API.</i>	226
<i>Figura 9.3 Curva esfuerzo deformación en condición pico API.</i>	227

CONTENIDO DE FOTOS

<i>Foto 1.1 Panorámica municipio de La Unión.</i>	20
<i>Foto 1.2 Cultivo de Uva en la zona urbana (La Unión).</i>	23
<i>Foto 1.3 Quebrada La Unión a su entrada en el Municipio La Unión.</i>	26
<i>Foto 2.1 Villa Esterilla, agosto 5 de 2009.</i>	30
<i>Foto 2.2 Alcantarillado, dentro del cauce de la quebrada La Unión, agosto 5 de 2009.</i>	31
<i>Foto 2.3 Via que va al sector del Prado, y por la cual pasa el cauce de la quebrada La Unión. Agosto 5 de 2.009.</i>	32
<i>Foto 2.4 Puente Diana Alonso, imagen de las casas que se inundan por el desbordamiento de la quebrada La Unión.</i>	34
<i>Foto 5.1 Afloramiento de diabasa meteorizada y fracturada.</i>	67
<i>Foto 5.2 Afloramiento de diabasa y manto de ceniza retransportada.</i>	68
<i>Foto 5.3 Afloramiento de chert en el cerro de la Cruz. Nótese la deformación y el fracturamiento frágil. Vista al NE.</i>	69
<i>Foto 5.4 Capas de gravas.</i>	70
<i>Foto 5.5 Capas de grava principalmente de composición basáltica en la quebrada El Rincón. Zona del zanjón Verengenal. Vista al norte.</i>	71
<i>Foto 5.6 Capa de ceniza alterada a lo largo de la quebrada el Rincón.</i>	71
<i>Foto 5.7 Depósito aluvial de terraza parcialmente cubierto por ceniza.</i>	75
<i>Foto 5.8 Morfología de las capas de chert en la ladera media. Al fondo. Vista al Sur desde la carretera que conduce a la población del Dovio.</i>	76
<i>Foto 5.9 Lecho de la quebrada La Unión. Vista al Sur. La cual en algunos picos invernales ha llegado a inundar parte de los barrios situados en sus márgenes.</i>	77
<i>Foto 6.1 Sismografo modelo Ras-24, para refracción sísmica.</i>	81
<i>Foto 6.2 Geofonos para recepción de ondas.</i>	82
<i>Foto 6.3 Cable de emisión</i>	82
<i>Foto 6.4 Platina y Mazo utilizado como fuente de energía.</i>	82
<i>Foto 6.6 Localización Línea de Refracción Sísmica L-2, al sur del área de expansión norte de la cabecera municipal.</i>	87
<i>Foto 6.7 Localización Línea de Refracción Sísmica L-3, al oriente de la Iglesia San Pedro Apóstol.</i>	89
<i>Foto 6.8 Localización Línea de Refracción Sísmica L-4, al noreste de la cabecera municipal.</i>	91
<i>Foto 6.9 Localización línea de Refracción Sísmica L-5, cerca de la Guardería El Jardín.</i>	93
<i>Foto 6.10 Localización Línea Sísmica L-6, cerca a la Iglesia Evangélica Pentecostal.</i>	95
<i>Foto 8.11 Localización Línea de Refracción Sísmica L-7, al occidente de la cabecera municipal.</i>	97

<i>Foto 6.12 Localización Línea de Refracción Sísmica L-8, al suroccidente de la cabecera municipal.</i>	99
<i>Foto 6.13 Localización Línea de Refracción Sísmica L-9, al oriente de la cabecera municipal de La Unión.</i>	101
<i>Foto 6.14 Localización Línea de Refracción Sísmica L-10</i>	103
<i>Foto 7.1 Zona alta quebrada La Unión.</i>	107
<i>Foto 7.2 Erosión debido a la actividad ganadera, sector La Despensa.</i>	108
<i>Foto 7.3 Quebrada de Paramillo afluente de la quebrada La Unión, Sector el Recuerdo.</i>	108
<i>Foto 7.4 Incendios – vía entre el municipio de La Unión y el municipio de Versalles.</i>	109
<i>Foto 7.5a-b Uso de suelo en el municipio de La Unión (Barrio El Carmen).</i>	111
<i>Foto 7.6a-b Cultivos en pequeñas áreas de viviendas.</i>	111
<i>Foto 7.7 Sector Pasoancho, cerca del ancianato.</i>	112
<i>Foto 7.8 Vía a San Luís, zona urbanizable.</i>	112
<i>Foto 7.9 Vista al sur.</i>	115
<i>Foto 7.10 Ladera oriental Cordillera Occidental.</i>	116
<i>Foto 7.11 Vista al nor-occidente.</i>	116
<i>Foto 7.12 Vista al sur-occidente.</i>	117
<i>Foto 7.13 Ladera oriental de la Cordillera Occidental.</i>	117
<i>Foto 7.14 Prueba de infiltración; barrio El Amparo.</i>	132
<i>Foto 7.15 Estación La Despensa; municipio de La Unión.</i>	138
<i>Foto 7.15 y Foto 7.16 Aforo Quebrada La Unión.</i>	153
<i>Foto 7.17 Aforo Quebrada El Rincón.</i>	154
<i>Foto 8.1 Desbordamiento de la quebrada La Unión en la zona urbana.</i>	164
<i>Foto 8.2 Desbordamiento de la quebrada La Unión en la zona urbana.</i>	164
<i>Foto 8.3 Quebrada La Unión en el casco urbano.</i>	168
<i>Foto 8.4 Estructura de desviación del cauce de la quebrada La Unión.</i>	168
<i>Foto 8.5 Quebrada El Rincón en el barrio San Luis, al norte del municipio.</i>	169
<i>Foto 8.6 Quebrada El Rincón en uno de los barrios marginales en el municipio de La Unión.</i>	169
<i>Foto 8.7 Zanjón Los Muertos.</i>	170
<i>Foto 8.8 Zanjón Los Muertos.</i>	170
<i>Foto 8.9 Zanjón Negro o Moral contiguo a la vía.</i>	170
<i>Foto 8.10 Cañada El Lucero en la confluencia con el zanjón Las Palmas.</i>	171
<i>Foto 8.11 Cañada El Lucero aguas arriba de su desembocadura en el zanjón Las Palmas.</i>	171

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, SIC, historicidad, geología, sismología, hidrología e hidráulica, en el Municipio de La Unión 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, que es una unidad académica de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, de la FACULTAD DE INGENIERIAS y quién conformó, integro 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 topografía y cartografía, se adelantaron todos los trabajos para generar la restitución fotogramétrica, fotocontroles, aerotriangulación, ortorectificación, etc. Se han entregado los productos ortofotomosaico, modelo digital de elevación, restitución Dxf sin toponimias, todos estos productos están en un 100%; en lo concerniente a batimetría, se han materializado y posicionado los puntos de control topográfico, ya se han procesado y se están iniciando los trabajos de topo-batimetría (10%).

La Unión dentro del casco urbano y zona de expansión esta constituida en un 99% por conos aluviales y aluvión del Río Cauca, pero la zona en su totalidad está cubierta por depósitos transportados de ceniza volcánica que cayó sobre la cordillera occidental. No hay fenómenos de remoción en masas y solo hay datos bibliográficos de inundaciones de la quebrada La unión desde la carrera 11 hasta la 20 y parte de los barrios El Amparo y Hacienda Grajales.

El grupo de Hidrología, adelantó un recorrido de un día de duración para visitar las subcuencas y microcuencas de la zona de influencia en el Municipio de La Unión; durante el recorrido a pesar de la temporada seca que se presentaba, se practicaron aforos en las Quebradas La Unión y Rincón; así como se hizo un reconocimiento del Uso actual del suelo de la zona en estudio. Se adelantaron pruebas de infiltración con doble replicación, en diferentes puntos de la zona estudiada. Con la información suministrada por la CVC, IDEAM y Cenicafé, se adelantó el análisis espacial de las lluvias, tanto con base mensual multianual (isoyetas), así como análisis de las precipitaciones máximas diarias para 24, 48 y 72 horas.

El presente documento también contiene los estudios de caracterización hidráulica y sedimentológica realizados 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 de los diferentes cuerpos de agua que tienen incidencia en los fenómenos de inundaciones en la zonas urbanas y de expansión urbana del municipio de La Unión. Se

incluye una descripción del programa de mediciones de campo ejecutado en cuanto a los requerimientos hidrológicos, topobatimétricos, sedimentológicos y geotécnicos para fines de la caracterización y posterior modelación matemática del fenómeno de inundaciones.

En los capítulos siguientes se describen en detalle, tanto el trabajo de campo como de oficina realizado por cada uno de los grupos de trabajo con relación al municipio de La Unión.

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:

No	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 Geografía	Monitora
GRUPO DE SIG			
19	EDDA CIFUENTES	Ing. Topográfica	Coordinadora
20	JIBER QUINTERO SALAZAR	Ing. Topográfico	Auxiliar en SIG y Topografía
21	VIVIANA BARRERO VARELA	Ing. Topográfica	Auxiliar en SIG y Topografía
GRUPO TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA			
22	JHON JAIRO BARONA	Ing. Topográfico	Coordinador
23	HECTOR FABIO HERNANDEZ	Tec. Topográfico	Operador de Topografía 1
24	JOSE RICARDO FRANCO BORJA	Aux. en Topografía	Auxiliar en Topografía 1
25	JULIAN ANDRES ESCOBAR	Ing. Topográfico	Operador de Topografía 2
26	JOSE JULIAN CASTRILLON	Aux. en Topografía	Auxiliar en Topografía 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 Geografía	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



Foto 1.1 Panorámica municipio de La Unión.

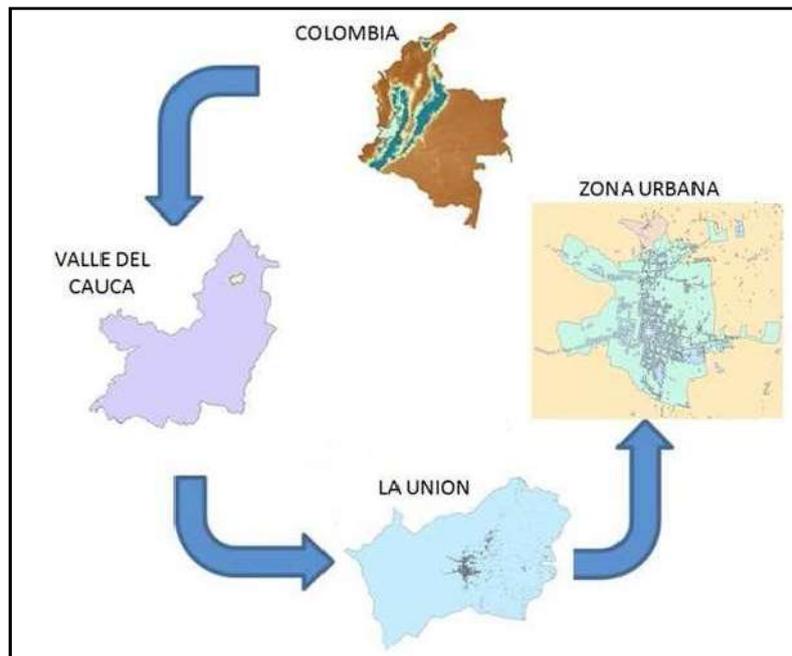


Figura 1.2 Ubicaciones de la zona de estudio y delimitación del área urbana y de expansión.

Su principal actividad económica, está constituida por la agroindustria, destacándose la viticultura y la vinicultura, por lo que es reconocido internacionalmente. Es así, como hoy se ha constituido La Unión Valle, en “La Despensa Horti-frutícola de Colombia”, por la variedad de cultivos de frutas y hortalizas de cuya producción, se distribuye al resto del país, siendo estos melón, papaya, mango, guayaba, maracuyá, granadilla, lulo, entre otros. Se destacan también los cultivos de cereales y granos, como soya, sorgo, maíz, a los que se

suman otros cultivos como el algodón y la caña, además, ganadería, artesanías, minería, comercio e industria avícola en la Foto 1.2 se muestra el cultivo típico de La Unión.

En la actualidad el municipio cuenta con todas las grandes ventajas que ofrece el desarrollo moderno, como son adecuados servicios públicos domiciliarios; hospital, círculo notarial, juzgados, las parroquias San Pedro Apóstol y San José; la capilla de la Ermita, 28 escuelas, cinco instituciones educativas, cine, sala de bolos, fincas de recreo y los más espectaculares paisajes del Norte del Valle, que ofrecen a propios y visitantes la oportunidad de una grata estadía en la que podrán disfrutar además de la gran variedad de climas y pisos térmicos, cálido, templado y frío, su promedio de precipitaciones asciende a 1.117 m.m. La Unión dispone de una infraestructura básica; todos los servicios públicos, 5 colegios, , bancos, hospital, seguro social, estadio y balnearios. Su actividad económica es la Agricultura,

La Unión está compuesta por los siguientes barrios:

La Cruz	Fátima	Las Brisas	Urb. Ciudadela Grajales
Belén	El Carmen	Popular	San Pedro
El Jardín	Las Lajas	Urb. El Prado	Bellavista

Según el POT, en su periodo de vigencia (2000-2009) se proyecta que la población pasara de 30.162 a 33.197 Habitantes para un incremento cercano a los 3.000. Desde el año 93 la tasa de crecimiento poblacional se ha reducido considerablemente respecto a aquellas del periodo 85-93 (3.15% anual) y hasta el año 2009 se prevé que continúe decreciendo de manera sostenida en cifra cercana al 1%.

Las principales actividades de sustento de los habitantes de La Unión giran en torno a los productos agrícolas de las frutas y hortalizas, ya sea en términos de su producción, comercialización, procesamiento industrial, como también una naciente actividad agroturística.

Entre los corregimientos y veredas se encuentran:

Córcega	La Aguada	Martindoza	La Campesina
El Banco	Vallecitos	Las Palmas	El Ajizal
Tejeda	Paramillo	San Luis	Pájaro de Oro
Despensa	Quebrada Grande	Sabanazo	La Isla
El Lucero	San Miguel	El Lindero	El Rincón

Las actividades de residencia en suelo rural se mantienen y consolidan en los centros poblados veredales existentes y los equipamientos rurales se integran en 10 Centros Integrales de Equipamientos, que resultan estratégicos por su localización dentro de cada corregimiento. (El Lindero, Córcega, San Luis, El Lucero, El Rincón, Aguadas, Despensa, Sabanazo, Paramillo y Quebradagrande).

1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

La fundación del Municipio de La Unión, Valle del Cauca, antes “Hato de Lemos”, surgió en las haciendas de Pedro y Fernando de Lemos, hijos de don Pedro, rico latifundista que compró estas tierras para sus dehesas. Los agregados (trabajadores) de la familia Lemos fueron agregándose sobre una bella planicie e iniciaron la construcción de sus casas, hasta que en el año de 1.729 a 1.731 se hizo el trazado del caserío. Así mismo, el 20 de Abril de 1.796 se realiza la demarcación de la plaza principal, bajo la dirección del ciudadano Facundo Gordillo, designado por el Alcalde mayor de Cartago, Don Miguel Sanz, a quien el Virrey Don Josef de Espeleta, había comisionado para la práctica de una actuación sobre terrenos basados en los asentamientos urbanos de fundación española.

Antes de 1771 existía, en los terrenos que hoy ocupa la Unión Valle (anteriormente llamado "Hato de Lemos", por su fundador Pedro de Lemos), una humilde capilla de techo de paja ubicada en la parte occidental de la actual población en el barrio de la Cruz. En torno a ésta se fueron construyendo viviendas, que paulatinamente conformaron un núcleo apreciable de población (en 1771 ya contaba con más de 600 personas). Fue así como surgió el municipio de la Unión.

En 1796 se formalizó la cabecera del distrito, bajo la dirección de Facundo Gordillo, se le dio el nombre a la población de Hato de Lemos, el que llevó hasta finales del siglo XVIII, al que finalmente se le denominó San Juan de las Palmas, lo cual consistió en la demarcación de la actual plaza principal y el señalamiento de lotes para los principales edificios públicos, y solares para los fundadores, hecho que tuvo lugar el 20 de abril de 1796. Los fundadores figuran como codueños de las tierras en que se asienta la jurisdicción del Hato de Lemos, no se dan pues terrenos ejidos sino de carácter comunal. Cuando la Unión se fundó debía tener una población aproximada de 800 a 1000 personas, en su mayoría mulatos.

Si bien es cierto que a partir de 1850 se empiezan propiamente los municipios, también es cierto que había un azote común tanto para su vida social como para su vida económica y eran las guerras civiles, a esta inestabilidad se suma la administrativa, así La Unión forma parte de la provincia del Quindío en 1880, y en 1896 a la provincia de Arboleda. Después de la guerra civil llamada de los mil días, se divide la comarca en departamentos cuyas capitales son Cali, Cartago y Buga. A este último departamento le corresponde la aldea de la Unión y en 1910 se concretan estos departamentos en uno solo: Departamento del Valle de Cauca, y cada Municipio queda tal cual los encontramos hoy.

El proceso de construcción de los servicios de energía, agua y alcantarillado se da hacia los años 50, por iniciativa de los habitantes de municipio, principalmente de las veredas de San Luis y San Pedro, quienes liderados por el servidor público, ingeniero Argemiro Escobar Cardona, llevaron a cabo la canalización de la quebrada La Sonora llevándola hasta el sitio del salto donde emplearon un dínamo para mover el agua y dar energía, antes de que la CVC modernizara el alumbrado Municipal.

En el año de 1958 la CVC inició la recuperación de una vasta zona entre los municipios de Roldanillo, La Unión y Toro, consistente en la adecuación por medio de obras de drenaje e irrigación en áreas fértiles pero inundables, comprendidas en la parte plana de estos municipios. Permitiendo recuperar nuevas áreas para una agricultura permanente e incorporarlas también al regadío; los propietarios beneficiados con este servicio son pocos, pues a la mayoría de pequeños y medianos propietarios no les es posible utilizarlo por falta de capital para la adquisición de equipos de regadío; además muchos de ellos han visto divididas y reducidas sus parcelas con la construcción de la red secundaria de canales, sólo los que tienen propiedades considerables son los más beneficiados.

Con la adecuación de las tierras realizada por el proyecto, se dio una evolución de los cultivos tradicionales que constituían la principal actividad económica, introduciéndose otros cultivos fuera de los ya existentes como era el maíz, plátano, tabaco, yuca, el cacao, café, el cual ocupaba uno de los primeros renglones y se cultiva en la parte montañosa de clima suave.



Foto 1.2 Cultivo de Uva en la zona urbana (La Unión).

1.3. AMENAZAS

AMENAZAS NATURALES EN ÁREA URBANA

EVENTO	UBICACIÓN	CAUSA	SOPORTE
POR MOVIMIENTO SÍSMICO	Para toda el Área Urbana	Todo el Suroccidente colombiano está en suelos de alta amenaza sísmica.	Ley 400 de 1997, mapa de localización de alta amenaza sísmica en el Suroccidente Colombiano.
POR INUNDACIÓN	A lo largo de las márgenes protectoras de las corrientes de agua del Área Urbana.	Precipitación alta, Desbordamientos de las corrientes de agua.	Antecedente histórico, observación en sitio.
POR MOVIMIENTO DE MASAS Y DESLIZAMIENTOS	Área del Asentamiento Bellavista. Área Proyecto de Vivienda Divino Niño.	Pendientes fuertes, Suelos sin consolidar, Erosión lateral, intensa o regresiva. Invierno.	Estudio Técnico C.V.C., plano 712-46-4, Observación en sitio, técnicos C.V.C.
POR FALLAMIENTO GEOLÓGICO	Márgenes del Zanjón De los Muertos, entre los Barrios, Las Brisas, El Popular, El Jardín y San Pedro.	Fracturamiento intenso relacionado con fallas, foliación, erosión lateral en áreas con material sin consolidar.	Estudio Técnico C.V.C., plano 712-46-4, Observación en sitio.

Fuente: Componente Urbano, PBOT del Municipio de La Unión.

AMENAZAS EN ÁREA RURAL

EVENTO	UBICACION	CAUSA	SOPORTE
POR MOVIMIENTO SÍSMICO	Para toda el Área Municipal	Todo el Suroccidente colombiano está en suelos de alta amenaza sísmica	Ley 400 de 1997, que trae el mapa de localización de amenaza sísmica.
POR INUNDACIÓN	A lo largo de las márgenes protectoras de todas las corrientes de agua del Municipio.	Precipitación alta, Desbordamientos de las corrientes de agua.	Antecedente histórico.
POR MOVIMIENTO DE MASAS Y DESLIZAMIENTOS	Unidad Ambiental de Ladera.	Pendientes fuertes, Suelos sin consolidar, Erosión lateral, intensa o regresiva, Invierno.	Antecedente histórico. Estudio Técnico C.V.C., plano 712-46-4.
POR FALLAMIENTO GEOLÓGICO	Márgenes del Z. De los Muertos, al Este del perímetro del casco urbano, Vereda de Martidoza.	Fracturamiento intenso relacionado con fallas, foliación, erosión lateral en áreas con material sin consolidar.	Estudio Técnico C.V.C., plano 712-46-4.

Fuente: Componente Rural, PBOT, La Unión.

Según un documento del Sistema de Información Geográfica de la Unidad de Manejo de Cuenca Roldanillo – La Unión – Toro realizado en convenio con la Universidad Nacional y la CVC, se plantea que en el municipio de La Unión se presentan amenazas por inundación

más que por deslizamiento, por el contrario tanto en Roldanillo como en Toro se presentan la mayoría de los deslizamientos y las avenidas torrenciales.

La siguiente información fue recopilada y organizada por el grupo de Hidrología:

Acción de torrencialidad

De acuerdo con el POT 2000; En el municipio de La Unión las quebradas que presentan mayor amenaza por avenidas torrenciales son La Unión y El Rincón, debido a la alta intensidad de precipitaciones en la zona y a las características fisiográficas de las mismas, principalmente por su forma, pendiente y cobertura forestal, que tiende a concentrar rápidamente fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, que al llegar a la zona plana (urbana), se desborda ya que la sección hidráulica del cauce de las quebradas son insuficientes a causa de la construcción en años anteriores de viviendas sobre la franja protectora de estas quebradas y el cauce de las mismas, al igual que los procesos de sedimentación.

De acuerdo con (Bolaños, 2006) entre las mayores inundaciones de la quebrada La Unión (Foto 1.3) se encuentran la ocurrida el 24 de mayo de 2006, presentando un caudal aproximado de 50 m³/s con materiales de arrastre (lodos, troncos de árboles, etc.), afectando a 106 familias y la ocurrida en el año de 1970, que según a habitantes del sector presentaron características similares. Dicha quebrada sufrió hace unos años, el cambio de rumbo para poder habilitar la zona del estadio y los predios de Grajales y particulares, al igual que para permitir que una zona del municipio quedara apta como zona de expansión urbana.

El día 21 de Noviembre del 2006, se presentó precipitaciones con alta intensidad en la cuenca La Despensa ocasionando la avalancha de lodo con madera y piedras en la quebrada La Unión, la cual generó inundaciones en viviendas sin pérdidas humanas, pero si con pérdidas materiales en enseres, inundando también el estadio municipal y predios cultivables de la Empresa Grajales S.A.

Con respecto a la quebrada El Rincón el día 05 de agosto del año 2007, entre las 3:00 y las 4: PM aproximadamente, se presentó una inundación, afectando 23 viviendas del sector, sin pérdidas humanas. Cabe mencionar que la última inundación con características similares, ocurrió hacia el año de 1998.

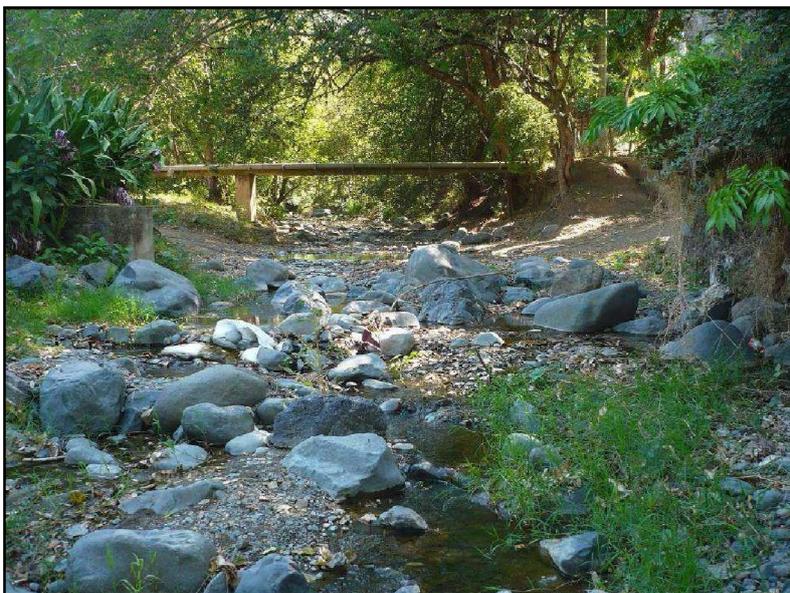


Foto 1.3 Quebrada La Unión a su entrada en el Municipio La Unión.

1.4. DEFINICIÓN DE LÍMITES DE ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN

El perímetro urbano del municipio de La Unión es el definido en el plano de división político administrativa municipal de la modificación del plan básico de ordenamiento territorial del año 2006, se encuentra en formato DWG, el cual se exportó a formato SHP, el perímetro se encuentra en coordenadas planas proyectadas con el origen 3W. En cuanto a las zonas de expansión se tuvieron en cuenta las definidas por fuera del perímetro urbano en la cartografía de las modificaciones del plan básico de ordenamiento territorial correspondiente al barrio La Campesina, en formato DWG, el cual se exportó a formato SHP, el perímetro se encuentra en coordenadas planas proyectadas con el origen 3W con dátum Bogotá.

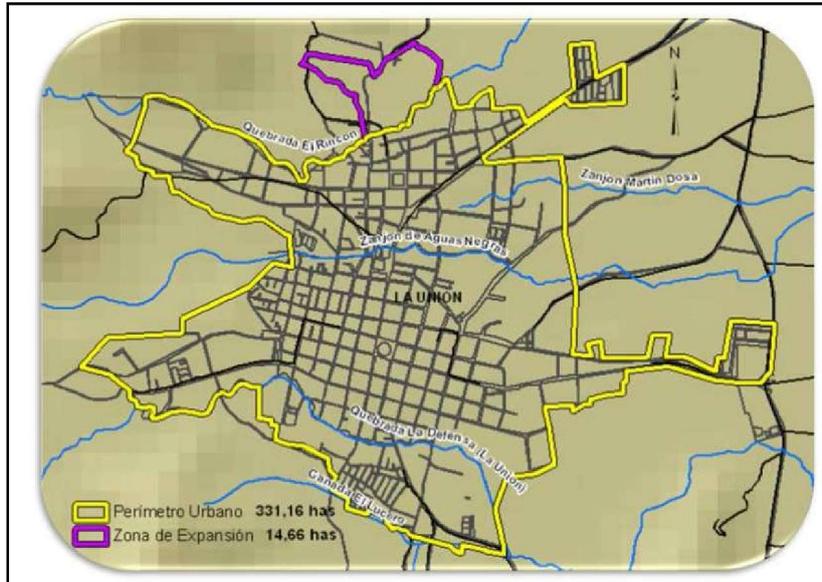


Figura 1.3 Perímetros de la zona urbana y de expansión del municipio de Dagua, definidos en conjunto con la Oficina de Planeación Municipal.

2. HISTORICIDAD

2. HISTORICIDAD

Este capítulo presenta la realización de la historicidad de los eventos, en el marco del Proyecto MIDAS (Movimientos de masa, Inundaciones, Deslizamientos, Avenidas torrenciales y Sismos), del Municipio de La Unión.

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, de entidades como la CVC y el Cuerpo de Bomberos Voluntarios. Se presenta como anexo la lista de eventos ocurridos (Ver Anexo 2.1)

2.1. BUSQUEDA DOCUMENTAL Y NOTICIAS DE EVENTOS

2.1.1. Periódicos

Las noticias sobre emergencias en el Municipio de Dagua son escasas, sin embargo se encontraron algunas noticias que fueron corroboradas con la ayuda de los demás documentos consultados, y que hacen referencia, en su mayoría a inundaciones que se presentaron en varios municipios del norte del Valle del Cauca y donde se menciona muy someramente al municipio de La Unión.

2.1.2. Informes del CLOPAD

En este municipio se realizó una visita a la Alcaldía, más exactamente a la oficina del CLOPAD a cargo de Luis Mario Valencia, quien a su vez es Secretario de Gobierno y Desarrollo Municipal. Aunque no tenía conocimiento del acuerdo de las alcaldías de los municipios enmarcados dentro del proyecto, nos brindó su amable colaboración al brindarnos copia de documentos como el PBOT, decretos de urgencia manifiesta, oficios y resoluciones, ubicados en el archivo de la alcaldía.

Otra persona muy importante para la realización de la historicidad de los eventos del municipio fue Edward Andrés Gómez, quien fue Coordinador del CLOPAD del año 2002 al 2006 y actualmente se desempeña como encargado de la oficina de la Defensa Civil de La Unión. Con su apoyo se pudo realizar un recorrido por los sitios más afectados por inundaciones y nos habló sobre los problemas en el caudal de la Quebrada La Unión, además de las emergencias que se presentan en la cabecera municipal en temporada invernal. También se hizo una revisión de los libros del Cuerpo de Bomberos Voluntarios del municipio para saber sobre las emergencias que por inundaciones o deslizamientos se presentaron en La Unión desde 1982 hasta hoy. Afortunadamente los Bomberos conservan dichos libros lo que hace que nuestra investigación sea más completa y poder tener un registro detallado de las emergencias, que no tiene la base de datos Desinventar.

Entre los documentos encontrados se encuentran:

Oficio de la DAR – BRUT del 9 de Agosto de 2.007, enviado a la Alcaldesa Diana Fabiola Alonso Beltrán, con un informe técnico adjunto sobre la Quebrada El Rincón.

En este informe se hace referencia a la inundación que se presentó el 5 de agosto de 2.007 entre las 3 y 4 pm, donde se registró un incremento del caudal de 4 metros, los que ocasionó inundaciones en 23 viviendas del sector. Un evento similar y de iguales consecuencias para la población se presentó el año 1.998 según testimonio de los habitantes.

La quebrada El Rincón tiene un recorrido de 2.09 Km. (Perímetro Urbano), desde la vía al corregimiento La Aguada hasta su confluencia con la Quebrada San Pedro en la Cra. 13, para después entregar sus aguas la Distrito de Riego RUT.

El cauce de esta quebrada se ve interrumpido y no cuenta con espacio suficiente, ya que dentro de su cauce se ubica un asentamiento subnormal conocido como “Villa Esterilla”, más exactamente en la Calle 23 con Cra. 20. 16 viviendas de este asentamiento se inundaron por completo. Ver Foto 2.1.

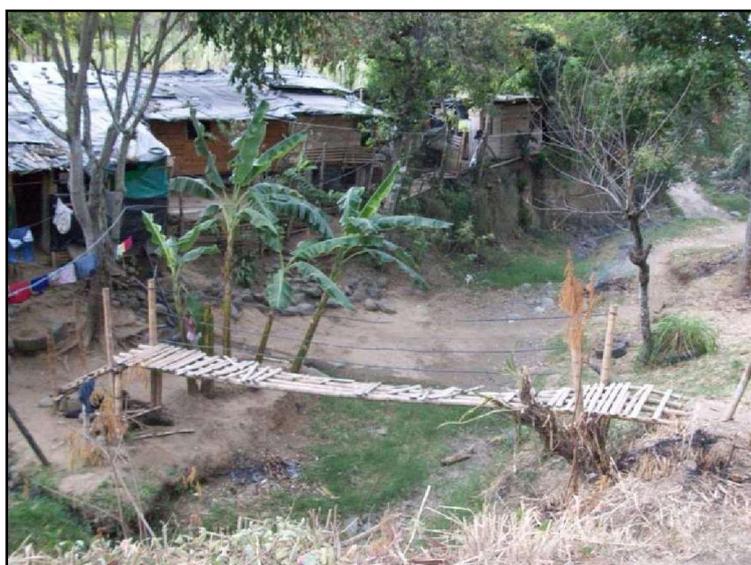


Foto 2.1 Villa Esterilla, agosto 5 de 2009.

- Resolución N° 15 del 31 de Julio de 2.007.

Dirección de Prevención y Atención de Desastres. Ministerio del Interior y de Justicia.

“Por la cual se declara la situación de Calamidad Pública en el Departamento del Valle del Cauca y se reconoce afectación en los Municipios de El Águila, Yotoco, El Dovio, Guacarí, Restrepo, Toro, La Unión, Bugalagrande, Andalucía, Jamundí y Bolívar.” Esta resolución se expide por las inundaciones que durante julio de 2.007, y que afectan estos municipio desde el año 2.006, han causado estragos durante la temporada invernal, dejando un saldo de 398 viviendas en condición de alto riesgo no mitigable.

- Decreto N° 47 del 9 de Mayo de 2.007. Alcaldía Municipal de la Unión.
“Por la cual se declara la Alerta Roja en el Municipio de La Unión Valle”
Este decreto se expide por lo ocurrido el 9 de mayo de 2.007, cuando se presentó a las 4:30 pm. aproximadamente, una avenida torrencial en el Llano corregimiento de San Luís, debido a que el área receptora de la microcuenca recoge las aguas de escorrentía.
El año anterior, el 24 de Mayo de 2.006, se declaraba Urgencia Manifiesta por un evento similar aunque más grave, que produjo inundación de sectores urbanos y rurales de La Unión.

- Oficio de Luis Alberto Ramírez Director Territorial del BRUT, dirigido a la Alcaldesa Diana Fabiola Alonso. 31 de octubre de 2.007.
En este oficio el funcionario alerta sobre la creciente que se presenta en el río Cauca y sus tributarios, además advierte sobre las medidas que se deben tomar en caso de desbordamiento de los cauces que afectan a sectores de la población.



Foto 2.2 Alcantarillado, dentro del cauce de la quebrada La Unión, agosto 5 de 2009.

- Oficio del Agosto 8 de 2.007. Relación de personas afectadas por la ola invernal, en las veredas El Ajizal y El Tamboral. Evento del día 7 de septiembre de 2.007. Realizado por Guillermo Alonso Perea Coordinador de GAMA.
- Derecho de Petición. Julio 11 de 2.007.
Por medio de este derecho de Petición dirigido a la alcaldesa Diana Alonso, los habitantes de un sector de la Urbanización La Ciudadela, le manifiestan a la alcaldesa su preocupación por los deslizamientos que se presentan en la vía que los comunica por daños que se han presentado por las constantes lluvias que han destruido la banca y que debido a ello, han

construido un puente en guadua. Llamam la atención por la condición de esta vía de acceso y su pronta solución.

- Resolución N° 40. Diciembre 28 de 2007.

Dirección de Prevención y Atención de Desastres. Ministerio del Interior y de Justicia.

“Por la cual se declara la situación de Calamidad Pública en el Departamento del Valle del Cauca y se reconoce afectación en varios Municipios.”

Esta resolución se hace por la declaración de Calamidad Pública, que tanto DPAD ha declarado en la resolución N° 15 del 31 de Julio de 2.007, como por los censos realizados por el CREPAD que arrojan la alarmante cifra de 1.444 personas afectadas en los municipio de Buga, Calima, Anserma Nuevo, Cartago, Roldanillo, Pradera, Florida, Toro, La Unión, Obando, San Pedro, Ulloa, Sevilla, Tuluá, Riofrio, Argelia, Trujillo, El Cairo, Bolívar, Buenaventura, Yotoco y Guacarí. El día 30 de noviembre de 2.007.

- Oficio. Febrero 22 de 2.008.

Este oficio de Carlos Arturo Dossman, gerente de ASORUT y dirigido a la alcaldesa Alexandra Arias, alerta sobre la creciente del río Cauca en su zona de reserva natural.

- Oficio. Mayo 30 de 2.008.

Este oficio de Luis Alberto Ramírez, Director Regional Ambiental de la BRUT, está dirigido a la alcaldesa Alexandra Arias Porras, en la cual alerta sobre las crecientes que se registran del río Cauca, de la Quebrada La Unión y demás afluentes. Se recomienda estar atentos a los sitios de alto riesgo, sobre todo las viviendas cercanas a los cauces. Ver Foto 2.3.



Foto 2.3 Vía que va al sector del Prado, y por la cual pasa el cauce de la quebrada La Unión. Agosto 5 de 2.009.

- Oficio. Abril 3 de 2.009.

Este oficio de Gerardo Quintero, Coordinador de la UMATA está dirigido a Luis Mario Valencia, Secretario de Gobierno y Coordinador del CLOPAD de la Unión. En este oficio hace la relación del censo de habitantes en riesgo de la Quebrada El Rincón, quebrada La Unión y el Zanjon de los Muertos.

Quebrada El Rincón: 84 personas censadas.

Quebrada La Unión: 70 Personas censadas.

Zanjón de los Muertos: 16 personas censadas.

Total: 170 personas censadas.

- Acta del CLOPAD N° 005. Noviembre 28 de 2.008.

En este acta se reúnen los representantes de las entidades ante el CLOPAD para discutir las medidas que se deben tomar para afrontar los daños causados por el invierno, se discute sobre las viviendas y cultivos afectados, y las familias que deben ser evacuadas, sobre todo los damnificados en sectores de Córcega y Linderos.

- Acta del CLOPAD N° 006. diciembre 5 de 2.008.

En esta reunión se plantean las medidas de prevención y lo que cada entidad debe realizar para afrontar el invierno que afecta al municipio. Cada entidad hace sus propuestas para realizar acciones encaminadas a resolver los problemas que se presentan por las inundaciones y deslizamientos. A la reunión asisten funcionarios de Bomberos, Defensa Civil, Transito, Cruz Roja y del Hospital Gonzalo Contreras.

Por último, según lo encontrado en los informes de visita, los sitios donde existe más afectación por inundaciones por fuera del perímetro urbano, que fueron visitados por los funcionarios del CLOPAD, son:

- Vereda El Banco, inundaciones por desbordamiento del río Cauca. Visita realizada el 4 de mayo de 2.007.
- Vereda Despensita, deslizamientos y erosiones remontantes. Visita realizada el 23 de marzo de 2.007.
- Corregimiento San Luis, inundación de cultivos por aguas de escorrentía, que cayeron en la microcuenca ocurrida el 9 de mayo. Visita realizada el 23 de mayo 2.007.
- Corregimiento Córcega, inundación y pérdida de cultivos ocurrida el 9 de mayo. Visita realizada el 23 de mayo de 2.007

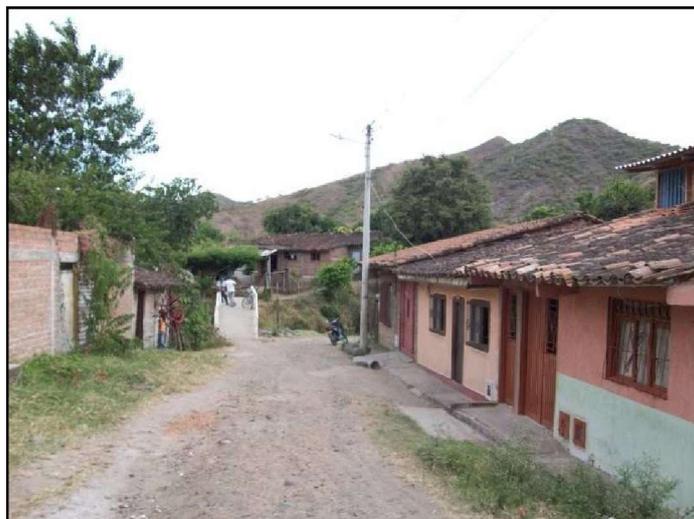


Foto 2.4 Puente Diana Alonso, imagen de las casas que se inundan por el desbordamiento de la quebrada La Unión.

2.1.3. Informes técnicos

Los informes técnicos consultados fueron realizados por la CVC, en los años 2006 y 2007 sobre las inundaciones por desbordamiento de la Quebrada La Unión. Sobre la Quebrada El Rincón y la Quebrada San Pedro no encontramos informes, sin embargo, se hace referencia en algunos documentos sobre las problemáticas de estos dos cauces.

- Informe Técnico. Inundaciones Municipio de La Unión, Valle. Quebrada La Unión. Equipo técnico de la DAR – BRUT
Preparado por: Néstor Bolaños el día 26 de Mayo de 2.006.
Población afectada: 91 familias.
Viviendas afectadas: 71 familias.

Este informe hace referencia a la inundación que se presentó el día 24 de mayo de 2.006, por el desbordamiento de la quebrada La Unión. Y señala lo siguiente con respecto a este evento: “Esta Quebrada cruza el municipio en sentido Occidente-Oriente en una longitud aproximada de 2,5 kilómetros, desde el puente conocido como pasoancho en el extremo sur Occidental del Municipio, hasta su entrega a la Quebrada Las Palmas, la cual continúa su recorrido para entregar sus aguas finalmente al canal interceptor del distrito de Riego RUT. La quebrada fue desviada hace unos años, el cambio de rumbo se realizó, para poder habilitar la zona del estadio y los predios de Grajales y particulares, al igual que para permitir que una zona del municipio quedara apta como zona de expansión urbana.

Según Comentarios de los habitantes de la zona, la última gran inundación, con características similares a la acontecida, ocurrió hacia el año de 1970 (hace aproximadamente 36 años).

En la parte alta de la Cuenca, en los sectores de Paramillo, La Despensa y La Despensita, se encontraron una serie de deslizamientos provocados por las fuertes lluvias y agravados por el sobre pastoreo existente, lo que provocó caída de material sobre el cauce de la acequia

En la zona Urbana, iniciando desde la entrega de aguas de la quebrada la Unión a las palmas, hasta el puente localizado aguas arriba, en la carrera 11 en una longitud de 450 metros, el desbordamiento ocurrió en los predios de la Empresa Grajales y del señor Alberto Aristizábal, inundando a su paso el estadio Municipal, viviendas ubicadas en el barrio Las Lajas sobre la Cra 7, Zona industrial Grajales y La urbanización el Amparo, tendiendo las aguas a tomar su antiguo cauce, ya que hace mas de 40 años se desviaron las aguas para empalmarlas a la Quebrada las Palmas, en un canal con cambios fuertes de dirección, y curvas con ángulos de casi 90 grados. Aguas arriba de la carrera 11 se evidencia que el nivel de las aguas llegó hasta 1,0 metros aproximadamente por encima del nivel de las lozas de los puentes ubicados en las carreras 11, carrera 13, carrera 15, calle 11 y carrera 19. El área crítica de la quebrada en su paso por el área urbana, se determinó a partir del puente de la carrera 11 hasta la carrera 20 donde la sección hidráulica de la quebrada es insuficiente por la presencia de gran cantidad de viviendas ubicadas sobre el cauce de la quebrada lo que limita su capacidad.”

Según el concepto técnico se debe:

“Iniciar los estudios y diseños pertinentes encaminados a encontrar la solución para este tipo de inundaciones tales como: Dragado del cauce, ampliación de la sección hidráulica, construcción de muros de contención, Construcción de diques y demás obras civiles necesarias.” Este informe incluye fotografías sobre lo acontecido ese día y en las que se puede apreciar las dimensiones de la inundación presentada.

- Informe Técnico. Inundaciones Municipio de La Unión, Valle. Quebrada La Unión. Equipo técnico de la DAR – BRUT
Preparado por: Néstor Bolaños el día 23 de Noviembre de 2.006.
Población afectada: 91 familias.
Viviendas afectadas: 71 familias.

Este informe hace referencia a la inundación que se presento el 22 de noviembre de 2.006 en el municipio, por el desbordamiento de la Quebrada La Unión que afecto a los mismos sectores mencionados en el informe realizado en Mayo de ese mismo año, es decir, que la inundación de las mismas características se presento dos veces en un mismo año, el 24 de Mayo y el 22 de noviembre del año 2006.

Memoria Técnica. UMC Roldanillo – La Unión – Toro. Convenio 032. CVC – Universidad Nacional – Sede Medellín. Agosto 2001. A continuación se presenta la Figura 2.1 con la localización de los eventos documentados anteriormente.

-

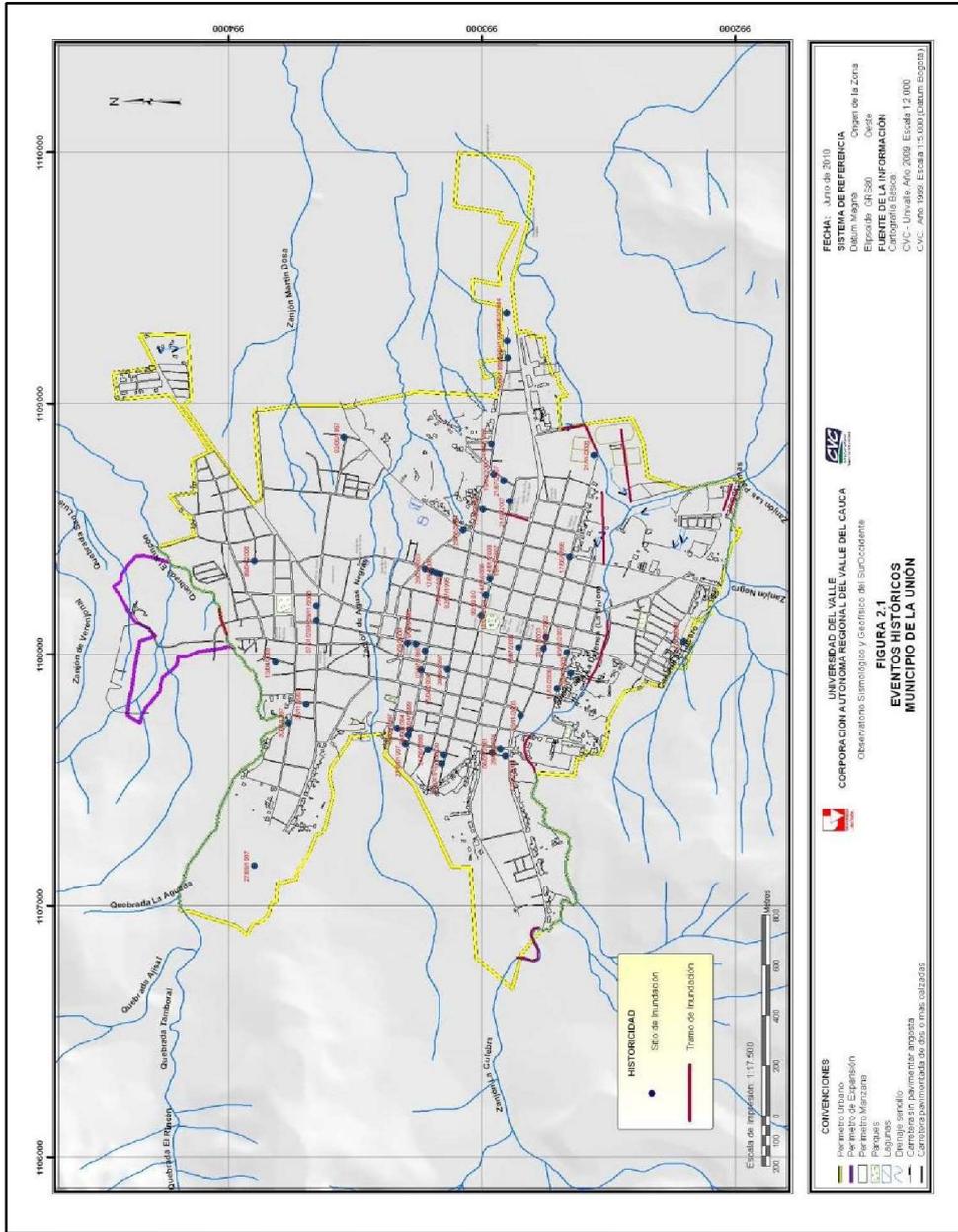


Figura 2.1 Eventos históricos.

3. TOPOGRAFÍA

3. TOPOGRAFÍA

3.1. PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO

Se materializó un total de 6 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).

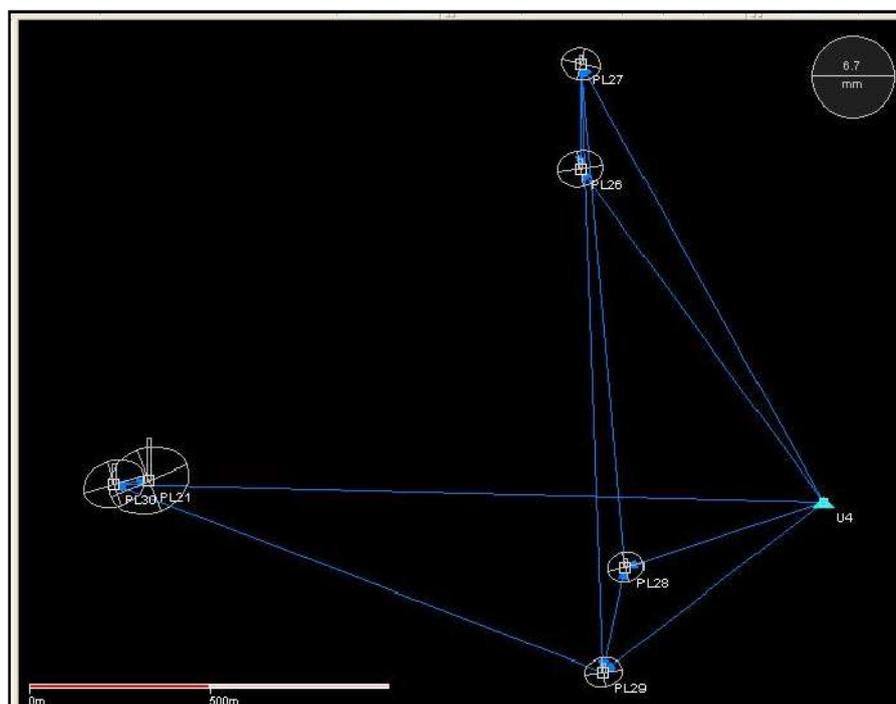


Figura 3.1 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de la red de control.

En este municipio se materializaron seis placas para control de los estudios, 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.

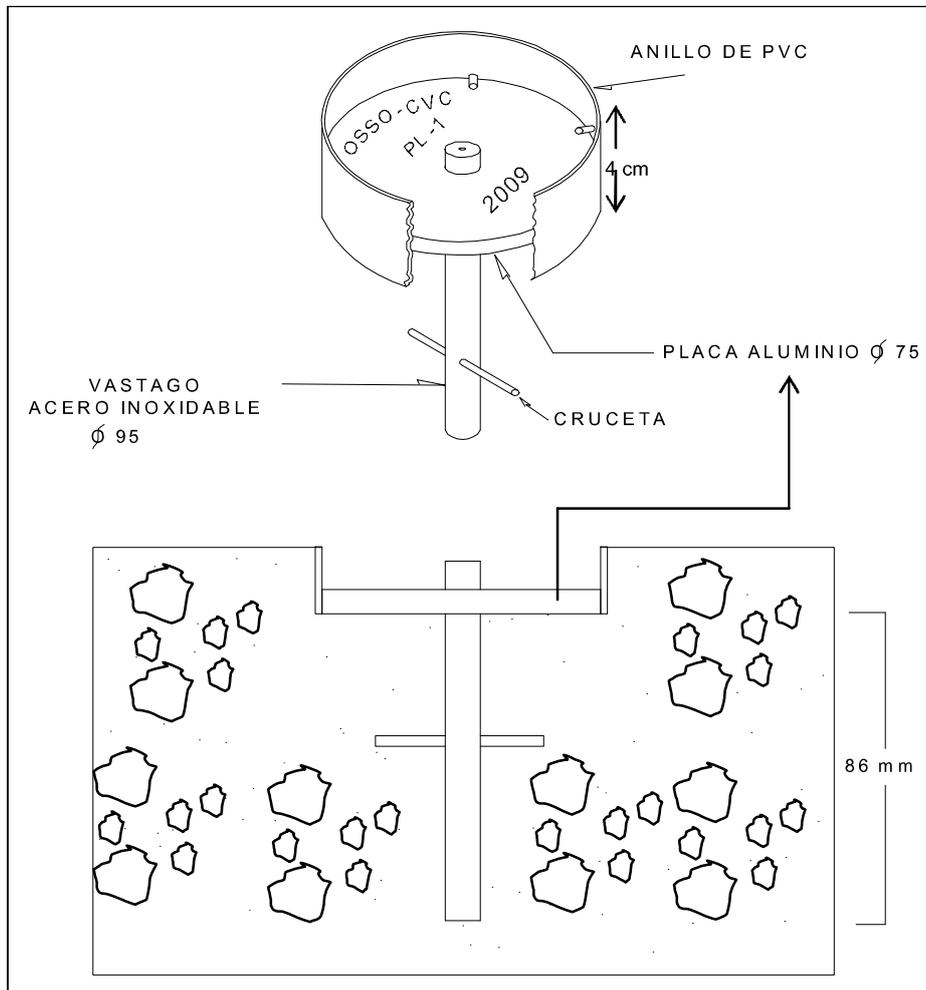


Figura 3.2 Materialización de puntos con placa en concreto.

El posicionamiento se desarrolló mediante procedimientos estáticos GPS diferencial, usando como principal punto de control el vértice MAGNA GPS D-V-2.

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. Coordenadas y Errores asociados a los puntos de amarre de topo-batimetría.

Punto	Latitud	σ	Longitud	σ	Altitud	σ
PL26	N 4° 32' 16.58239"	3.0mm	O 76° 06' 08.00982"	3.8mm	982.6807m	4.1mm
PL27	N 4° 32' 26.07124"	2.7mm	O 76° 06' 07.92085"	3.1mm	981.2771m	3.9mm
PL28	N 4° 31' 40.16481"	2.5mm	O 76° 06' 03.91203"	2.9mm	980.8169m	3.8mm
PL29	N 4° 31' 30.69590"	2.4mm	O 76° 06' 05.88586"	3.0mm	979.0518m	3.8mm
PL30	N 4° 31' 47.78155"	3.9mm	O 76° 06' 50.06820"	5.0mm	1008.5713m	8.2mm
U4	N 4° 31' 46.16362"	0.0mm	O 76° 05' 46.09292"	0.0mm	970.5476m	0.0mm

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.

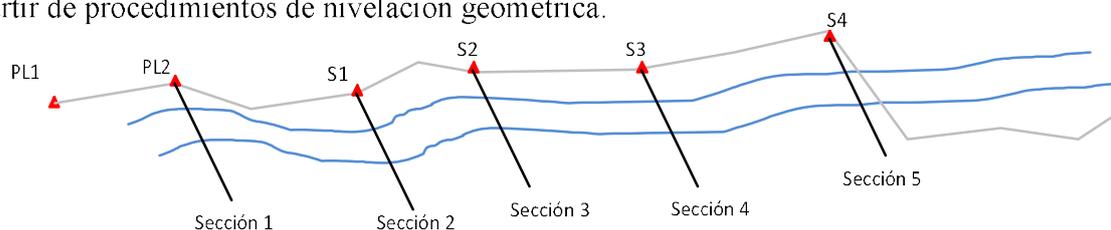


Figura 3.3 Construcción de secciones batimétricas.

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).

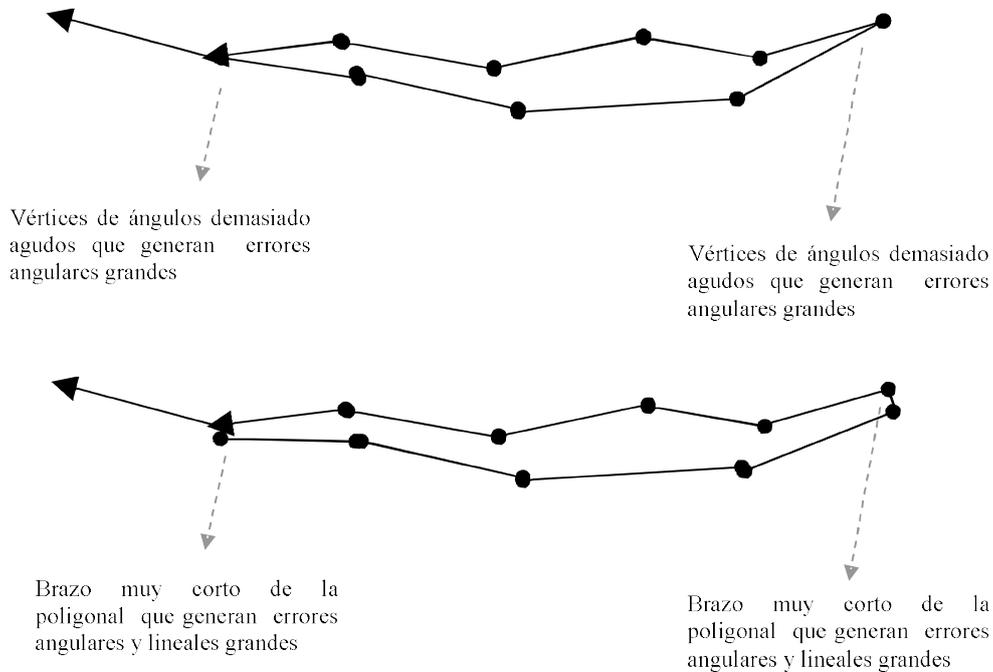


Figura 3.5. Ejemplo de poligonal geométricamente cerrada en proyectos lineales.

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 Rincón	3.406 km	15
Zanjón de Aguas Negras	2.454 km	13
Quebrada La Unión	3.367 km	35
Quebrada El Lucero	1.580 km	10
Quebrada Zanjón Negro	0.709 km	4

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 La Unión.

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 DV 2 del municipio de La Victoria.

En el municipio de La Unión se seleccionaron 10 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 fotocontrol para el municipio de La Unión.

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 3.1 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 3.6 se ilustra el despliegue gráfico de la red de fotocontrol GPS.

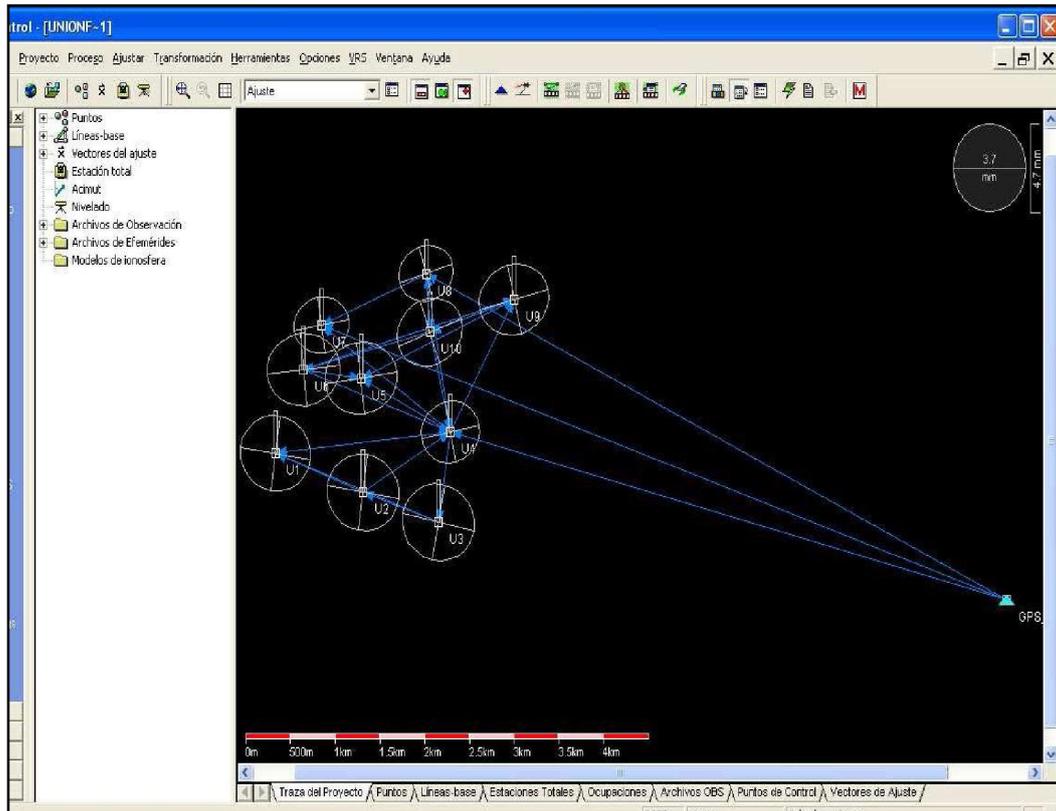


Figura 3.6 Despliegue gráfico del resultado de procesamiento de los puntos de fotocontrol.

Tabla 3.3. Puntos Ajustados en WGS84 (Coord. Geogr. y Desv. Típica).

Punto	Latitud	σ	Longitud	σ	Altitud	σ
<u>GPS DV2</u>	N 4° 30' 55.14967"	0.0mm	O 76° 02' 24.55305"	0.0mm	950.1807m	0.0mm
<u>U1</u>	N 4° 31' 39.70926"	3.2mm	O 76° 06' 49.48574"	3.5mm	1012.6088m	4.6mm
<u>U10</u>	N 4° 32' 16.18064"	2.9mm	O 76° 05' 53.43925"	3.3mm	972.9955m	4.3mm
<u>U2</u>	N 4° 31' 27.84320"	3.2mm	O 76° 06' 17.73434"	3.6mm	987.9598m	4.6mm
<u>U3</u>	N 4° 31' 18.79768"	3.2mm	O 76° 05' 50.48243"	3.6mm	971.6454m	4.6mm
<u>U4</u>	N 4° 31' 46.16362"	2.6mm	O 76° 05' 46.09292"	3.0mm	970.5477m	4.0mm
<u>U5</u>	N 4° 32' 02.35236"	3.0mm	O 76° 06' 18.49451"	3.6mm	988.4262m	4.7mm
<u>U6</u>	N 4° 32' 04.91313"	3.0mm	O 76° 06' 39.26625"	3.7mm	1008.1574m	4.7mm
<u>U7</u>	N 4° 32' 18.30989"	2.3mm	O 76° 06' 32.68987"	2.8mm	1006.6423m	3.9mm
<u>U8</u>	N 4° 32' 33.79141"	2.3mm	O 76° 05' 54.87225"	2.7mm	972.3229m	3.7mm
<u>U9</u>	N 4° 32' 26.00887"	3.0mm	O 76° 05' 22.88180"	3.5mm	955.5554m	4.6mm

Tabla 3.4. Precisiones al 95% de confianza.

Punto	Eje Semimayor	Eje Semiminor	Ángulo	95% confidence radius
<u>GPS DV2</u>	0.0mm	0.0mm	0.0°	0.0mm
<u>U1</u>	3.5mm	3.2mm	-81.8°	8.2mm
<u>U10</u>	3.4mm	2.8mm	69.6°	7.6mm
<u>U2</u>	3.6mm	3.2mm	-81.0°	8.3mm
<u>U3</u>	3.6mm	3.2mm	-78.5°	8.4mm
<u>U4</u>	3.0mm	2.5mm	78.5°	6.8mm
<u>U5</u>	3.7mm	3.0mm	82.0°	8.2mm
<u>U6</u>	3.7mm	3.0mm	84.0°	8.3mm
<u>U7</u>	2.8mm	2.3mm	81.0°	6.3mm
<u>U8</u>	2.8mm	2.3mm	73.3°	6.2mm
<u>U9</u>	3.5mm	2.9mm	76.2°	8.0mm

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 2000, esta información se encuentra en formato DWG. La información cartográfica disponible en CVC a escala 1:10000 es producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas del vuelo FAL 407 a escalas 1:32100 del año 1998.

Tabla 4.1 Información cartográfica del PBOT

Tema	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
Geológico Ingeominas	- BOGOTA	DWG	Polígono, Línea	Aluviones, conos aluviales, cenizas volcánicas, complejo estructural Dagua, milonitas y ultramilonitas de protolito pelítico, cherts, formación volcánica, formación Cisneros con cherts, falla inferida, cubierta, lineamiento en imágenes de sensores remotos, eje anticlinal, eje sinclinal, eje de pliegue con cabeceo, pliegue isoclinal mostrando el buzamiento, del plano axial e inclinación de cabeceo
Mapa geológico (Fuente CVC 1974)	BOGOTA	DWG	Polígono, Línea	Abanicos o conos aluviales, cañadones secos o adis, depósitos aluvial-coluviales, depósitos coluviales, diques semilunares, rellenos de cauces, diques naturales, depósitos de pantanos fluviales, formación Popayán, grupo diabásico, diabasa meteorizada con suelos amarillentos y rojizos, diabasa muy meteorizada predominan suelos rojos, dirección y buzamiento de diaclasas, falla, falla localizada en forma aproximada, falla dudosa o probable, brecha de falla, rumbo y buzamiento de estratos(40 grados)
Geomorfológico	BOGOTA	DWG	Polígono, Línea	Abanicos o conos aluviales, cañadones secos o adis, depósitos aluvial-coluviales, depósitos coluviales, diques semilunares, rellenos de cauces, diques naturales, depósitos de pantanos fluviales, formación Popayán, grupo diabásico, diabasa meteorizada con suelos amarillentos y rojizos, diabasa muy meteorizada predominan suelos rojos, falla, falla localizada en forma aproximada, falla dudosa o probable, principales divisorias de agua, con aluvial, escurrimiento difuso fuerte con apreciable lavaje en mantos, erosión regresiva fuerte, tobas deposicionales por lavaje de pendientes o avalanchas de lodo, avalancha de lodo con material heterogéneo, escarpe de deslizamiento

Composición y tipo de suelo	BOGOTA	DWG	Polígono	Sedimentos aluviales y coluviales, sedimentos heterométricos con influencia de ceniza volcánica, diabasas y metadiabasas con cobertura local de cenizas volcánicas, cenizas volcánicas sobre diabasas, depósitos espesos de cenizas volcánicas sobre diabasas meteorizadas, capas espesas de cenizas volcánicas y arcillas procedentes de esquistos
Composición detallada tipos de suelo. Zona montañosa	BOGOTA	DWG	Polígono	JDb, JDe, JDd, JDe2, JDbc, JDed, JDed2, JDe2, PBeF2, ARab, ROef1, ROef2, VTde, VNde1, SHde
Uso actual de uso Agrícola	BOGOTA	DWG	Polígono	Bosque, rastrojo, pasto natural, permanentes, semipermanentes, transitorios, permanentes semipermanentes transitorios, semipermanente transitorio, permanente semipermanente, permanente bosque-pasto natural, permanente pasto natural, permanente semipermanente pasto natural
Uso potencial de uso de suelo	BOGOTA	DWG	Polígono	Bosque natural, tierras para praderas, tierras cultivables, tierras forestales, tierras aptas para sistema silvopastoral, tierras para recuperación agroforestal
Uso potencial de suelo	BOGOTA	DWG	Polígono	Zonificación de áreas para uso y manejo de suelo (C2, C4, AF, AF/F2, F2, F3,P), clasificación agrologica (I, II, III, IV), zonas agroecológicas homogéneas (FN, MJ)
Conflicto por uso	BOGOTA	DWG	Polígono	UV/F3, UV-PN/P, BN/C4, CC-PL/C4, UV/AF, BN/F2, CC-PL/C3, PN-E/F2, PN/F2, PN-E/F3, UV-F2, PN/F3, PN/AF/F2, PNE/AF/F2, PNE/C4, CC-PL/F2, UV-MA/C2, UV/C2, UV-PN/C2
erosión	BOGOTA	DWG	Polígono	Muy severo(P4C3, P3C3), severo(B3C2), moderado (P2C2, P2C1, P2S1, C2E2), Ligero (SIP1, PIC1), bosque natural
Estabilidad relativa y peligros geológicos	BOGOTA	DWG	Polígono	Rocas consolidadas, material sin consolidar, erosión lateral, erosión intensa, erosión regresiva, careavamiento, deslizamientos activos
Cuencas y microcuencas	BOGOTA	DWG	Polígono	Cuencas (La Unión, el rincón, la sonora, las palmas, el negro, canales)
Zonas de protección hídrica	BOGOTA	DWG	Polígono	Áreas de protección de nacimientos, márgenes de protección de quebradas de agua, márgenes de protección de canales de riego, margen de protección del Río Cauca
Bosques cobertura vegetal	BOGOTA	DWG	Polígono	Bosque natural existente al año 1974, bosque natural existente actualmente, área de protección de cuenca la Despensa, área de protección de cuenca El Rincón
Clima, pisos térmicos, isohietas	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Polígono: Cota 1800-2000 – p.t frío; cota 1200-1800 – p.t templada; cota 950-1200 – p.t cálido Línea: Isohietas
Zonas de vida	BOGOTA	DWG	Polígono	Bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo premontano, bosque húmedo premontano, bosque muy seco tropical, bosque seco tropical
División político administrativa municipal	BOGOTA	DWG	Polígono	San Luis, La despensa, aguadas, lindero, quebradagrande, correaga, cabecera, casco urbano

División político administrativa en suelo urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	La cruz, belén, las lajas, popular, el jardín, Fátima, el prado, ciudadela Grajales, las brisas, san Pedro, el Carmen
Espacio público y equipamientos	BOGOTA	DWG	Punto	Escuela, inspección de policía, centro de salud, iglesia, caseta comunal
Espacio público y equipamientos – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Asistenciales (hospital, ancianato, hogar bienestar familiar, guardería barrio el jardín, centro de salud, jardín infantil barrio las lajas), culto (capilla barrio belén, centro bethesda, cementerio, iglesia Fátima, iglesia pentecostal, iglesia principal, iglesia san Pedro, la ermita), recreativo (coliseo, estadio), uso institucional de la sociedad civil (bomberos, cruz roja, defensa civil, telecom), espacios públicos (Espacio público efectivo), educativos (colegios, universidades), administración (alcaldía, acuavalle), seguridad (inspección de policía, caseta comunal y policía, cárcel), financiero (bancolombia), saneamiento (galería, matadero). Línea: vías principales, trazado original
División del casco urbano en manzanas	BOGOTA	DWG	Polígono, línea	Línea: Barrios (El Carmen, san Pedro, las brisas, el jardín, la cruz, Fátima, el Prado, las lajas, Popular, belén, la ciudadela) Polígono: Rangos por tamaño de manzana m2 (entre 150 y 2737, entre 2739 y 9731, entre 10263 y 46758, entre 48727 y 165809)
División predial por manzanas	BOGOTA	DWG	Polígono	Entre 1 y 22, entre 23 y 44, entre 45 y 94, entre 95 y 171
Infraestructura de comunicación y transporte	BOGOTA	DWG	Línea	Vías nacionales, vías departamentales, vías municipales.
Infraestructura de comunicación y transporte. Ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Línea, polígono	Línea: Vía nacional – panorama, vía departamental, vía municipal, arterias primarias. Polígono: Trama vial general
Estado de las vías ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	Sin pavimentar, pavimentadas, en mal estado pavimentadas, en mal estado sin pavimentar
Sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano y productivo	BOGOTA	DWG	Línea, punto	Red primaria urbana agua potable, acueducto regional Brut, sistema de transvase entre quebradas la sonora y el rincón, sistema de pozo profundo y bombeo acuavalle, acueducto por sistema de bomba pozo profundo tanque elevado, acueducto sistema bocatoma/tanque – tanque de distribución por gravedad, sistema de abastecimiento de riego, sistema de canales de riego, acueducto privado Grajales.
Sistema de acueducto – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Línea	Red primaria urbana de agua potable, acueducto La Sonora Transvase El Rincón, acueducto de pozo profundo (Acuavalle), acueducto regional Brut, planta de tratamiento.
Sistema de alcantarillado	BOGOTA	DWG	Línea, Polígono	Línea: Red primaria, red secundaria, red terciaria, colectores. Polígono: Laguna de oxidación , tanque de

				infiltración San Luis
Sistema de alcantarillado – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Línea, Polígono	Línea: Red principal alcantarillado, red secundaria alcantarillado, red terciaria alcantarillado Polígono: Laguna de Oxidación
Sistema de energía eléctrica – ámbito municipal	BOGOTA	DWG	Línea, Polígono	Línea de transmisión 115KV derivación línea Cartago a SIE La Unión(EPSA), línea de transmisión (ISA), circuito tierra blanca SIE zarzal, circuito la victoria SIE La Unión, circuito quebrada grande El Dovio SIE La Unión, circuito La Unión SIE La Unión, circuito Toro SIE La Unión. Subestaciones eléctricas
Sistema de energía eléctrica	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Red primaria circuito la Unión, línea de transmisión circuito, quebrada grande – El Dovio. Transformador
Edificaciones Institucionales	BOGOTA	DWG	Polígono	Hospital, Ancianato, hogar bienestar familiar, guardería barrio el Jardín, centro de salud, jardín infantil barrio las tajás, capilla barrio belén, centro bethesda, cementerio, iglesia Fátima, iglesia pentecostal, iglesia principal, iglesia san Pedro, la ermita, coliseo, bomberos, cruz roja, defensa civil, telecom, Juan de dios girón No 1, Simón bolívar No 2, magdalena ortega No 3, perpetuo socorro No 4, Antonio Nariño No6, Edelmira Ramírez No7, jose Eusebio oaro No9, san Martín de porras No 22, santa clara No23, colegio san jose, colegio argemiro escobar, colegio Eduardo Grajales, universidad del Quindío, academia de sistemas, la libertad, san jose No5, centro preescolar el jardín, alcaldía, acuavalle, inspección de policía, caseta comunal y policía, cárcel, galería, matadero.
Ocupación edificada por manzana – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	Rangos: Entre el 93.10% y el 50.16%, entre el 49.07% y el 30.27%, entre el 29.98% y el 16.66%, entre el 15.75% y el 0%
Densidad de construcción por manzana – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	Entre 167.56% y 80%, entre 80% y 60%, entre 60% y 30%, menos de 30%
Usos generales del suelo urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	Vivienda, comercio, institucional, industria, parques, agrícola.
Uso agrícola del suelo urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	Berenjena, maíz, maracuyá, plátano, pepino, uva, yuca, otros, suelos para cultivo.
Cantidad de población por corregimientos	BOGOTA	DWG	Polígono	Más de 2000 habitantes, entre 1500 y 2000 habitantes, entre 1500 y 1000 habitantes, menos de 1000 habitantes.
Cantidad de población por veredas	BOGOTA	DWG	Polígono	Más de 600 habitantes, entre 400 y 600 habitantes, entre 200 y 400 habitantes, menos de 200 habitantes, sin datos.
Cantidad de población por barrios – ámbito urbano	BOGOTA	DWG	Polígono	3000 a más, 2000 a 3000, 1000 a 2000, 0 a 1000

Densidad de población de corregimientos	BOGOTA	DWG	Polígono	Más de 50 hab/ha, entre 1.0 y 50 hab/ha, entre 0.5 y 1.0 hab/ha, menos de 0.5 hab/ha
Densidad de población de veredas	BOGOTA	DWG	Polígono	Más de 50 hab/ha, entre 1.0 y 50 hab/ha, entre 0.5 y 1.0 hab/ha, menos de 0.5 hab/ha, sin datos.
Densidad de población por barrios	BOGOTA	DWG	Polígono	Rangos: 80 o más, 60 a 80, 40 a 60, 20 a 40
Unidades ambientales	BOGOTA	DWG	Polígono	Unidad valle aluvial del río Cauca, unidad piedemonte cordillera occidental, unidad de ladera flanco este de la cordillera occidental, unidad de la línea divisoria de aguas cordillera occidental, unidad de ladera flanco oeste de la cordillera occidental
Unidades o áreas homogéneas	BOGOTA	DWG	Polígono	Área homogénea núcleo original, área homogénea casco histórico, área homogénea borde perímetro casco histórico, área homogénea san Pedro, área homogénea borde san Pedro, área homogénea El popular y las brisas, área homogénea el Carmen, área homogénea Fátima – La cruz, área homogénea el prado, área homogénea ciudadela Grajales, área homogénea las lajas.
Estructura General del territorio a largo plazo	BOGOTA	DWG	Polígono, Línea, Punto	Clasificación del territorio(suelo urbano, suelo expansión urbana, suelo rural suburbano), suelos de protección (Bosque natural existente, bosque protector productor, regulación hídrica, sistema hídrico, sistema paisaje, sistema orográfico, parques municipales recreativos, parques municipales urbanos), zonas de alto riesgo por asentamientos (por movimientos de masa, por fallamientos del suelo, por inundación), usos del suelo rural (agrícola-cultivable, agroforestal y Silvo agrícola, tierras para praderas de pastoreo, forestal protector-productor con parcelación rural) . Carretera nacional, carretera departamental, carretera municipal, vía paisajística interveredal, sendero paisajístico, línea de acueducto Brut, colectores. Pozo profundo bombeo, pozo profundo bomba tanque elevado, bocatoma tanque gravedad, centros integrados de equipamientos corregimentales.
Usos de suelo infraestructuras de comunicación y equipamientos	BOGOTA	DWG	Polígono, Línea	Agrícola- cultivable, agroforestal y silvo agrícola, tierras para praderas y pastoreo, forestal protector-productor con parcelación rural, forestal protector. Carretera nacional, departamental, municipal, vía paisajística interveredal, sendero paisajístico. Centros integrados de equipamientos corregimentales.
Infraestructuras de servicios públicos domiciliarios	BOGOTA	DWG	Línea, Punto	Red primaria urbana agua potable, acueducto Regional Brut, sistema de transvase entre quebradas La sonora y El Rincón, sistema de Pozo profundo y bombeo acuavalle, acueducto privado Grajales, sistema de abastecimiento de riego, sistema de canales de riego, colectores quebrada

				La Unión, Zanjón de los Muertos, El Rincón, circuito La Victoria, circuito toro, circuito La Unión casco urbano, circuito El Dovio Quebrada Grande, circuito tierra blanca.
--	--	--	--	---

Tabla 4.2. Información cartográfica básica CVC de la Cuenca RUT

Tema	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
c2301	Bogotá	SHAPE	Punto	Construcción
c2308	Bogotá	SHAPE	Polígono	Área Construida
c2323	Bogotá	SHAPE	Punto	Construcción
c3101	Bogotá	SHAPE	Línea	Vía Pavimentada ancha
c5101	Bogotá	SHAPE	Polígono	Ríos Dobles
c5112	Bogotá	SHAPE	Polígono	Lagos
c5124	Bogotá	SHAPE	Línea	Ríos sencillos y Quebradas
c6101	Bogotá	SHAPE	Línea	Curvas de Nivel

Tabla 4.3. Información cartográfica temática CVC de la Cuenca RUT

Tema	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
Conflicto40_01	Bogotá	Coverage	Polígono	Alto, moderado, sin conflicto, sin evaluar
Dp40	Bogotá	Coverage	Polígono	
Erosion40_01	Bogotá	Coverage	Polígono	Infraestructura, ligera, moderada, muy severa, natural, severa, sin evaluar, zona urbana
Geología40	Bogotá	Coverage	Polígono	Coluviones, complejo ultramáfico de bolívar, conos aluviales, depósitos aluviales, depósitos piroclásticos, formación Cisneros, formación espinal, formación volcánica.
Geomorfología40	Bogotá	Coverage	Polígono	Abanicos antiguos, abanicos colinados muy antiguos en la formación zarzal, abanicos recientes, cerros aislados, colinas bajas convexas y masivas con tendencia a presentarse como unidades separadas por depósitos aluviales, colinas de pie de vertiente montañosa con vertientes largas de formas convexas y cimas amplias convexas, depósitos de vertiente, llanura aluvial del río cauca, relieve de colinas adosadas equi-altitudinales de vertientes cortas con alta densidad de drenaje y valles en V pequeños, relieve de colinas de pie de vertiente montañosa rectilíneas y convexas adosadas intermedias, relieve de colinas de pie de vertiente montañosa rectilíneas y convexas separadas altas, relieve de colinas de pie de vertiente montañosa rectilíneas y convexas separadas intermedias, relieve montañoso con incisión profunda formando canones en V estrechos divisorias convexas estrechas y vertientes rectilíneas y convexas, relieve montañoso con incisión moderada formando canones en V abiertos divisorias convexas amplias y vertientes cóncavo-convexas, relieve montañoso de vertientes intermedias a largas cóncavo convexas con divisorias convexas amplias inclinación moderada con fuertes quiebres de pendiente, relieve montañoso de vertientes largas a muy largas rectilíneas a convexas con formación de valles en V muy profundos y baja

				sedimentación, rellenos aluviales
Isoyetas40_06	Bogotá	Coverage	Lineas	1000, 1050, 1100, 1150, 1200, 1250, 1300, 1400, 1450, 1500, 1550, 1600, 1650
Laderas40	Bogotá	Coverage	Polígono	Ladera, plana
Límite40	Bogotá	Coverage	Polígono	Límite de la cuenca Rut
Pendientes40	Bogotá	Coverage	Polígono	Escarpado, fuertemente inclinado, fuertemente quebrado, inclinado, ligeramente inclinado, muy escarpado, plano
Provincias de Humedad40_97	Bogotá	Coverage	Polígono	Húmedo, subhúmedo
Pisos Térmicos40	Bogotá	Coverage	Polígono	Calido, medio
Reserva40	Bogotá	Coverage		Sin reserva. ZFP roldanillo – La unión - Toro
Suelos	Bogotá	Coverage		Alfisoles, andisoles, entisoles, inceptisoles, zona plana.
Uso Actual40_01	Bogotá	Coverage	Polígono	Ají, algodón, árboles frutales, bosque de guadua, bosque natural, cacao, café, café-plátano, caña de azúcar, cantera, estación climática, galpón ladrillera, granadilla, guayaba, hortalizas, laguna, madreveja, maíz, maracuyá, melón, mirto, papaya, pasto cultivado, pasto natural, piscícola, plátano, rastrojos, reservorio, sorgo, soya, tabaco, tomate, uva, zapallo, zona de recreación, zona industrial, zona urbana.
Uso Potencial40_01	Bogotá	Coverage	Polígono	clase agrologica I, clase agrologica IIIs, clase agrologica IIIsh, clase agrologica II, clase agrologica IVes, clase agrologica IVs, clase agrologica IVsh, clase agrologica Vh, clase agrologica Vs, tierras del sistema de PNN, tierras forestales de producción, tierras forestales de producción-protección, tierras forestales de protección, tierras para cultivos densos, tierras para cultivos en multiestrato, tierras para cultivos semilimpios, tierras para praderas de pastoreo, tierras de recuperación, zona urbana.
Zonas de Vida40	Bogotá	Coverage	Polígono	Bosque húmedo premontano, bosque seco premontano, bosque seco tropical

Tabla 4.4. Información Cartográfica Básica de Planchas 1:10000¹.

Plancha	Tema	Año	Dátum	Formato	Geometría	Descripción
242iib1	1201	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
242iib1	1202	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de aerotriangulación
242iib1	1999	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
242iib1	2110	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Corregimiento, cultivos, veredas
242iib1	2301	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	construcciones
242iib1	2308	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Área Construida
242iib1	2309	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Zonas de parques
242iib1	2310	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Muro
242iib1	2311	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Cercas
242iib1	2330	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Loteo
242iib1	2339	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Piscinas
242iib1	2341	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Tanque
242iib1	3102	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Camino
242iib1	3108	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Senderos

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

242iib1	3120	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Carreteables
242iib1	3123	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía sin pavimentar angosta
242iib1	3411	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Puentes
242iib1	4107	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Bosques
242iib1	4201	1999	Bogotá	Coverage	Punto	arboles
242iib1	5102	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Ríos dobles
242iib1	5103	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Acequias
242iib1	5112	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Lagos
242iib1	5124	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Ríos sencillos
242iib1	6101	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Curvas de nivel
242iib1	Texmarca	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Marcas
242iib1	Texsitio	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto sitio
242iib1	texvereda	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Vereda
242iib3	1201	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
242iib3	1202	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de acrotriangulación
242iib3	1999	1999	Bogotá	Coverage	Punto	Puntos de Cota
242iib3	2110	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Corregimiento, cultivos, veredas
242iib3	2301	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	construcciones
242iib3	2304	1999	Bogotá	Coverage		
242iib3	2306	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Zona de Desechos
242iib3	2307	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Canchas
242iib3	2308	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Área Construida
242iib3	2309	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Zonas de parques
242iib3	2311	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Cercas
242iib3	2322	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Construcción anexa
242iib3	2330	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Loteo
242iib3	2332	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Perímetro Manzana
242iib3	2339	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Piscinas
242iib3	2343	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Jarillón
242iib3	3101	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía pavimentada ancha
242iib3	3102	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Camino
242iib3	3107	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía sin pavimentar ancha
242iib3	3108	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Senderos
242iib3	3120	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Carreteables
242iib3	3121	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía Pavimentada ancha
242iib3	3123	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Vía sin pavimentar angosta
242iib3	3411	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Puentes
242iib3	4107	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Bosques
242iib3	4201	1999	Bogotá	Coverage	Punto	arboles
242iib3	5102	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Ríos dobles

242iib3	5103	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Acequias
242iib3	5112	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Lagos
242iib3	5114	1999	Bogotá	Coverage	Polígono	Ciénagas y pantanos
242iib3	5124	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Ríos sencillos
242iib3	6101	1999	Bogotá	Coverage	Línea	Curvas de nivel
242iib3	Texmarca	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Marcas
242iib3	Texsitio	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto sitio
242iib3	texvereda	1999	Bogotá	Coverage	Anotaciones	Texto Vereda

4.3. 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 dátum 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, geológico, 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 geológico 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

En el presente proyecto se estableció un flujo de procesos que parten de la captura de 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.

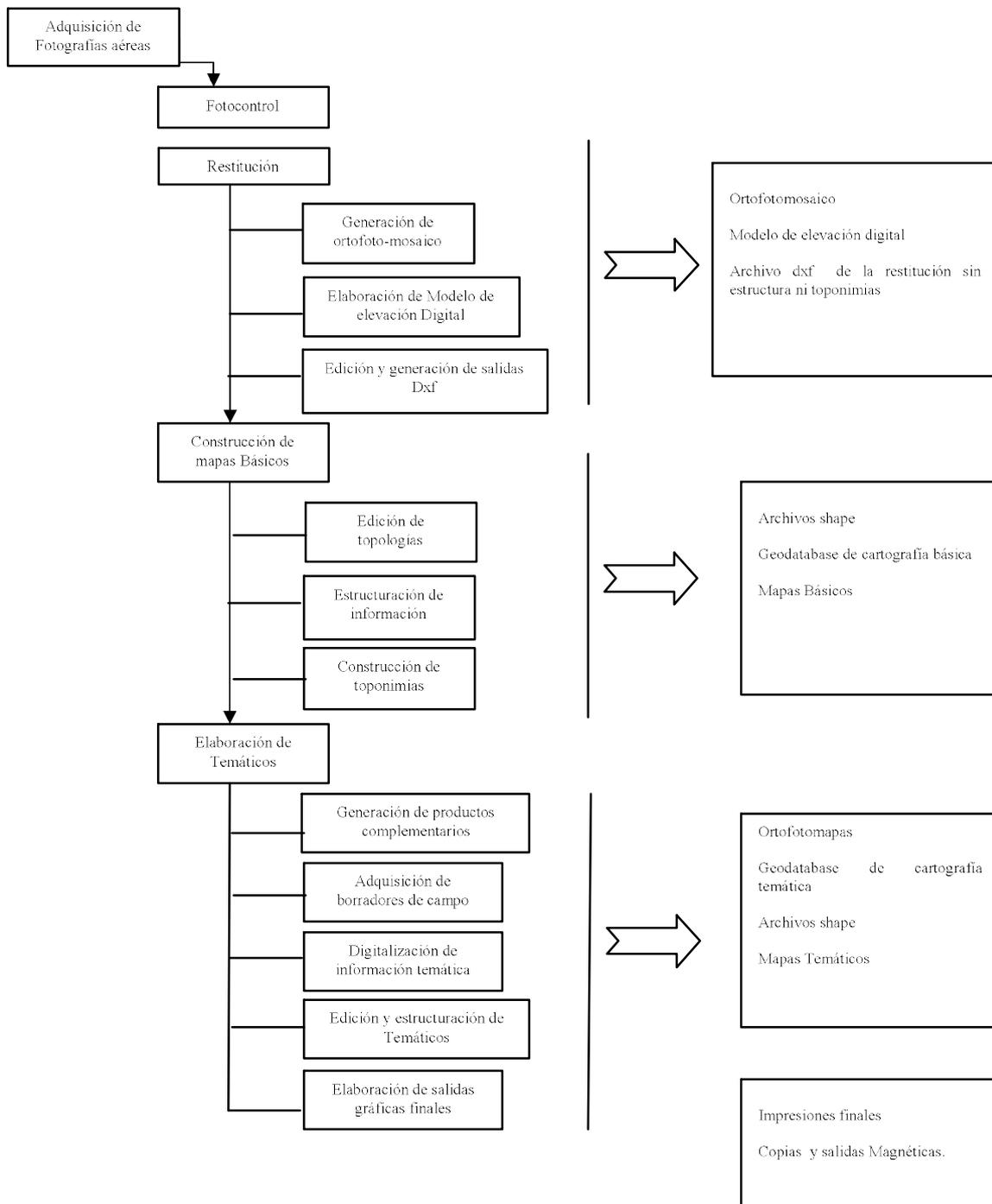


Figura 4.1 Flujo de procesos y productos cartográficos del proyecto.

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 1:2000, producto de restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas disponibles y más recientes adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:10150 correspondientes a las 128,129,130 y 131 de la línea de vuelo C-2787 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.

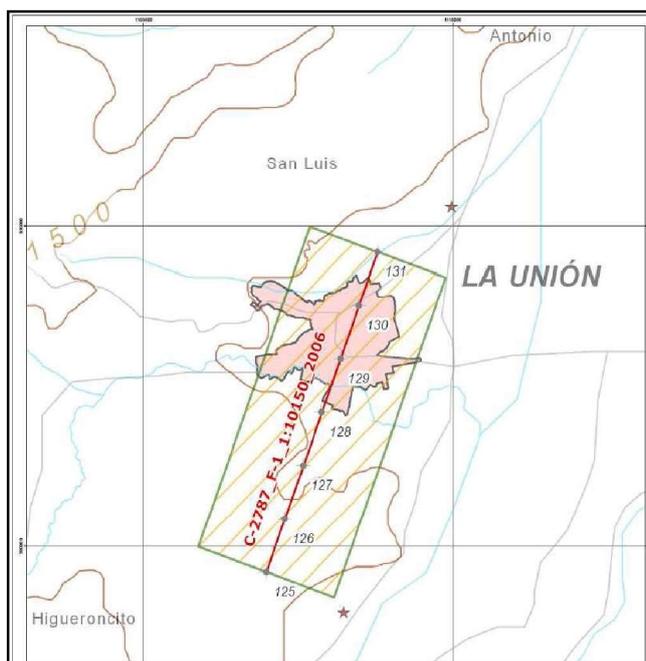


Figura 4.2. Cubrimiento de fotografías aéreas.

Fuente: IGAC

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 espaciamiento cada 1 metro, a éstas curvas se le integraron los puntos topográficos cogo generados a partir de los levantamientos topográficos realizados en el municipio y las curvas de nivel de las planchas a escala 1:10000 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 2 metros y se presentan en el mapa básico cada 2 metros.

4.3.2. Mapa Geológico

Este mapa incluye las unidades geológicas, estructurales y se integran a éste las unidades superficiales 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 1998 y 2006 y el modelo digital de elevación de 30 metros de resolución. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:2000 e impreso a escala 1:5000 (Mapa 5.1).

4.3.3. Mapa de Uso de Suelo Urbano y Cobertura de Suelo

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 1:10000.

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 1:2000, y está impreso a escala 1:5000 (Mapa 7.1).

4.3.4. 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 La Unión y Toro, de la cual se extrajeron las isolíneas correspondientes al área de estudio del municipio de La Unión.

Los mapas de isoyetas mensuales y anual se realizaron sobre la base cartográfica de la CVC a escala 1:25000 a nivel del municipio de La Unión, previamente migrada al dátum Magna, e impresos a escala 1:100000.

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 1:25000, en tamaño 42x50 cm a escala 1:30000, en el sistema de referencia Magna (Mapa 7.2).

4.3.5. Mapa de Eventos Históricos

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 1:2000 e impreso a escala 1:17500 en tamaño carta (Figura 2.1).

4.3.6. 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.

4.3.7. 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 realizados en el Municipio y las curvas de nivel de las planchas 1:10000 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 e inundaciones.

4.3.8. Localización 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 La Unión, Quebrada Zanjón Negro.

Mapa 3.2.: Localización de secciones transversales de la Quebrada El Rincón, Zanjón de Aguas Negras y la Quebrada El Lucero.

5. GEOLOGÍA

5. GEOLOGÍA

En este capítulo se describe la geología, las formaciones superficiales, la geomorfología, los fenómenos morfodinámicos y de remoción en masa, presentes en la cabecera municipal de La Unión 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

Realizar la cartografía a la escala adecuada de las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, formaciones superficiales y rasgos geomorfológicos de la zona urbana, de expansión y los alrededores del municipio de La Unión, enfatizando en las zonas más propensas a fenómenos de movimientos en masa e inundaciones, que puedan constituir amenaza para la población local.

5.2. ALCANCE

Identificar, localizar y describir aquellas zonas o sitios, con rasgos de procesos morfodinámicos que puedan afectar directa e indirectamente la cabecera municipal de La Unión en la zona urbana y de expansión. La información obtenida, clasificada y descrita, servirá como insumo fundamental para la evaluación *de la amenaza y la vulnerabilidad por remoción en masa*.

5.3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de los objetivos propuestos en el marco del proyecto en el municipio de La Unión, se llevaron a cabo diversas actividades descritas a continuación.

5.3.1. Consulta Preliminar

Se realizó la consecución, consulta y evaluación de la información geológica, disponible sobre el municipio de La Unión. 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. 444, 445, 446 y 447 del vuelo FAL 407, F34, a escala 1:32.000 del IGAC. El producto de la fotointerpretación se verificó en el terreno de manera simultánea con la cartografía geológica.

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. El mapa resultante se confrontó y actualizó con el trabajo en el terreno.

5.3.5. Trabajo de Campo

Comprende la cartografía geológica sistemática, la cual se realizó sobre planchas con la cartografía básica y fotografías aéreas.

5.3.5.1. Mapa geológico

Para la elaboración del mapa geológico, se inspeccionaron las unidades litoestratigráficas más notables y sus estructuras, y los suelos y depósitos no consolidados de origen residual, transportado y fluvial.

5.3.5.2. Mapa de unidades superficiales

Comprende las unidades geológicas superficiales presentes en el área de estudio, donde se destacan diferentes depósitos de origen aluvial, diferenciados en cuanto a su composición, edad relativa y geoforma.

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 de unidades superficiales a escala 1:5.000.

5.4. TRABAJOS ANTERIORES

A continuación se destacan algunas opiniones generales de trabajos anteriores sobre la geología del municipio de La Unión, y lo concerniente a los problemas de inundación. Otras amenazas de tipo geológico no se mencionan.

En el año 2001, 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 Roldanillo – La Unión – Toro, en el cual se describe detalladamente la geología, la geomorfología y la morfodinámica de La Unión, posteriormente se nombran las diferentes amenazas geológicas del área de estudio. Para el municipio de La Unión una de las principales amenazas por localización del río Cauca, es la inundación. Sin embargo,

amenazas geológicas, tales como movimientos en masa y avenidas torrenciales no se mencionan en el informe. Las inundaciones se presentan por crecientes en diferentes quebradas que atraviesan el municipio, entre ellas La Unión y en el valle del río Cauca, afectando viviendas localizadas cerca a los márgenes de estos cauces. Los fenómenos morfodinámicos existentes se relacionan con deslizamientos pequeños activos muy comunes en los caminos veredales y algunas zonas con erosión por sobrepastoreo (terracetos) y huellas en las vertientes de pasados movimientos en masa inactivos.

En el año 2000, la Alcaldía de La Unión, realiza El PBOT de La Unión, el cual presenta una síntesis del diagnóstico del municipio, hecho a partir de tres ámbitos: El ámbito urbano regional; ámbito municipal y el ámbito urbano. Y es dentro del ámbito municipal, en donde describen la geología y geomorfología del municipio y se hace referencia a las amenazas geológicas que presenta, tales como: erosión en laderas, movimientos en masa y posibles zonas de licuación, así como una alta amenaza sísmica. Los movimientos en masa se presentan en el área de Bellavista y en el área destinada al proyecto de vivienda Divino Niño; en las márgenes del Zanjón de los muertos, entre los barrios Las Brisas, El Popular, El Jardín y San Pedro se presenta amenazas por fallamiento geológico; amenazas por movimiento sísmico en todo el municipio y amenazas por inundación, principalmente a lo largo de las márgenes protectoras de las corrientes de agua del área urbana del municipio.

En el año 2006, la CVC, realiza un informe por inundación en el municipio de La Unión, por la creciente de la quebrada La Unión, evento que afectó a un gran número de familias y causó daños en por lo menos 71 viviendas, se atañe la problemática al desvío que sufrió la quebrada hace 40 años para canalizar sus aguas a la quebrada Las Palmas en un canal de cambios fuertes de dirección y curvas con ángulos de casi 90 grados. Se recomendó iniciar estudios y diseños pertinentes encaminados para encontrar soluciones a estas inundaciones; realizar dragado del cauce, ampliación de la sección hidráulica, construcción de muros de contención y construcción de diques, así como la pronta reubicación de las familias más expuestas.

5.5. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

La Cordillera Occidental es la más nueva de las tres cordilleras de los Andes colombianos, en cuyo flanco oriental se encuentra la población de La Unión. En su proceso evolutivo esta cordillera ha sufrido cambios notables derivados de la mecánica de acrecimiento de sus rocas al continente desde el fondo oceánico, como consecuencia de los procesos de subducción de las placas Farallones y Nazca, de la interacción con las placas Suramericana y Caribe, y, en especial del levantamiento tectónico, el cual ha afectado la posición original de sus flujos basálticos, e intrusivos de diabasa y gabro, conocidos como Formación Volcánica o PLOCO.

5.5.1. Litología

A continuación se describen las unidades litológicas de la Cordillera Occidental, de manera muy general, teniendo en cuenta su presencia en vecindades y en el sustrato de La Unión,

tales como la Formación Volcánica (Kv) y el Complejo Estructural Dagua que comprende: la Formación Cisneros (Kc) y la Formación Espinal (Ke). Depósitos Piroclásticos (Qp) y Aluviones sin Diferenciar (Qd), asociados principalmente a la depositación del río Cauca. 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. Ver Figura 5.1.

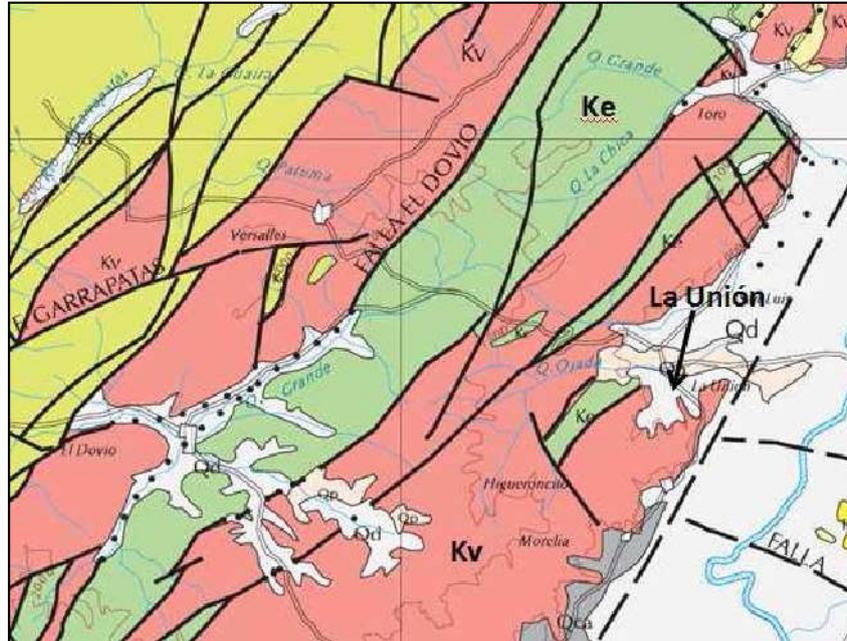


Figura 5.1 Entorno geológico del municipio de La Unión.

Kc: Formación Cisneros: Metalimolitas, metachert y milonitas verdes. Imbricación local de escamas de rocas volcánicas. 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. Qd: Aluviones sin diferenciar. Qp: Depósitos piroclásticos, cenizas y lapilli pumítico.

5.5.1.1. Formación Volcánica (Kv)

Nombre propuesto para las rocas volcánicas básicas que afloran en el departamento del Valle del Cauca al W de la Falla Cali – Patía, limitando su presencia a la Cordillera Occidental. La carretera Panorama entre Cali y La Unión ofrece una exposición excepcional de la unidad, aunque por su dirección paralela al rumbo de las estructuras, solo se exponen los horizontes más orientales.

Las rocas de la Formación Volcánica presentes en la Cordillera Occidental, al Norte del departamento del Valle, 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 esta roca forma diques o silos, emplazados en los flujos; en estado fresco son de color verde azuloso y meteorizan a colores marrón y amarillo.

5.5.1.2. Formación Espinal (Ke)

Se ha definido como tal a la secuencia de sedimentitas silíceas y cherts que afloran asociados a la Formación Volcánica cerca de la población de Loboguerrero y hace parte del Grupo Dagua. La Formación Espinal consiste de cherts bandeados, lodolitas arcillosas y unidades gradadas de areniscas, limolitas y lodolitas (INGEOMINAS; 2001). La formación se extiende por gran parte de la Cordillera Occidental pero predomina al W de la falla de Dagua-Calima. Al oriente de ella se presenta como capas aisladas de poca anchura y gran exención en sentido N-S

5.5.1.3. Depósitos Piroclásticos (Qp)

Son mantos de caída de ceniza que han cubierto una notable extensión en el centro del departamento del Valle del Cauca conformando la topografía actual. Se han descrito en cercanías de la población de la Unión con espesores notables y han sido retrabajadas por corrientes de agua y depositadas sobre los abanicos aluviales de los frentes montañosos.

5.5.1.4. Aluviones sin diferenciar (Qd)

Asociados principalmente a los depósitos del río Cauca y los drenajes provenientes de las Cordillera. Se extienden desde el Sur hasta el Norte del departamento del Valle del Cauca. Los Conos aluviales más recientes de los afluentes, se depositan sobre los depósitos aluviales del río Cauca.

5.5.2. Tectónica

El área de estudio, tectónicamente se encuentra enmarcada dentro de la zona de influencia del sistema de las Fallas Cali-Patía y la falla de Garrapatas. Estas fallas convergen hacia el borde de la Cordillera al norte. Cerca de la Unión se presentan fallas menores con dirección NE y E-W.

La superposición de las fases de deformación en las rocas del Valle del Cauca (Ingeominas; 2001) ha resultado en una estructura cortical determinada esencialmente por la interacción de un sistema complejo de fallas regionales, en las que predominan tres direcciones de fallamiento: N20-30E, N60-70E y N40-50W (Nivia *et al.*, 1997). Cabe anotar que las estructuras regionales y los sistemas de fallas que tienen influencia directa sobre el municipio de La Unión y la zona donde ese desarrolla el proyecto, pertenecen al grupo con direcciones N20-30E. De las mencionadas anteriormente, el sistema Cali – Patía, experimentó movimiento sinistral durante la Orogenia Andina (INGEOMINAS; 2001).

5.6. GEOLOGÍA LOCAL ALREDEDOR DE LA UNIÓN

A continuación se describen las unidades litológicas y sus estructuras, y los depósitos no consolidados, presentes en el municipio de la Unión y sus alrededores próximos. Dichas unidades comprenden parte de la Formación Volcánica (Kv), y del Complejo estructural Dágua del Cretáceo, capas de la Formación Zarzal, del Cuaternario antiguo, y extensos depósitos aluviales recientes, cubiertos con mantos de ceniza volcánica retrabajada.

5.6.1. Formación Volcánica (Kv)

La Formación Volcánica en la zona está conformada principalmente por rocas volcánicas básicas; basalto y diabasa, con notables intercalaciones de chert.

5.6.1.1. Rocas básicas

El basalto y diabasa infrayacen la zona de colinas al occidente del municipio de la UNION, las cuales se extienden al norte y sur, en las estribaciones de la cordillera, por fuera del casco urbano y sus zonas de expansión, tal como se muestra en el Mapa 5.1 y Figura 5.2. Algunos afloramientos se encuentran en la zona del alto de la Cruz, al occidente de la población, donde la roca se encuentra ligeramente meteorizada dando un color amarillo verdoso, con tres juegos de diaclasas, tal como se muestra en el Foto 5.1. Sobre la cordillera, en la parte inferior de las laderas que bordean el frente montañoso, por lo general la roca básica está cubierta por cenizas volcánicas de caída, tal como se muestra en el Mapa 5.1 y en la Foto 5.2. De donde se han desprendido y han sido transportadas por procesos hídricos hasta cubrir depósitos aluviales modernos.



Foto 5.1 Afloramiento de diabasa meteorizada y fracturada.

Este afloramiento muestra dos familias de diaclasas principales conformando una cuña aparentemente estable. Se pueden observar otras diaclasas menores. Vista al W.



Foto 5.2 Afloramiento de diabasa y manto de ceniza retransportada.

Afloramiento de diabasa fracturada y ligeramente meteorizada (abajo), cubierta por un manto de ceniza retransportada, de unos 2 metros de espesor (arriba). Zona del Zanjón Verengenal.

5.6.2. Complejo estructural Dagua Kd (e)

Capas de chert. Estas capas silíceas intercaladas en las rocas volcánicas básicas, se extienden desde la parte SW de la zona, en dirección NE, donde afloran con un ancho de unos 600-700 hasta la quebrada la Unión. Parece que una falla inferida de dirección E-W a lo largo de la quebrada las trunca, y reaparecen con menor anchura en la parte urbana de la población donde afloran en poca extensión (150-200m) en el alto del barrio al Cruz. El espesor de las capas individuales varía entre 8 y 15 centímetros, las cuales se encuentran fuertemente plegadas y fracturadas y por lo general en buen estado de conservación, tal como se muestra en la Foto 5.3. No tiene problemas de estabilidad, ni fenómenos de remoción en masa asociados.



Foto 5.3 Afloramiento de chert en el cerro de la Cruz. Nótese la deformación y el fracturamiento frágil. Vista al NE.

5.6.3. Formación Zarzal (QTz)

Esta Formación en la zona contiene arena tobácea, diatomita y arcilla en bancos delgados. En la zona afloran hacia la parte norte central de la población y hacen parte del polígono de expansión urbana. Sus componentes son por lo general claros de color crema y blanco, lo cual hace difícil su separación de las cenizas que cubren la región.

5.6.4. Conos Aluviales

En el sustrato de la Población predominan depósitos aluviales provenientes de cuencas hidrográficas extensas en la Cordillera Occidental, los cuales se encuentran en parte cubiertos con capas de ceniza volcánica transportada desde los frentes montañosos por aguas de escorrentía. Se han identificado cinco de ellos, unos antiguos (Qal_1 y Qal_2) y otros más modernos (Qal_3 , Qal_4 y Qal_5). Y un depósito de terraza local de gravas antiguas QT_1 .

5.6.4.1. Depósito Qal_1

Conforma el remanente erosivo de un depósito aluvial antiguo, que hace parte de la cuenca baja de la quebrada la Borrasca. Sobre él no hay desarrollo urbano significativo, ni zona de extensión prevista.

5.6.4.2. Depósitos Qal_2

Conforman conos aluviales cuya extensión longitudinal alcanza los 3Km en dirección W-E, por unos 500 a 600m de anchura. Sobre ellos reposa la mayor parte de la cabecera municipal.

Estos conos están compuestos por paquetes de sedimentos aluviales, donde alternan depósitos centimétricos de gravas y limos arcillosos, que alternan con capas de arcilla. Hacia la superficie se observa el recubrimiento de ceniza volcánica transportada. Los espesores son variables; las capas de grava tienen en promedio 1m. pero en algunos sitios este se reduce a pocos centímetros. El tamaño de los cantos varía desde pocos hasta unos 15 centímetros. En general a lo largo de los depósitos la secuencia es muy constante.

Los afloramientos son escasos debido al emplazamiento de la cabecera municipal, pero en los sitios con desarrollo de drenaje incipiente en los bordes del depósito, se observa la tinción blanca del terreno debido a la presencia superficial de ceniza.

5.6.4.3. Depósitos Qal₃

Conforman conos aluviales más modernos emplazados en las depresiones erosivas de los Qal₂. Estos conos están compuestos por una litología similar a la Qal₂, la cual consiste de gravas de diferente espesor y tamaño de los granos, de diabasa y chert, con intercalaciones de limos arcillosos y capas de ceniza volcánica re trabajada. Sus mejores exposiciones se encuentran a lo largo de la quebrada La Unión, al sur del casco urbano; cuyo valle antiguo sirvió de emplazamiento para estos materiales. Por el volumen del relleno aluvial, se piensa que debió transcurrir largo tiempo durante el Pleistoceno entre el emplazamiento de un depósito (Qal₂) y el otro (Qal₃). La parte alta o superficial presenta frecuentes afloramientos de ceniza; la secuencia típica se muestra en la Foto 5.4. Al norte de la población en la cuenca de la quebrada El Rincón se presentan gruesos depósitos de grava, tal como se muestra en la Foto 5.5, y cerca de allí, aflora la capa de ceniza alterada cerca a la superficie, tal como se ilustra en la Foto 5.6. y en las columnas estratigráficas de las Figuras 5.3.a. y 5.3.b.



Foto 5.4 Capas de gravas.

Nótese la alternancia de capas de grava con materiales de grano fino limo arcilloso y la capa de ceniza alterada en la parte superior. La grava se puede presentar de forma lenticular los cual puede representar divagaciones antiguas del cauce mayor. Vista al norte.

Estos depósitos tienen un ligero desnivel de pocos metros con relación a los conos anteriores Qal₂ y en conjunto muestran una ligera inclinación hacia el E, la cual es de carácter deposicional y no tectónico.



Foto 5.5 Capas de grava principalmente de composición basáltica en la quebrada El Rincón. Zona del zanjón Verengenal. Vista al norte.



Foto 5.6 Capa de ceniza alterada a lo largo de la quebrada el Rincón.

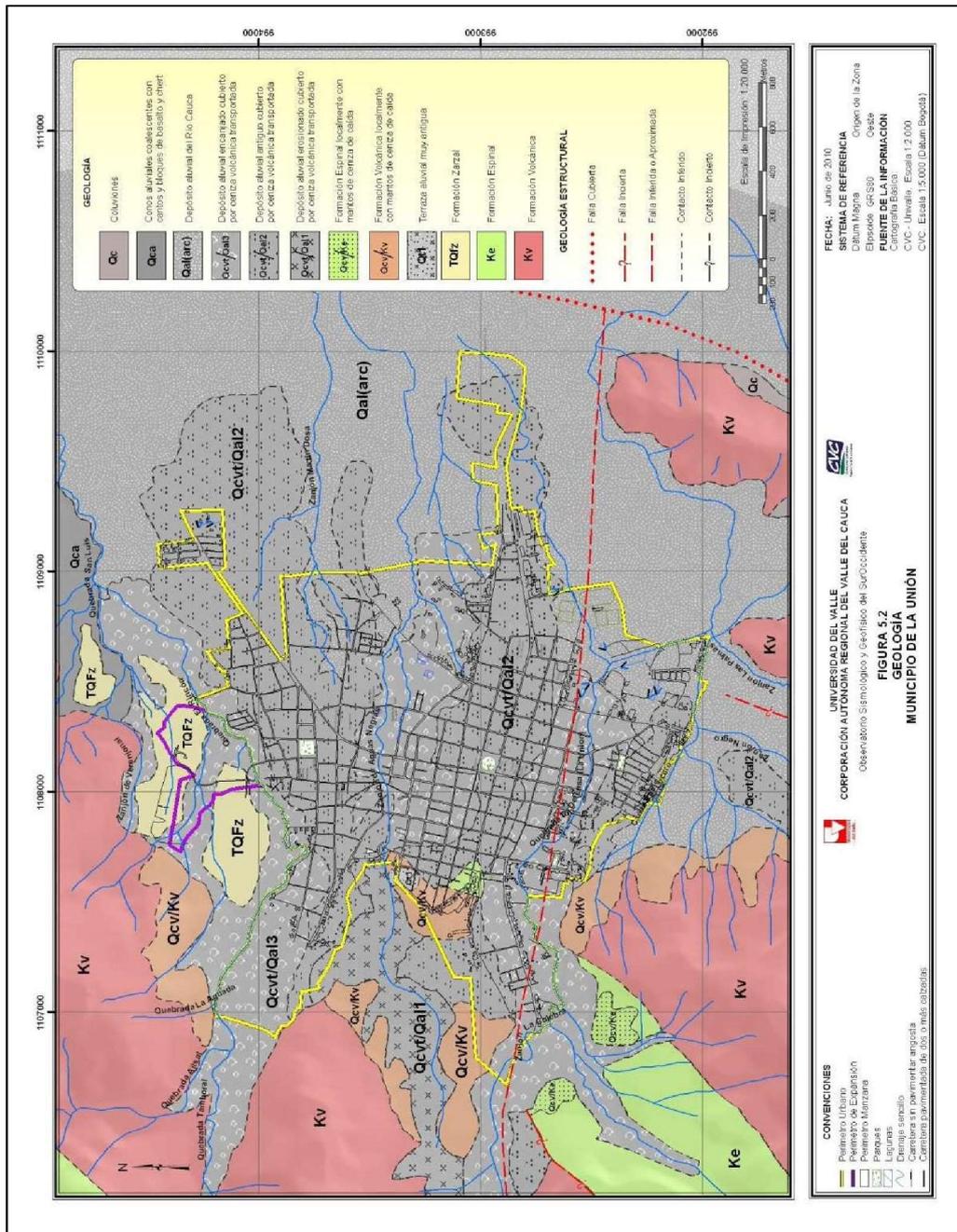


Figura 5.2 Mapa geológico.

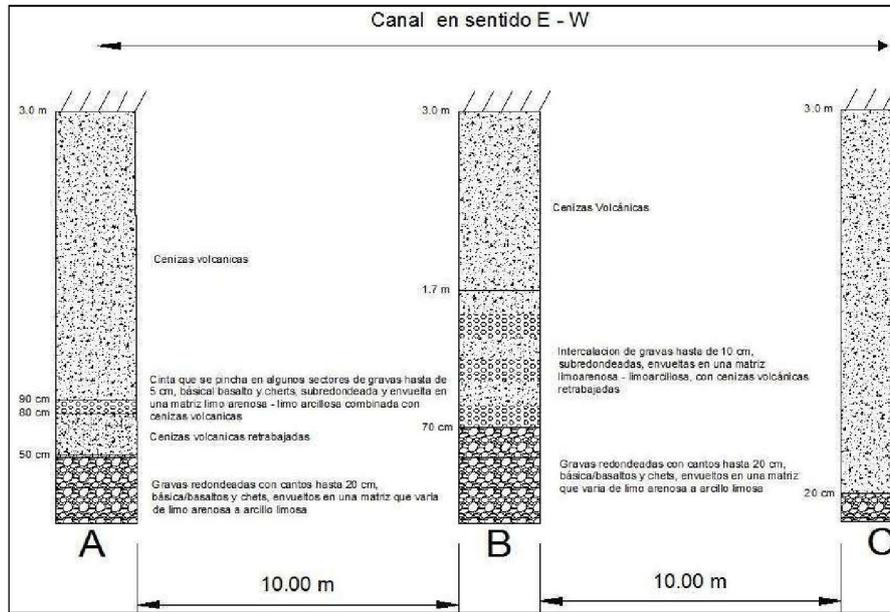


Figura 5.3.a. Secuencias estratigráficas de los depósitos aluviales y cenizas a lo largo de la quebrada La Unión.

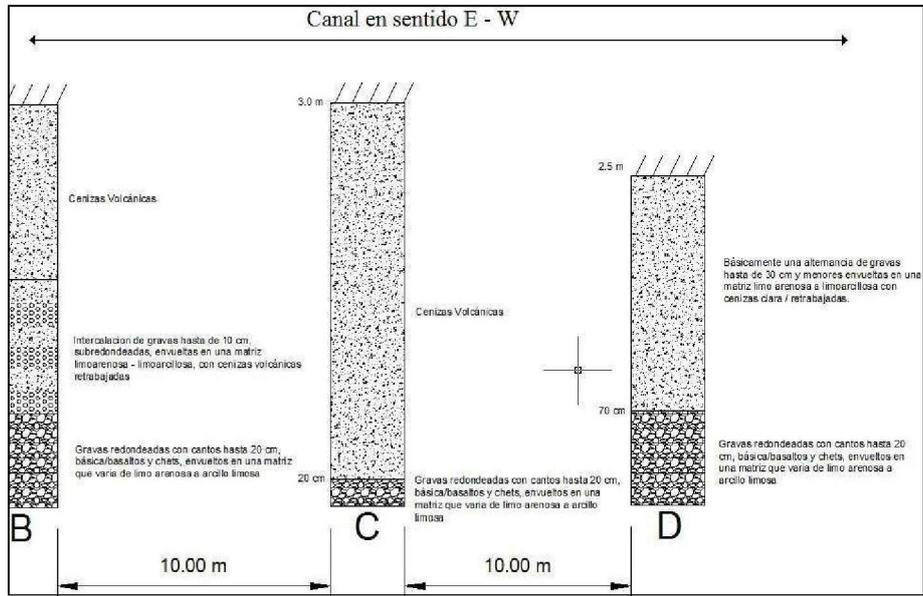


Figura 5.3.b. Secuencias estratigráficas de los depósitos aluviales y cenizas a lo largo de la quebrada La Unión.

5.6.4.4. Depósitos aluviales del río Cauca

Cubren una gran extensión en la parte oriental de la zona. Su estratigrafía se desconoce en esta región y casi en su totalidad están utilizados en sembrado de caña de azúcar.

5.6.4.5. Conos aluviales recientes (Qca)

Conos aluviales coalescentes se presentan en el extremo norte del área y provienen de los zanjones Monterredondo y Potreritos. Están compuestos por cantos sub-angulares de basalto y chert embebidos en una matriz arenosa y limo-arenosa.

5.6.5. Depósito de terraza antigua Qt_1

Este depósito de gravas se encuentra “colgado” en el extremo norte del Alto de La Cruz y corresponde al remanente de un antiguo valle aluvial aterrazado y levantado, posiblemente por procesos neotectónicos no bien precisados en el curso del presente estudio. La terraza está cubierta por ceniza de caída y no reabajada, tal como se muestra en la Foto 5.7, lo cual se deduce de su posición elevada sobre los niveles de los conos aluviales más recientes. Es decir que el levantamiento tectónico fue anterior a la formación de los abanicos, que más tarde se cubrieron de cenizas reabajadas.



Foto 5.7 Depósito aluvial de terraza parcialmente cubierto por ceniza.

Depósito aluvial de terraza parcialmente cubierto por ceniza de caída al norte del Alto de la Cruz. Puede representar un rasgo neotectónico por su notable elevación sobre el nivel actual de las quebradas.

5.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura geológica local del Municipio de La Unión está enmarcada dentro del sistema de fallas de Cali-Patía, al oriente y la falla de Garrapatas al occidente. Esta última se encuentra por fuera del área de estudio, muy cerca de la Unión, siendo una estructura influyente en la zona con dirección NNE y movimiento inverso de vergencia al oriente y componente lateral derecho. Las estructuras mayores no entran directamente en la zona de la cabecera municipal pero convergen a pocos kilómetros al N de ella.

Al SW del Mapa Geológico 5.1 y de la cabecera municipal queda expuesta una parte de la falla que limita al W las capas de chert del Ke, desconociéndose su continuidad en dirección norte. La morfología del conjunto se muestra en la Foto 5.8. Tanto las capas de chert como la falla (sin nombre) parecen no cruzar hacia el norte la quebrada La Unión a pesar de su contundencia al sur de dicha quebrada. Este hecho conduce a pensar que existe una falla transversal inferida E-W a lo largo del basamento de la quebrada La Unión, responsable de la desaparición de estos rasgos, la cual posiblemente contribuyó, con el tiempo, al desarrollo de una depresión longitudinal donde inicialmente se emplazaron los depósitos Qal₃. No hay evidencias directas que comprueben la existencia de dicha falla ni indicios de deformación tectónica reciente en los depósitos cuaternarios y las cenizas sobrepuestas.

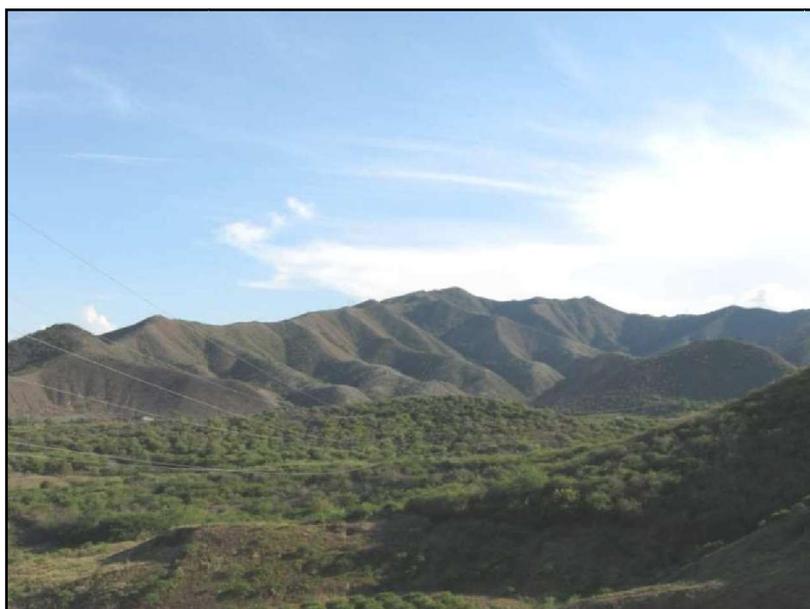


Foto 5.8 Morfología de las capas de chert en la ladera media. Al fondo. Vista al Sur desde la carretera que conduce a la población del Dovio.

5.8. FENÓMENOS DE AMENAZAS GEOLÓGICAS

No se observaron fenómenos de remoción en masa dentro del casco urbano, ni en las zonas de expansión. Tampoco en los alrededores próximos a la población. La erosión ha sido un proceso denudativo lento. Aunque algunas crecientes de la quebrada la Unión han socavado las laderas, el único fenómeno eventualmente amenazante han sido las inundaciones a lo largo de esta quebrada, a su paso por los barrios Las Lajas, Urbanización El Amparo y Empresa Grajales. Siendo los sitios más afectados el puente de la carrera 11 hasta la carrera 20, que durante picos invernales severos, a intervalos de 10 a 15 años, llegaron causar algunos daños en las viviendas vecinas. Inundaciones menores han ocurrido a intervalos de dos años aproximadamente. Su documentación detallada se presenta en el informe de Historicidad, del Proyecto MIDAS por Luz Ángela Mazuera y Nathaly Mazo.

La quebrada la Unión, la más notable que cruza el casco urbano, en época de verano no lleva agua, su fondo es relativamente plano, tal como se muestra en la Foto 5.9, y localmente tiene algunas viviendas rudimentarias en su lecho. Lo mismo ocurre con otras quebradas que cruzan el municipio que son ocupadas temporalmente por viviendas rudimentarias y aun utilizadas para tráfico vehicular como el zanjón Moral.



Foto 5.9 Lecho de la quebrada La Unión. Vista al Sur. La cual en algunos picos invernales ha llegado a inundar parte de los barrios situados en sus márgenes.

El municipio de La Unión, presenta en el límite de su perímetro un área de arcillas expansivas, ubicadas entre el zanjón de aguas negras hacia el oriente y hacia el Occidente se presenta entre las calles 19 y 20 y la carr.16, esta localización fue hallada en el documento del PBOT del municipio estudio que arrojo; Cuaternario Aluvial (Qa): Este depósito está constituido por niveles de guijarros, gravas, arenas y limos, este tipo de sedimentos tiene una porosidad eficaz y permeabilidad alta; las gravas, guijarros y arenas

gruesas tienen un coeficiente de infiltración alto, mientras que los limos y arcillas tienen coeficiente de infiltración bajo; las gravas y arenas gruesas presentan buenas características hidrogeológicas y se consideran buenos acuíferos y las arenas finas y limos se clasifican como acuíferos pobres. (PBOT municipio La Unión)

Morfológicamente corresponden a laderas intermedias, de aspecto sub-redondeado y altura no superior a los 100 m. Predomina la reptación y la erosión concentrada como procesos erosivos, siendo la cobertura vegetal tipo pastos y cultivos limpios. De acuerdo con la matriz, se clasifica como de MODERADO GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD a ser afectado por procesos de remoción en masa².

² ACUAVALLE S.A E.S.P
CONTRATO No. 274 - 2006
Evaluación Técnica y Administrativa, Hidráulica, de Procesos y Diseños de las Ampliaciones del Sistema de Potabilización del Municipio de La Unión, Evaluaciones y Diseños de las Conducciones de Agua Cruda y Tratada, y Ampliaciones de los Tanques de Almacenamiento para los Municipios de La Victoria y Obando
DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN
Proyecto No. 027-2006
- Versión 00 -
Preparado por:
INGESAM LTDA.
Ingeniería de Saneamiento Ambiental Santiago de Cali, Marzo de 2007
Ingenieros Consultores

6. GEOFÍSICA

6. GEOFÍSICA

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.

6.1. LOCALIZACIÓN

La exploración se realizó en las diferentes unidades lito-estratigráficas aflorantes dentro de la cabecera municipal y las zonas de expansión. Se ejecutaron un total de 10 líneas de refracción sísmica.

La longitud de las líneas de refracción sísmica en superficie alcanzó los 40 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 metros, el espaciamiento entre geófonos se realizó cada 3.00 metros.

6.2. METODOLOGÍA

Corresponde como cualquier exploración convencional a saber:

- Recolección de la información del sector.
- Visita preliminar al área del proyecto.
- 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.

6.3. 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.

6.3.1. Equipos

El equipo corresponde a un Sismografo 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 Sismografo modelo Ras-24, para refracción sísmica.



Foto 6.2 Geofonos para recepción de ondas.



Foto 6.3 Cable de emisión



Foto 6.4 Platina y Mazo utilizado como fuente de energía.

6.3.2. 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.

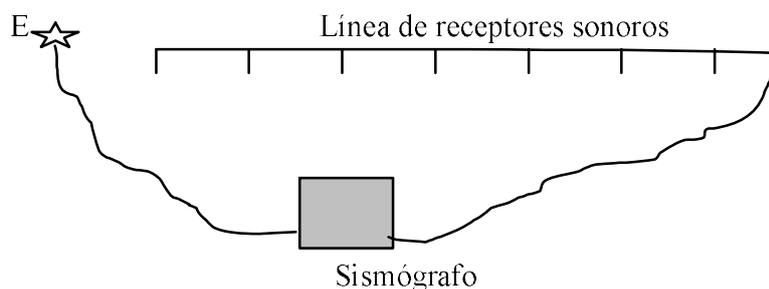


Figura 6.1 Dispositivo de prospección sísmica y disposición de los geófonos sobre el terreno.

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.

6.3.3. 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 10 líneas de refracción sísmica distribuidas en las zonas de expansión. La localización de las líneas sísmicas que se describen a continuación puede consultarse en la Figura 6.2.

Para la interpretación de los sismogramas se utilizó el programa SEISVIEW, la profundidad de exploración alcanza los 15.00 metros.

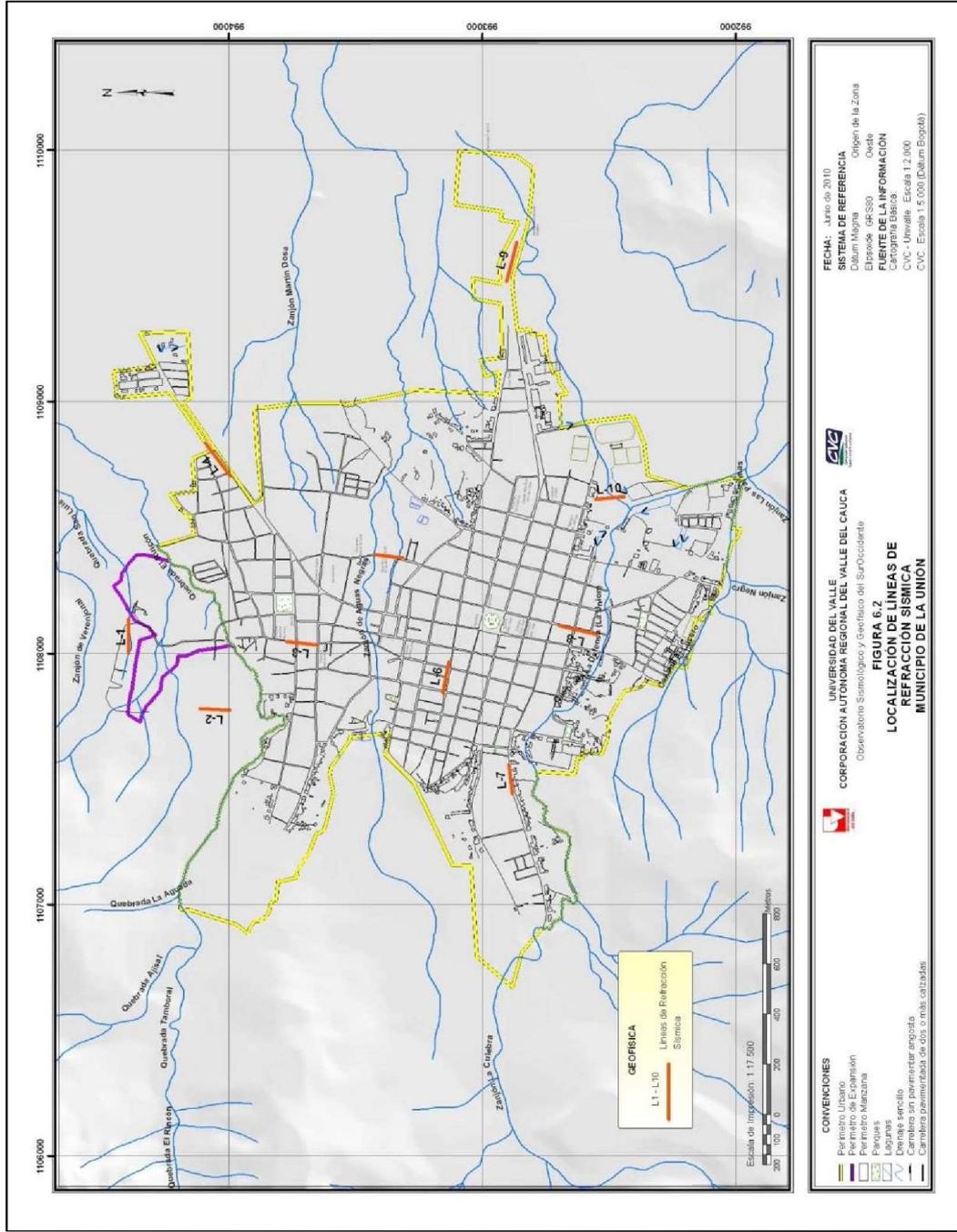


Figura 6.2 Localización de líneas de refracción sísmica.

6.3.3.1. Línea sísmica L-1

Se corrió en el costado norte del área de expansión, al norte de la cabecera municipal (Foto 6.5), en dirección E-W con coordenadas N:994395,974-E:1108000,727 y N:994395,974-E:1108136,871, con una longitud de 40 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 – 1.10 E	370	Arenas tobáceas.
0.00 – 2.80 W > 1.10	680	Intercalaciones de arenas tobáceas y arcillas.
> 2.80	900	Basamento.



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

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con materiales pertenecientes a la Formación Zarzal con velocidad de 370 a 680 metros/segundo y profundidad de 2.80 metros en el costado occidental de la línea de refracción sísmica, de consistencia media a dura. El tercer horizonte muy posiblemente se correlaciona con rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidad de 900 metros/segundo, de consistencia muy dura.

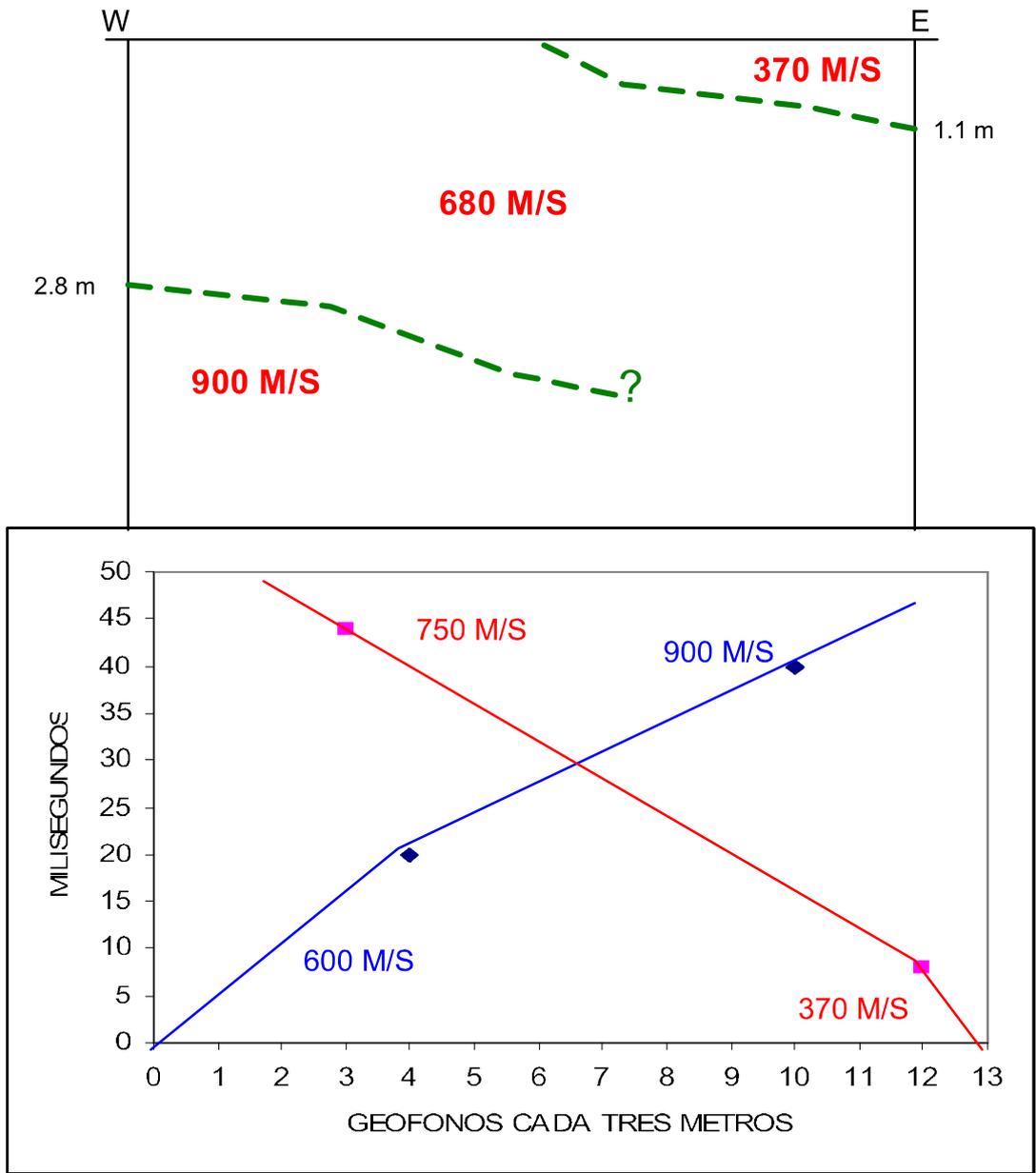


Figura 6.3 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-1.

6.3.3.2. Línea sísmica L-2

Se corrió en el costado sur del área de expansión al norte de la cabecera municipal (Foto 6.6), en dirección N-S y coordenadas N:993995,106-E:1107772,308 y N:994116,123-E:1107779,871, con una longitud de 40 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.4).

Profundidad (m.)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – (1.00)(2.70)	430	Intercalaciones de arenas tobáceas y arcillas.
1.00 – 3.70	680	Intercalaciones de arenas tobáceas y arcillas.
> 3.70	820	Basamento.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; los dos primeros se correlacionan con materiales pertenecientes a la Formación Zarzal, alcanzan profundidades hasta de 3.70 metros y velocidades del orden de 430 a 680 metros/segundo de consistencia media a dura. El tercer horizonte corresponde al basamento, constituido muy posiblemente por rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica con velocidad de 820 metros/segundo, de consistencia muy dura.



Foto 6.6 Localización Línea de Refracción Sísmica L-2, al sur del área de expansión norte de la cabecera municipal.

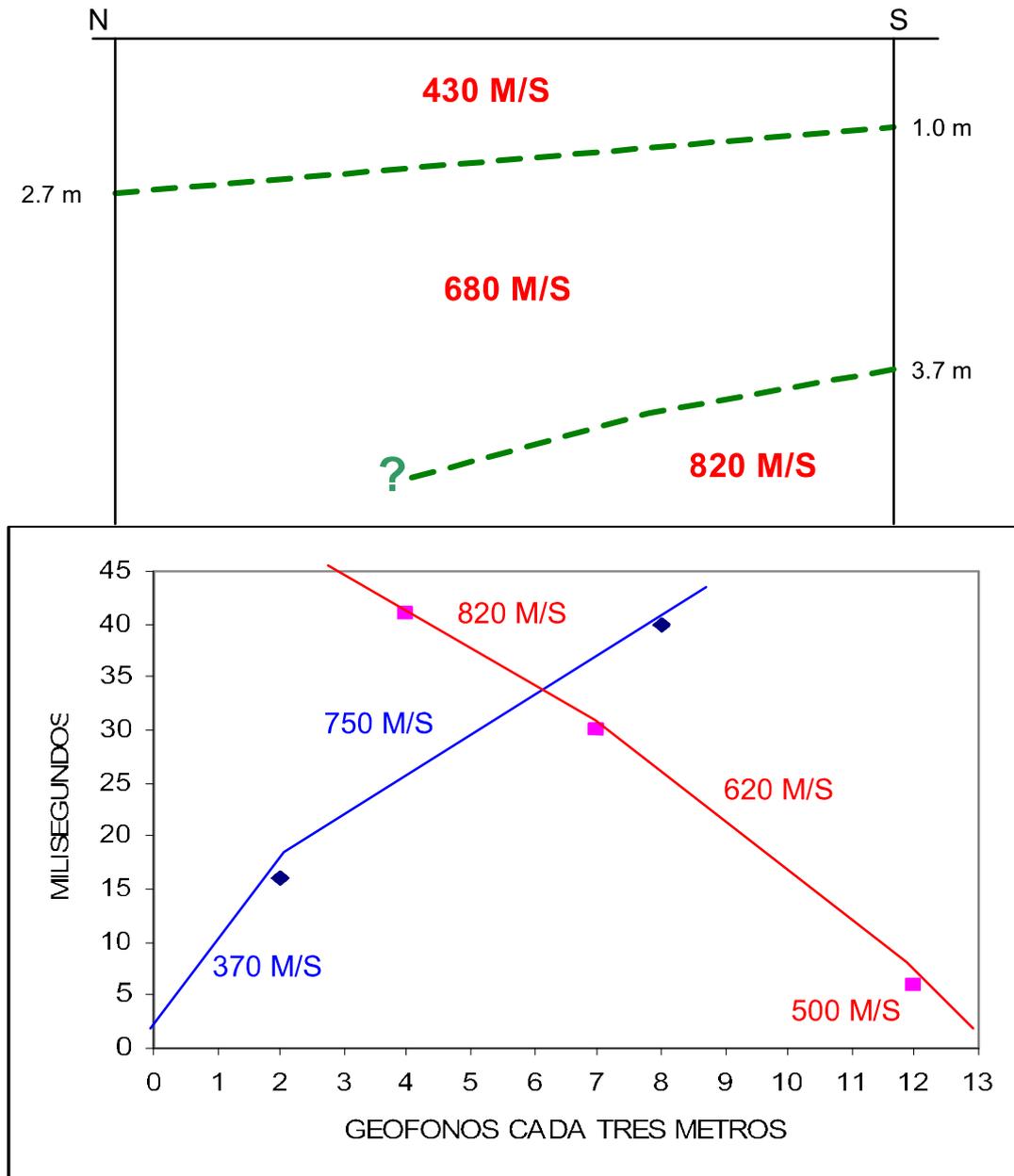


Figura 6.3 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-2.

6.3.3.3. Línea Sísmica L-3

Se corrió cerca a la iglesia San Pedro Apóstol (Foto 6.7), en dirección N-S y coordenadas N:993653,233-E:1108034,006 y N:993772,737-E:1108047,621, con una longitud de 40 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.5).

Profundidad (m.)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – (1.50)(3.00)	290	Conos Aluviales.
1.50 – 3.60 S	430	Conos Aluviales.
3.60 – 7.40 N	770	Roca meteorizada.
> 7.40 N	1500	Basamento rocoso.

Resultados que nos definen cuatro horizontes de velocidad; los dos primeros corresponden a los Depósitos de Conos Aluviales, alcanzan profundidades hasta de 3.60 metros y velocidades del orden de 290 a 430 metros/segundo de consistencia blanda a media. El tercer horizonte se correlaciona con rocas meteorizadas alcanzan una profundidad de 7.40 metros y velocidad de 770 metros/segundo. Finalmente el basamento corresponde a la roca diabásica fracturada a densa con velocidad de 1500 metros/segundo, de consistencia muy dura.



Foto 6.7 Localización Línea de Refracción Sísmica L-3, al oriente de la Iglesia San Pedro Apóstol.

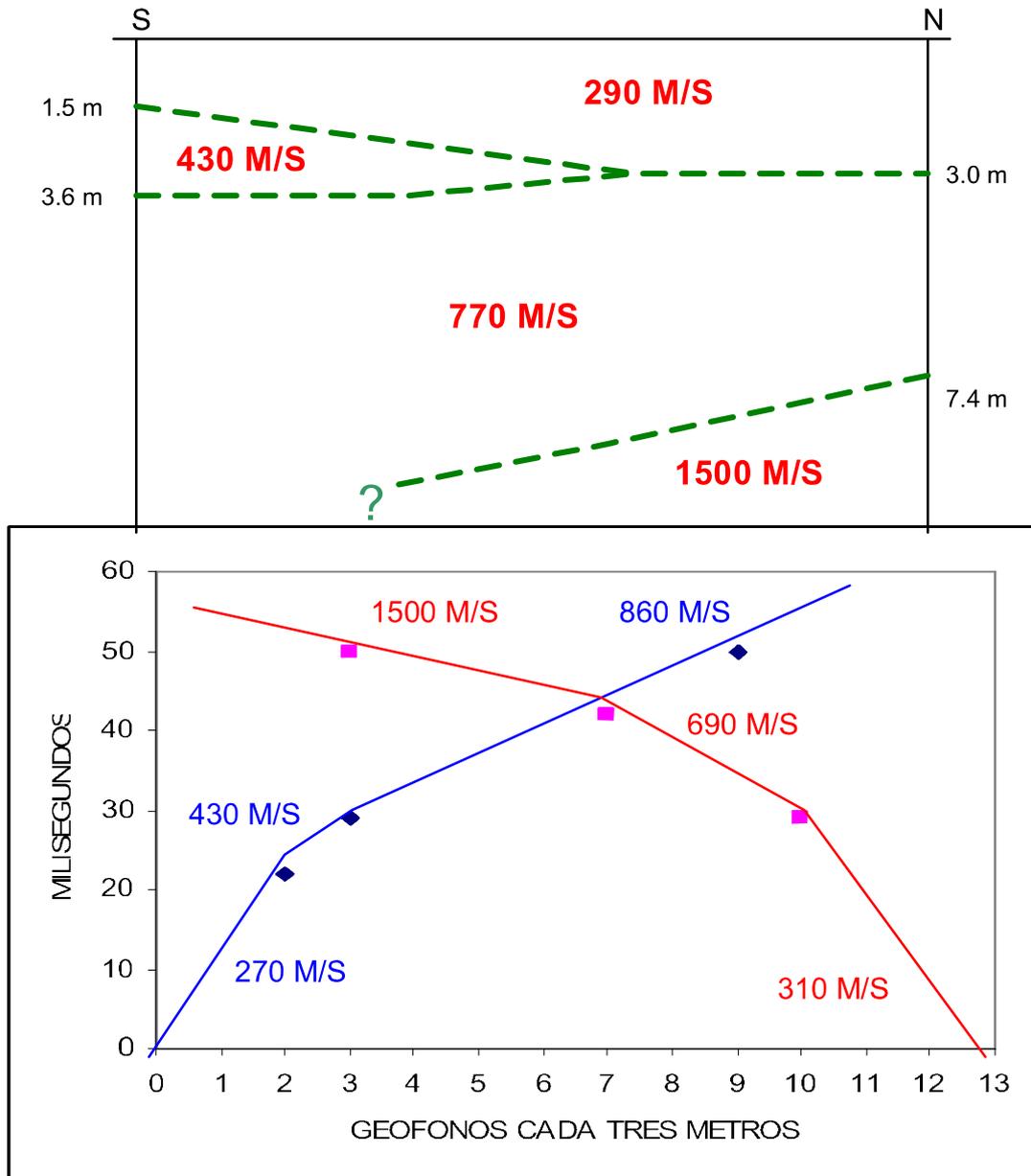


Figura 6.5 Dromocrónica Línea de Refracción sísmica L-3.

6.3.3.4. Línea Sísmica L-4

Se corrió en el costado nororiental de la cabecera municipal (Foto 6.8), en dirección SW-NE y coordenadas N:993993,593-E:1108705,650 y N:994091,919-E:1108838,768, con una longitud de 40 metros, para una profundidad de exploración cercana a los 15.00 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 NE	210	Conos Aluviales.
0.00 – 3.50 SW 1.00 – 5.50 NE	340	Conos Aluviales.
> (3.50)(5.50)	640	Basamento.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; los primeros corresponden a Depósitos de Conos Aluviales los cuales han sido transportados y depositados, alcanzan de 1.00 a 5.50 metros y velocidades del orden de 210 a 340 metros/segundo, de consistencia blanda a media. El basamento posiblemente se correlaciona con rocas meteorizadas de consistencia dura y velocidad de 640 metros/segundo.

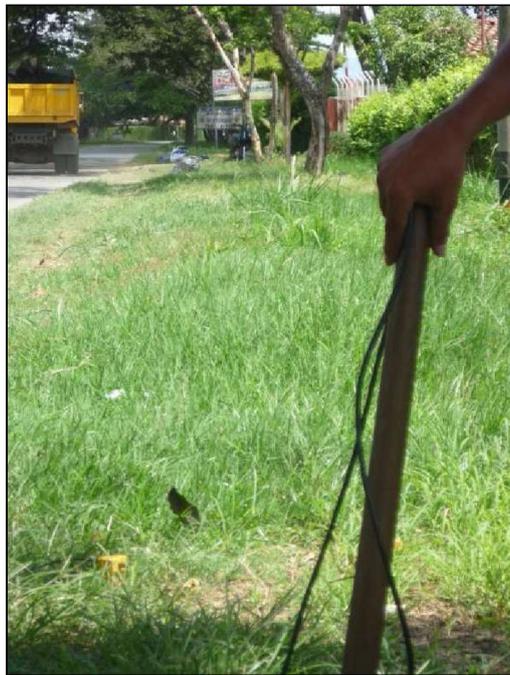


Foto 6.8 Localización Línea de Refracción Sísmica L-4, al noreste de la cabecera municipal.

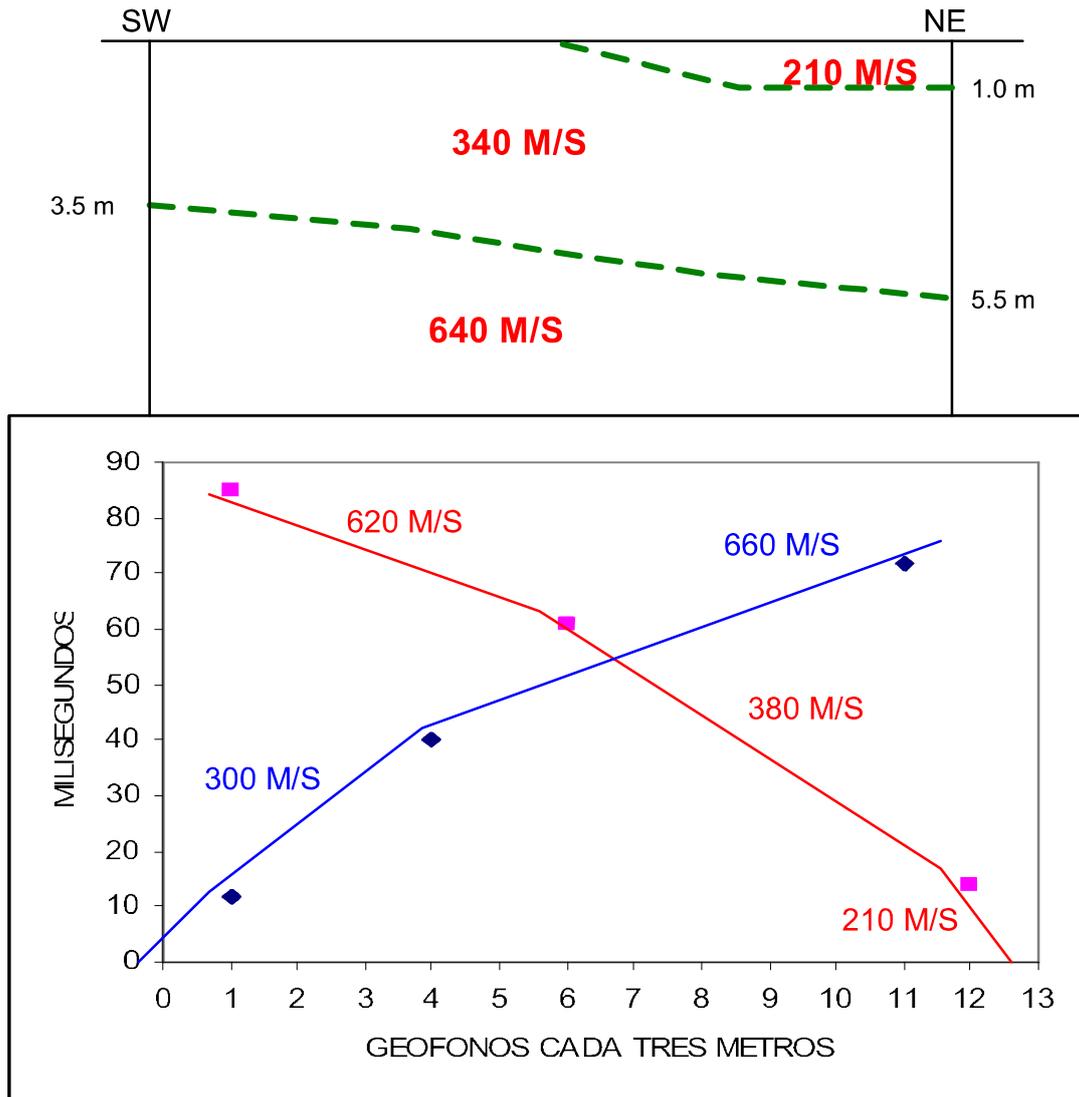


Figura 6.6 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-4.

6.3.3.5. Línea sísmica L-5

Se corrió cerca a la Guardería El jardín (Foto 6.9), en dirección W-E y coordenadas N:993424,814-E:1108392,519 y N:993312,874-E:1108380,417 con una longitud de 40 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 – 1.30	220	Depósitos Aluviales.
1.00 – 6.00	390	Depósitos Aluviales.
> 6.00	980	roca.



Foto 6.9 Localización línea de Refracción Sísmica L-5, cerca de la Guardería El Jardín.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.30 metros y velocidad del orden de 220 metros/segundo, correlacionable con gravas, arenas, limos y arcillas transportadas de consistencia muy blanda. El segundo horizonte se correlaciona con el mismo tipo de material, alcanza una profundidad de 6.00 metros y velocidad de 390 metros/segundo, de consistencia dura. El basamento está constituido por rocas meteorizadas con velocidad de 980 metros/segundo, de consistencia dura.

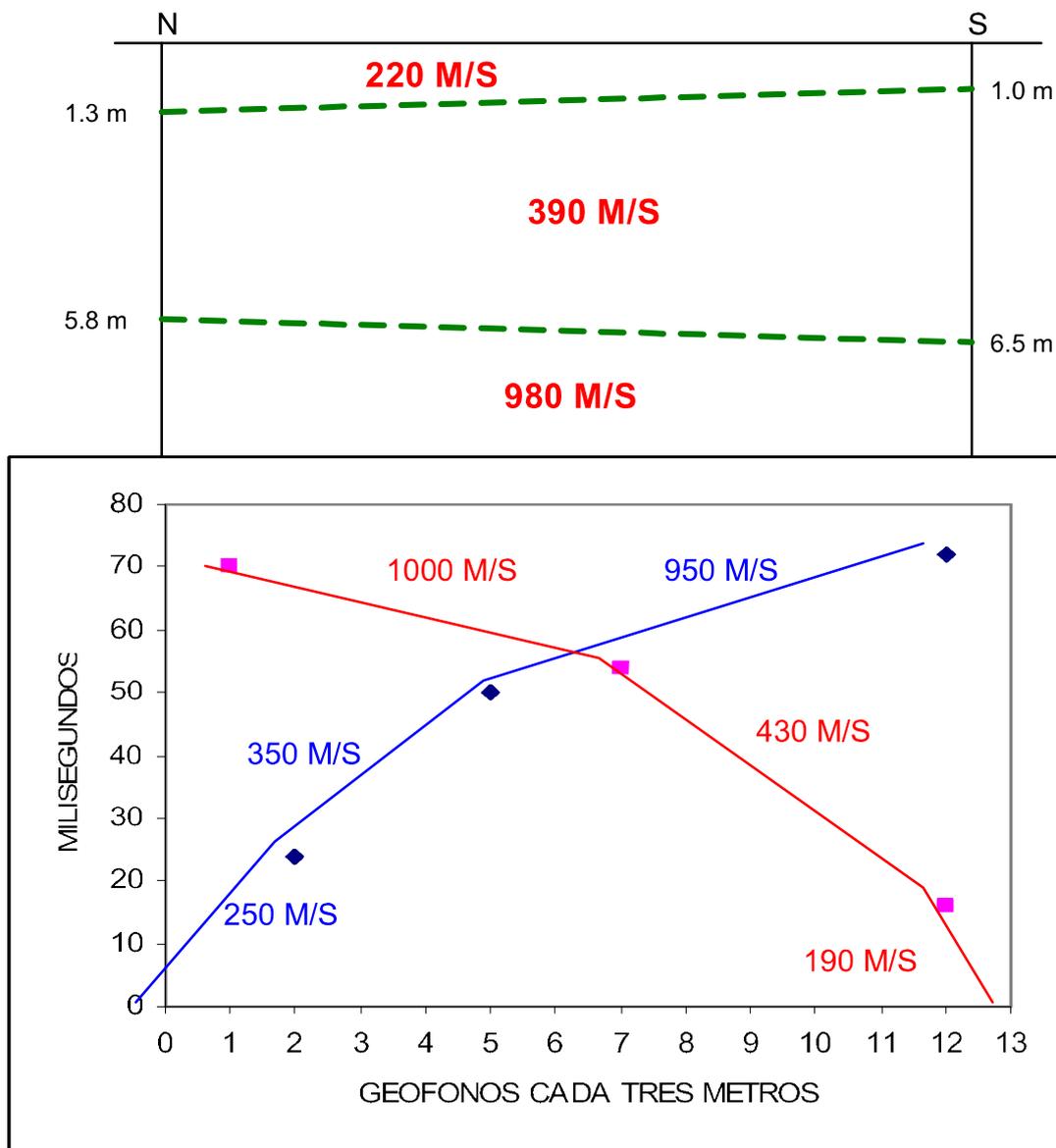


Figura 6.7 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-5.

6.3.3.6. Línea sísmica L-6

Se corrió cerca a la Iglesia Evangélica Pentecostal (Foto 6.10), en dirección E-W y coordenadas N:993154,039-E:1107841,892 y N:993131,348-E:1107967,447, con una longitud de 40 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 – 2.00	290	Depósitos piroclásticos.
> 2.00	720	roca meteorizada.

Resultados que nos define dos horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 2.00 metros y velocidad de 290 metros/segundo, correlacionable con Depósitos piroclásticos de consistencia dura. El basamento alcanza velocidades de 720 metros/segundo, correlacionable con rocas diabásicas meteorizadas pertenecientes a la Formación Volcánica.



Foto 6.10 Localización Línea Sísmica L-6, cerca a la Iglesia Evangélica Pentecostal.

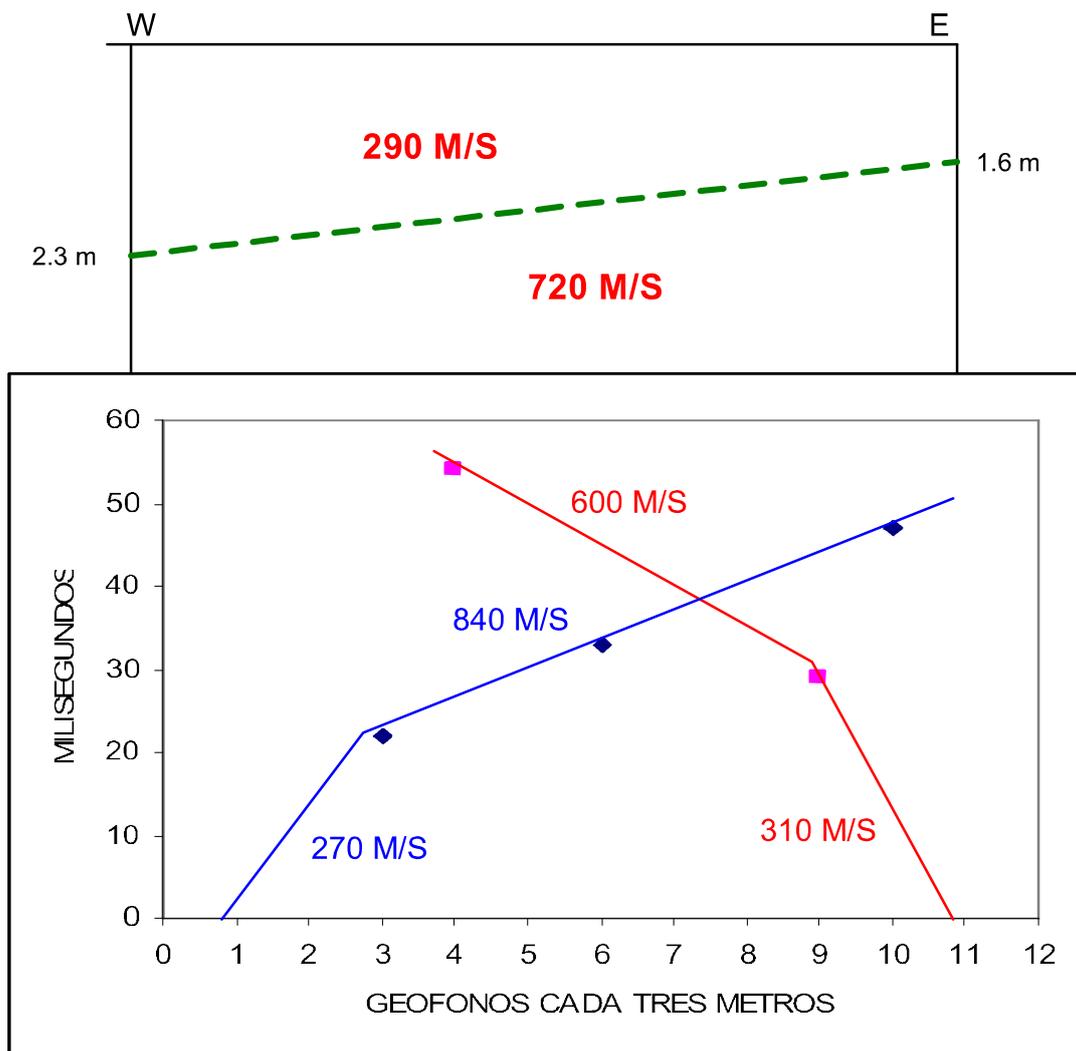


Figura 6.8 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-6.

6.3.3.7. Línea sísmica L-7

Se corrió al occidente de la cabecera municipal en la vía que conduce al Municipio de El Águila (Foto 8.11), en dirección W-E y coordenadas N:992893,853-E:1107557,503 y N:992881,751-E:1107442,537, con una longitud de 40 metros. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.9).

Profundidad (m.)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – (2.00)(2.90)	270	Depósitos piroclásticos.
> 2.00 W	450	Depósitos piroclásticos.
> 2.90 E	820	Basamento.



Foto 8.11 Localización Línea de Refracción Sísmica L-7, al occidente de la cabecera municipal.

Resultados que nos define tres horizontes de velocidad; los dos primeros corresponden a los Depósitos Piroclásticos, alcanzando profundidades de 2.90 metros con velocidad de 270 metros/segundo, correlacionable con materiales de consistencia media, al occidente de la línea de refracción sísmica se define un horizonte de 450 metros/segundo, muy posiblemente corresponde a roca muy meteorizada de consistencia media-dura. El basamento se correlaciona con rocas diabásicas pertenecientes a la Formación Volcánica de consistencia muy dura y velocidad del orden de 820 metros/segundo.

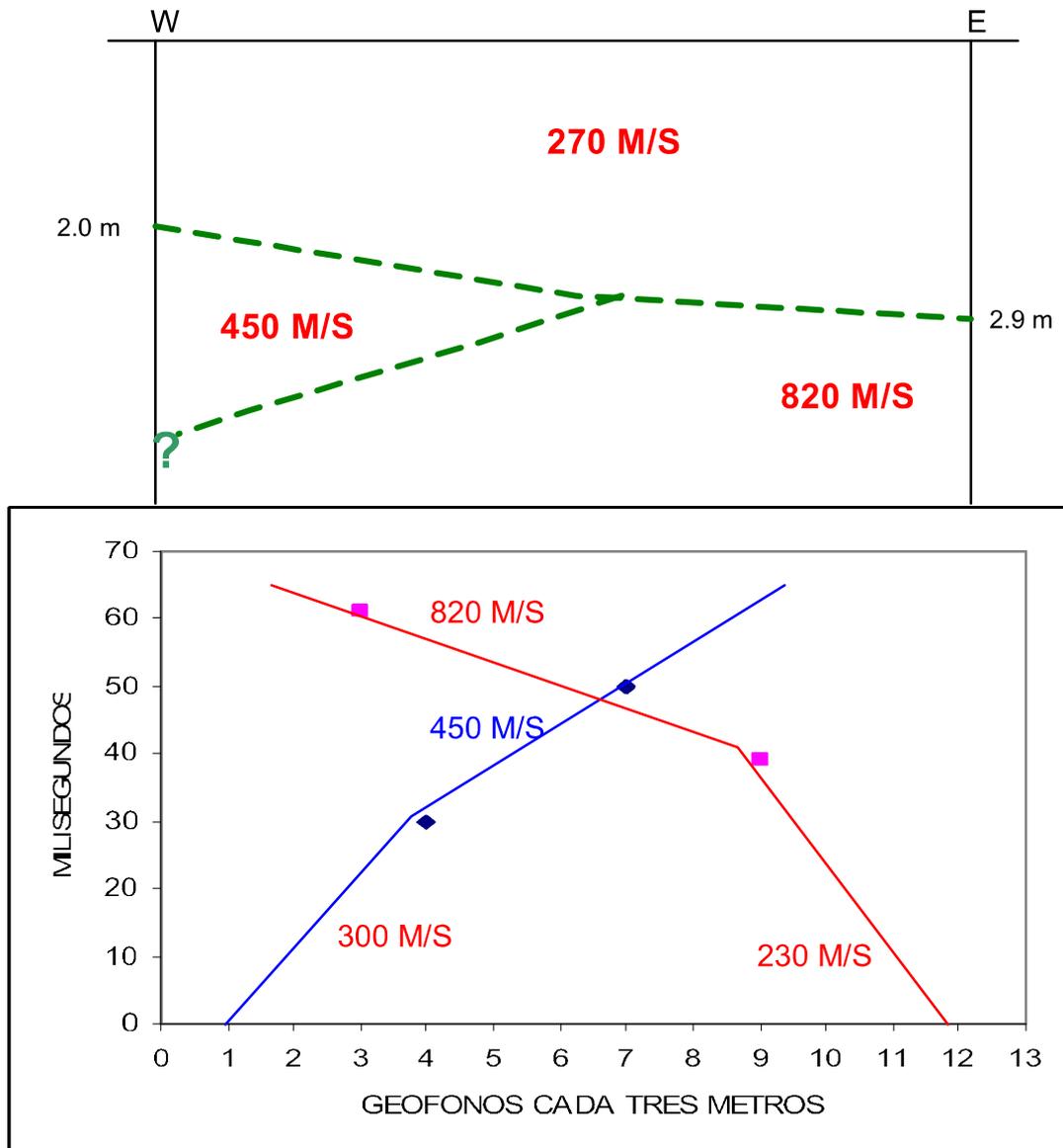


Figura 6.9 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-7.

6.3.3.8. Línea Sísmica L-8

Se corrió al suroccidente de la cabecera municipal (Foto 6.12), en dirección NE-SW y coordenadas N:992697,201-E:1108111,155 y N:992548,955-E:1108074,850, con una longitud de 40 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 (p/s)	Correlación Litológica
0.00 – (1.30)(2.90)	310	Depósitos Aluviales.
> (1.30)(2.90)	550	Depósitos Aluviales?



Foto 6.12 Localización Línea de Refracción Sísmica L-8, al suroccidente de la cabecera municipal.

Resultados que nos define dos horizontes de velocidad; el primero alcanza una profundidad de 1.30 a 2.90 metros y velocidad del orden de 310 metros/segundo, correlacionable con gravas, arenas, limos y arcillas de consistencia de consistencia media. El segundo horizonte muy posiblemente corresponde a los depósitos Aluviales con velocidad de 550 metros/segundo de consistencia dura, en caso de no suceder corresponderá a la roca diabásica meteorizada perteneciente a la Formación Volcánica.

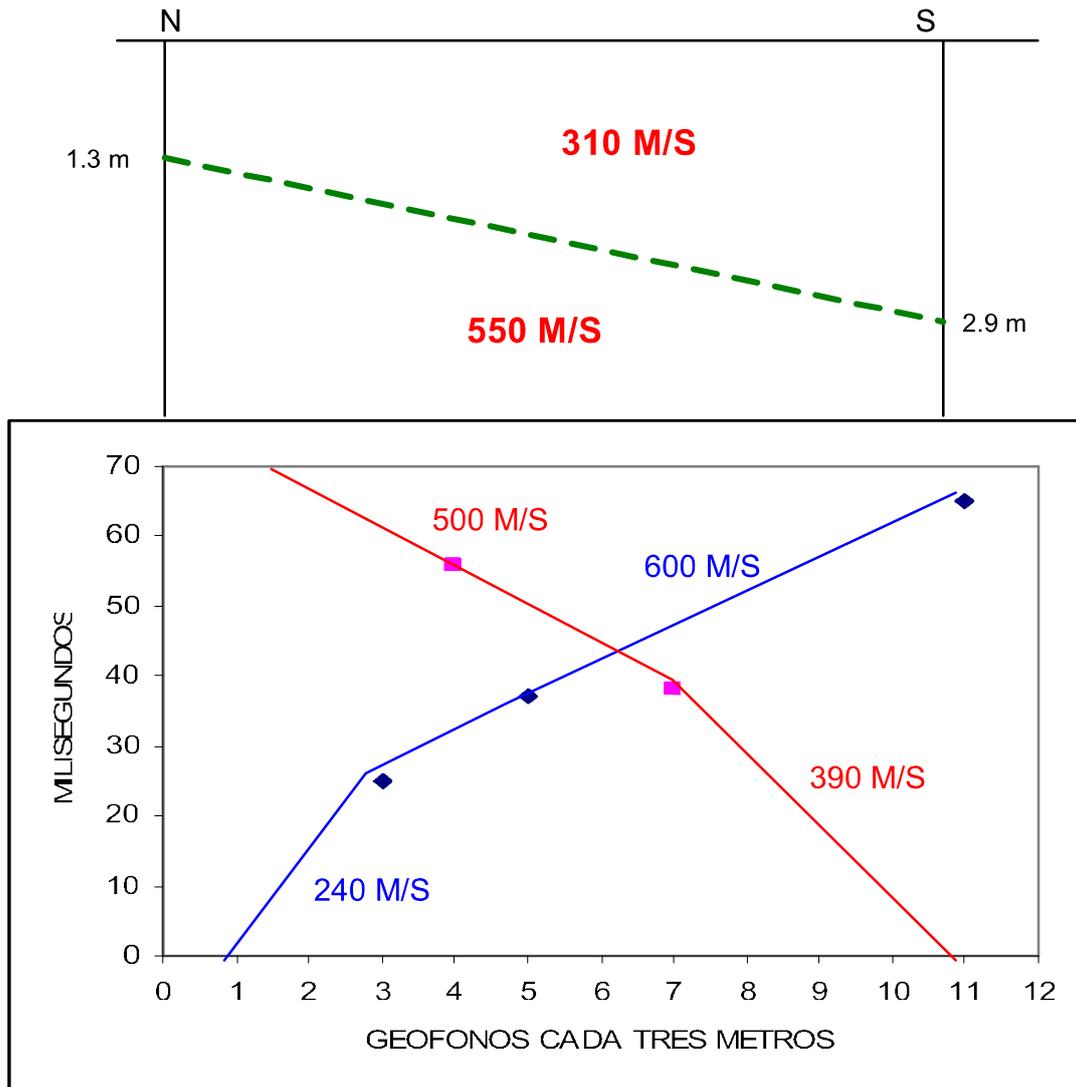


Figura 6.10 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-8.

6.3.3.9. Línea Sísmica L-9

Se corrió al oriente de la cabecera municipal (Foto 8.13), en dirección W-E y coordenadas N:992902,929-E:1109478,645 y N:992863,599-E:1109634,454, con una longitud de 40 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 (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 2.00	270	Depósitos Aluviales.
> 2.00	400	Depósitos Aluviales.



Foto 6.13 Localización Línea de Refracción Sísmica L-9, al oriente de la cabecera municipal de La Unión.

Resultados que nos define dos horizontes de velocidad, los cuales se correlacionan con materiales pertenecientes a Depósitos Aluviales, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, con velocidades del orden de 270 a 400 metros/segundo, de consistencia blanda a media, la profundidad del primer horizonte es de 2.00 metros. No se define el basamento rocoso, indicándonos que se presenta a profundidades mayores de 15.00 metros.

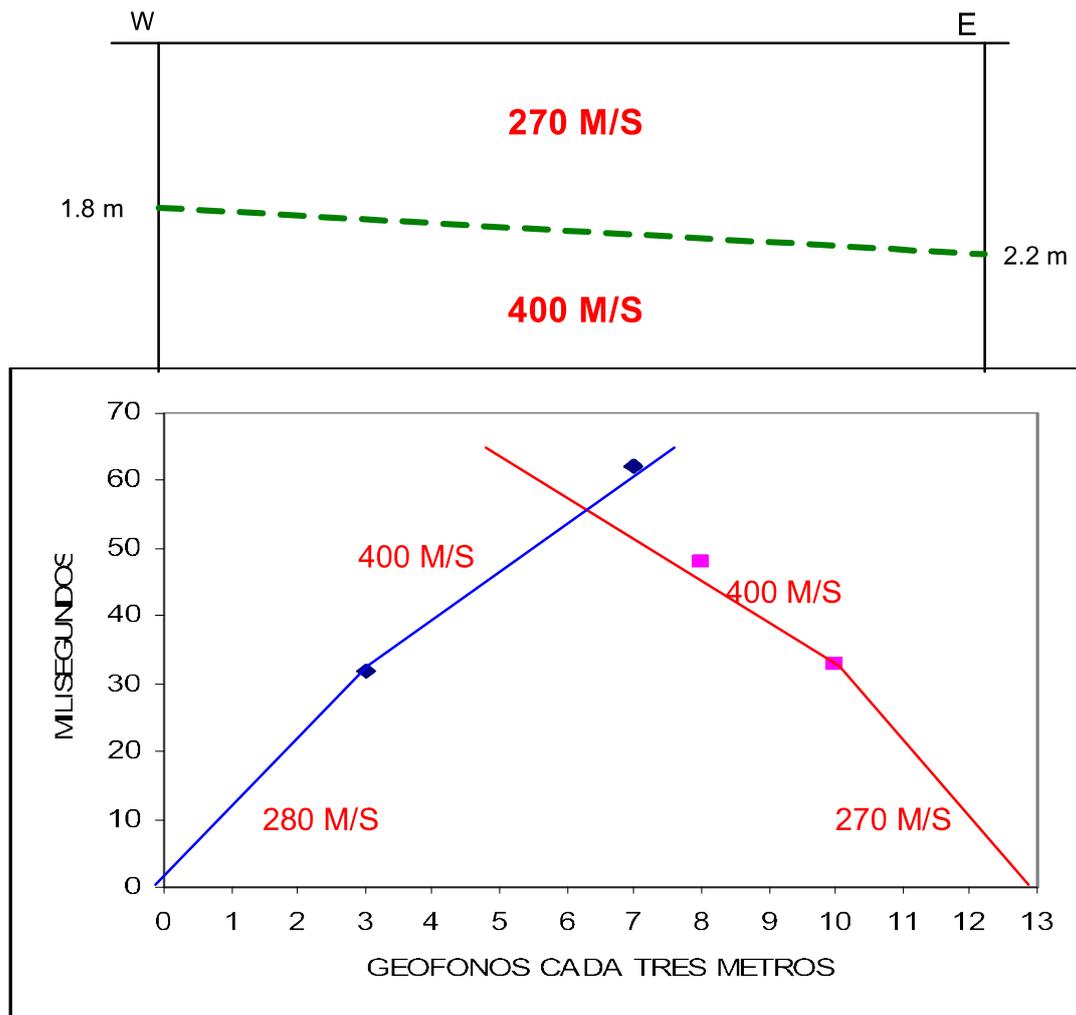


Figura 6.11 Dromocrónica Línea de Refracción Sísmica L-9.

6.3.3.10. Línea Sísmica L-10

Se corrió cerca a la cancha de fútbol, en dirección N-S (Foto 8.14) y coordenadas N:992551,980-E:1108613,374 y N:992440,040-E:1108623,963, con una longitud de 40 metros, para generación de la onda se utilizó mazo y platina. La interpretación de la dromocrónica permite plantear la siguiente solución (Figura 6.12).

Profundidad (m.)	Velocidad (m/s)	Correlación Litológica
0.00 – 1.00	180	Suelo orgánico y Depósitos Aluviales.
1.00 – 4.00 S 1.00 – 6.70 N	410	Depósitos Aluviales.
> (4.00)(6.70)	800	Depósitos Aluviales o Roca meteorizada.



Foto 6.14 Localización Línea de Refracción Sísmica L-10

Resultados que nos definen tres horizontes de velocidad, el primer horizonte alcanza una profundidad de 1.00 metro y velocidad de 180 metros/segundo, correlacionable con suelos orgánicos color café claro, de consistencia muy blanda, donde el ensayo de penetración estándar arroja de 2 a 5 golpes/pie. El segundo horizonte alcanza profundidades entre 4.00 y 6.70 metros con velocidad de 410 metros/segundo, correlacionable con Depósitos Aluviales, donde el ensayo de penetración estándar arroja entre 9 a 30 golpes/pie. El tercer horizonte corresponde al Depósitos Aluvial saturado o a rocas diabásicas meteorizadas con velocidad de 800 metros/segundo, de consistencia dura a muy dura, mayor de 30 golpes / pie de acuerdo al ensayo de penetración estándar.

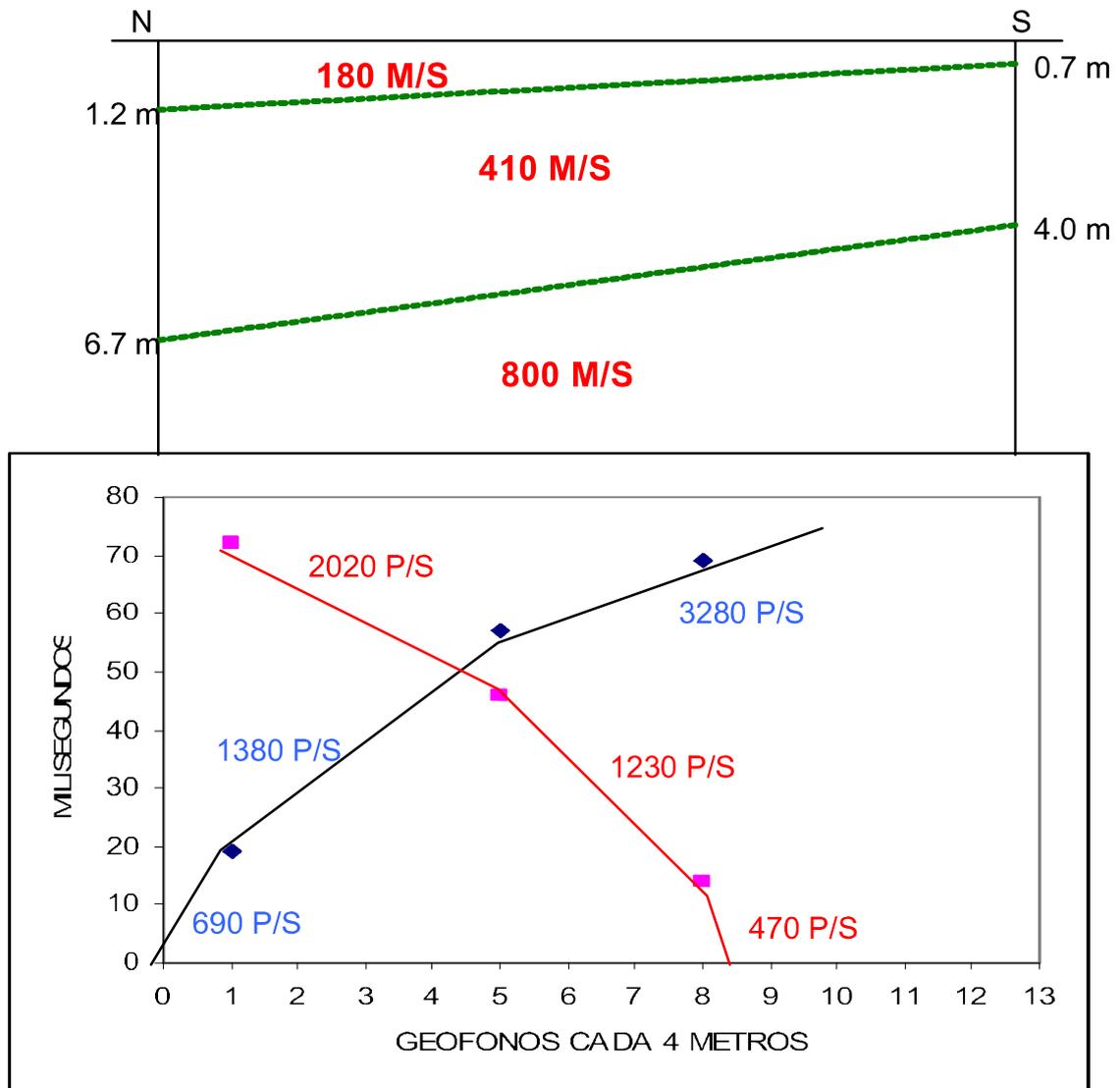


Figura 6.12 Interpretación Dromocrónica L-10.

7. HIDROLOGÍA

7. HIDROLOGÍA

El presente capítulo es el resultado del trabajo realizado por el grupo de Hidrología en el municipio de La Unión, 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 La Unión se encuentran, la revisión de información secundaria, recolección y análisis de información hidrometeorológica de estaciones cercanas, para lo cual se consultó algunas instituciones como CVC, CENICAFE e IDEAM. Se realizaron dos visitas al municipio, la primera de reconocimiento de la zona, la evaluación del uso del suelo en la parte alta de la cuenca, pruebas de infiltración, levantamiento de los perfiles de suelo en el casco urbano y en las zonas de expansión, además se aforó la quebrada la Unión y la quebrada Rincón 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. En la segunda visita se evaluó los usos del suelo en la zona urbana y de expansión.

En la evaluación hidrometeorológica de la zona de estudio se revisó y seleccionó algunas estaciones cercanas, a partir de las cuales se desarrolló el análisis temporal y espacial de la precipitación y se calculó las precipitaciones máximas, el régimen de humedad en la zona, generando algunos mapas con isoyetas para el municipio y por último se hizo el análisis de intensidad-frecuencia-duración de las lluvias máximas.

7.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN

7.1.1. Información hidrológica recopilada

De acuerdo con el POT- 2000; el municipio presenta dos periodos anuales de fuertes lluvias (de invierno) y dos periodos secos o de lluvias menores (de verano). La pluviosidad promedio varía entre los 800 mm y los 1200 mm. Los periodos más lluviosos son los de marzo a Junio y Septiembre a Noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso con una precipitación mensual promedio de 780 mm, además las zonas cálidas y frías son las que reciben mayor cantidad de precipitación. Los periodos menos lluviosos son los de Diciembre a Febrero y Julio a Agosto, siendo el mes de Enero el menos lluvioso con una precipitación mensual promedio de 190 mm.

La Unión se encuentra en la margen occidental del cauce del río Cauca, siendo este el límite oriental del Municipio. La red hidrográfica del municipio se desplaza desde la Cordillera Occidental, en sentido oeste-este y desemboca en el Canal Interceptor del Distrito de Riego R.U.T. La red al sur-occidente del municipio está conformada principalmente por las quebradas La Unión, y El Lucero, además de los zanjones El Negro y las Palmas, todos estos drenan sus aguas a través de un canal artificial que se deriva de la quebrada La Despensa, al interior del municipio y finaliza en el canal interceptor distrito de Riego RUT. Por otra parte la principal red hídrica al nor-occidente del municipio es la Quebrada Rincón que igualmente entrega sus aguas al canal interceptor. Cabe mencionar

que por la parte central del municipio se encuentra el Zanjón Los Muertos o Aguas Negras, este canal cuenta con un área aferente pequeña y con un embalse en la Zona occidental de la cabecera municipal.

7.2. MEDICIONES Y DETERMINACIONES DE CAMPO

7.2.1. Visita 1; Reconocimiento inicial de la zona de estudio

En la visita realizada al municipio de la Unión el día 23 de septiembre de 2009, el grupo de hidrología fue atendido por el secretario de planeación de la localidad el doctor José Gabriel Arroyave, el cual facilitó personal de la Umata para el acompañamiento en el trabajo de campo, el cual consistió en el reconocimiento de los usos del suelo, realización de pruebas de infiltración y aforo en sitios de interés del proyecto, también se hizo visitas a estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio .

En la Foto 7.1 se observó uno de los principales problemas que afectan al municipio de La Unión, la torrencialidad de sus fuentes hídricas, ya que son quebradas de alta pendiente que en época de verano tienen poco caudal, pero que en invierno producen inundaciones y deslizamientos, este aspecto combinado con la poca cobertura boscosa presente en esta zona facilita los procesos de erosión.



Foto 7.1 Zona alta quebrada La Unión.

Dentro de las actividades económicas predominantes en la zona alta del municipio de La Unión esta la actividad ganadera, en la Foto 7.2 se observa la erosión en el suelo debido al paso de las vacas en zona de ladera, lo cual incrementa los procesos de remoción y deslizamiento.



Foto 7.2 Erosión debido a la actividad ganadera, sector La Despensa.

En el 2006 una lluvia de aproximadamente 1 hora y 15 minutos de duración aumentó el caudal del cauce de la quebrada Paramillo lo que generó la destrucción del puente. En la Foto 7.3 se presenta el nuevo puente sobre la quebrada Paramillo.

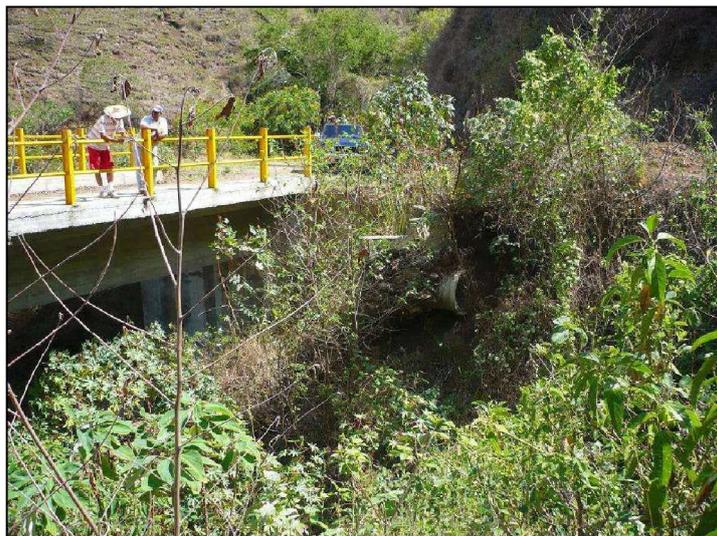


Foto 7.3 Quebrada de Paramillo afluente de la quebrada La Unión, Sector el Recuerdo.

En la vía la Unión - Versalles (Foto 7.4) se observó algunos incendios forestales producidos principalmente por acción antrópica, la disminución de esta cobertura vegetal facilita los procesos de erosión hídrica en época de invierno.



Foto 7.4 Incendios – vía entre el municipio de la Unión y el municipio de Versailles.

7.2.2. Visita 2; Reconocimiento del uso del suelo

Durante las visitas técnicas a cada uno de los municipios, se realizó 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, analizando permanencias y cambios del uso del suelo en el área urbana y de expansión del municipio, en esta última se hizo uso del GPS y fotografías (aéreas y en el campo) para delimitar áreas y cambios de uso. Por último, se adecuó las delimitaciones previas y establecidas en el trabajo de campo a un sistema único de clasificación de uso de suelo.

El municipio de La Unión tiene una gran particularidad, en comparación a los otros municipios, dentro del perímetro urbano se presenta una mezcla de usos del suelo urbano y muy relevante cantidad de actividades agrícolas productivas. Esto debido a la influencia de la importante firma Casa Grajales en el municipio, una industria de vinos y frutales que concentra e impulsa la mayor parte de producción agrícola de esa parte de la región (Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, Zarzal, La Victoria y el corregimiento de Ricaurte).

7.2.3. Uso actual del suelo

Inicialmente se reconoció el terreno y algunas de sus características mediante trabajo de campo y cartografía básica. Se conceptualizó 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 para las necesidades de la comunidad. 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 el levantamiento de información espacial antes mencionado, se obtuvo información georeferenciada de asentamientos urbanos y sus respectivos atributos, ver Figura 7.1. Posteriormente se utilizó el software ArcGIS 9.2 para digitalizar las coberturas y definir el sistema de coordenadas. Las siguientes imágenes muestran el uso de suelo en el municipio de La Unión:



En la parte periférica del municipio, aún dentro del perímetro urbano, se presentan grandes extensiones de cultivos, predominando el de uva, melón, maracuyá, papaya y pepinos. A pesar de haber unidades de vivienda dispersas en las parcelaciones, se consideran que estas hacen parte de la misma dinámica de las fincas productivas de los minifundios, denominando estas áreas como usos agrícolas.

Foto 7.5a-b Uso de suelo en el municipio de La Unión (Barrio El Carmen).

Estas zonas pueden considerarse como zonas suburbanas que están en proceso de consolidación sin embargo el municipio debe tener como un objetivo en la planeación municipal conservar este tipo de actividades agrícolas en el municipio. Actividades que se presentan no solo en las partes periféricas:



Foto 7.6a-b Cultivos en pequeñas áreas de viviendas.

La zona que está delimitada como zona de expansión, que básicamente lo constituye los barrios la campesina alta y baja, presentan muchas similitudes con el barrio El Carmen. En cuanto que ya hay consolidaciones de producción agrícola. Además la mayoría de las casas tiene servicios públicos. Aún son muy difusos los criterios que el municipio tiene como zonas de expansión y las zonas que se incluyen en el perímetro urbano. Se sugiere hacer una revisión de estos criterios. Sin embargo no todas las áreas del municipio son productivas, hay grandes extensiones de áreas urbanizables que aún no están edificadas y en las que se puede y se está consolidando usos residenciales, como puede observarse en las fotos 7.7 y 7.8.



Foto 7.7 Sector Pasoancho, cerca del ancianato.



Foto 7.8 Via a San Luís, zona urbanizable.

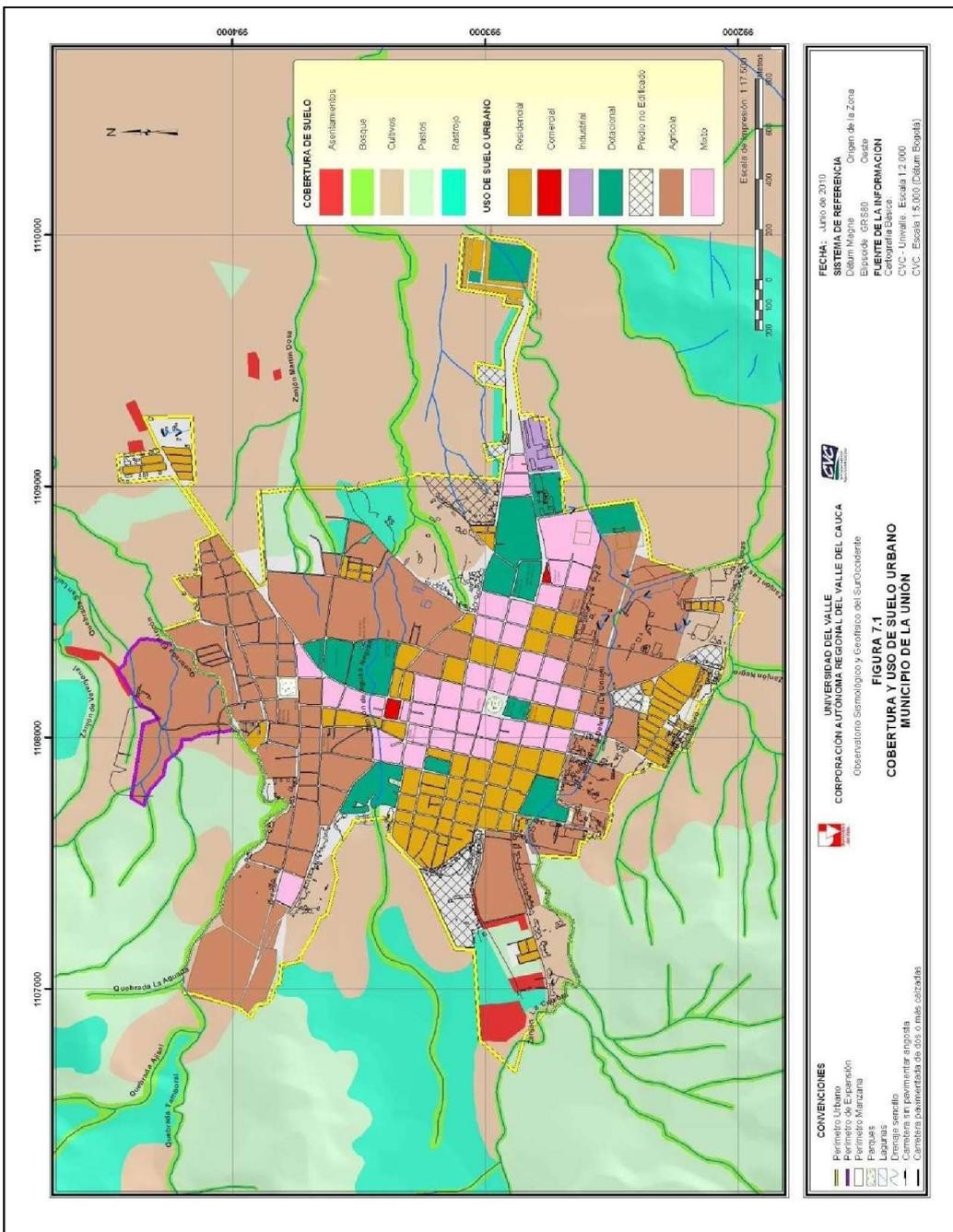


Figura 7.1 Mapa de Uso actual y cobertura del suelo.

En la Tabla 7.1 se muestran los porcentajes de uso del suelo, siendo la de uso agrícola la predominante en el municipio, como se mostraba anteriormente en el reconocimiento de campo, el mapa de uso actual (Figura 7.1) y en el registro fotográfico. Inclusive muchas manzanas urbanas en cercanías al centro de la ciudad, tienen en sus solares cultivos, donde la actividad residencial toma la tercera categoría de predominante, sobre todo esta se distribuye en la parte central de la zona urbana y en sectores aislados, en términos de continuidad espacial, que corresponden a urbanizaciones tanto de lotes con servicios como casas prefabricadas. En comparación con los predios urbanizables que aún no han sido edificados, nos dice que el municipio cuenta con grandes zonas de expansión dentro del perímetro urbano.

Los usos comerciales aparecen en menor porcentaje, debido a la zonificación en manzanas, la mayor parte de estos están dentro de los usos mixtos. A excepción de unidades de manzana que están claramente definidas en su totalidad por un uso comercial, como es el caso de estaciones de gasolina.

Tabla 7.1 Áreas de uso de suelo (zona del proyecto).

Uso del suelo	Área (Ha)	Porcentaje
Predio urbanizable no urbanizado	59,8263	21,9
Agrícola	118,0735	43,1
Comercio	0,4064	0,1
Dotacional	12,9063	4,7
Industrial	2,2157	0,8
Mixto	26,0669	9,5
Residencial	54,2653	19,8

7.2.3.1. 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

Desde puntos estratégicos se apreció la panorámica del municipio desde el occidente hacia el oriente y sur-occidente, desde donde se identificaron cultivos principalmente de uva, posteriormente y recorriendo la zona en detalle se encontraron cultivos de maracuyá y guayaba. (Ver Foto 7.9). También se encontró un área en rastrojos en la ladera oriental del piedemonte de la cordillera occidental y se marcaron algunas áreas de asentamientos (Ver Foto 7.10).

Se levantó la información de cobertura de suelo a la quebrada El Rincón y Alisal, correspondiente a bosque. (Ver Foto 7.11). En la parte plana del municipio se encontró que la cobertura de suelo principal corresponde a cultivos de uva; pimentón, guayaba, papaya, entre otros en menor proporción y en el piedemonte de la cordillera occidental la cobertura predominante son los pastos; en las quebradas se encuentran coberturas de suelo de bosque de ribera poco significativo y algunas áreas en rastrojos. (Ver Fotos 7.12 y 7.13).



Foto 7.9 Vista al sur.



Foto 7.10 Ladera oriental Cordillera Occidental.

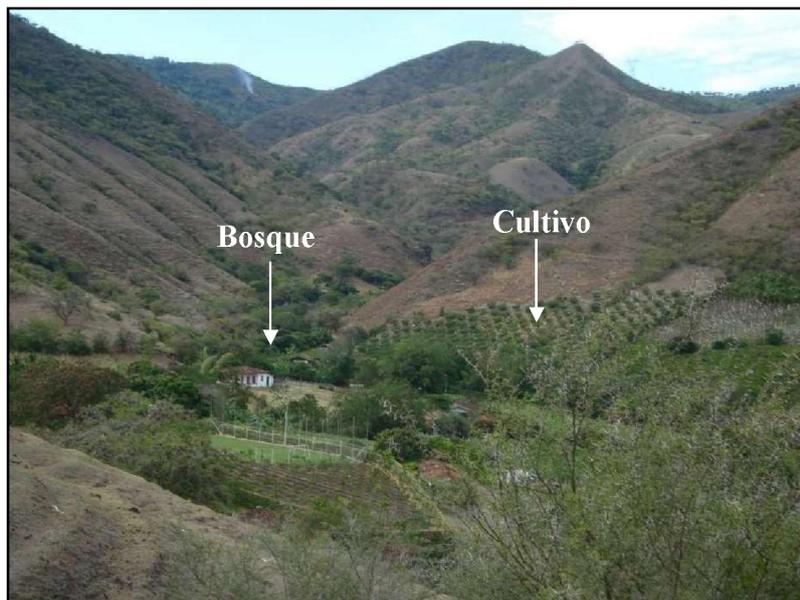


Foto 7.11 Vista al nor-occidente.



Foto 7.12 Vista al sur-occidente.

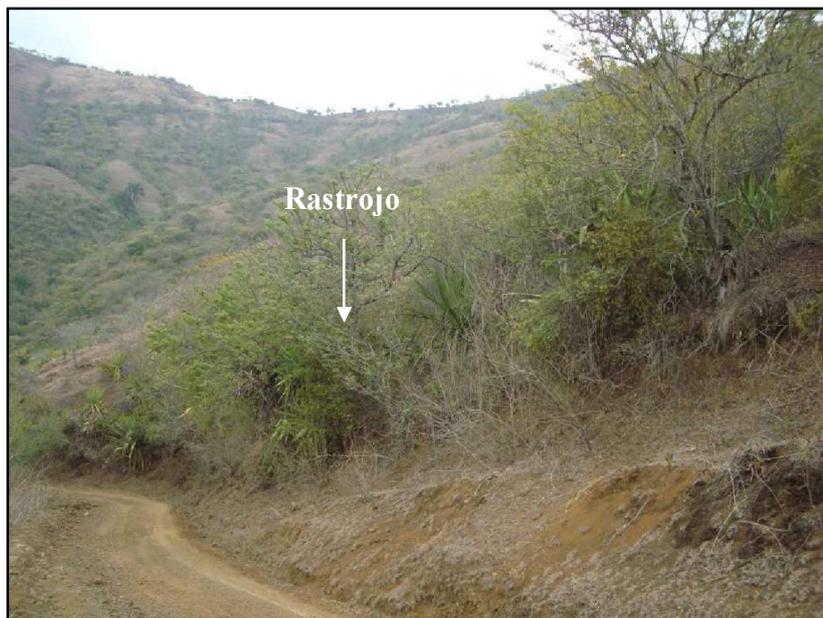


Foto 7.13 Ladera oriental de la Cordillera Occidental.

7.2.4. 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.

7.2.4.1 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 CVC³, 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 caso utilizaremos solo los sistemas de ladera y de la región plana que abarcan los municipios objetos de estudio del proyecto.

³ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1997. Estudio General de suelos zona andina (Unidades de Suelo). Cali, Colombia.

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 Estados 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 La Unión.

Código uso potencial	Uso potencial	Área en m	Ha	Porcentaje
AF	Tierras para recuperación	4339805,85	433,98	22,2
C1	Tierras para cultivos limpios	10530,66	1,05	0,1
C1-F1	Tierras para cultivos limpios - Tierras forestales de producción	118818,91	11,88	0,6
C2	Tierras para cultivos semilimpios	359106,63	35,91	1,8
C2-F1	Tierras para cultivos semilimpios - Tierras forestales de producción	132278,84	13,23	0,7
C3	Tierras para cultivos densos	259250,35	25,93	1,3
C3-F1	Tierras para cultivos densos - Tierras forestales de producción	129969,83	13,00	0,7
C4	Tierras para cultivos en multiestrato	500870,20	50,09	2,6
C4-F1	Tierras para cultivos en multiestrato - Tierras forestales de producción	40626,18	4,06	0,2
F2	Tierras forestales de producción - protección	6023,75	0,60	0,0
F3	Tierras forestales de protección	2304442,83	230,44	11,8
IIIs	Clase agrológica IIIs	903596,64	90,36	4,6
IIs	Clase agrológica IIs	4723261,76	472,33	24,2
INF	Infraestructura	185419,77	18,54	0,9
IVes	Clase agrológica IVes	1992395,04	199,24	10,2
P	Tierras para praderas de pastoreo	1746496,13	174,65	8,9
ZU	Zona urbana	1785486,44	178,55	9,1
		19538379,83	1953,84	

Las nueve primeras clases están asociadas a la clasificación de uso potenciales en la zona de laderas, estas muestra una participación menor de esta zona respecto al área estudiada. En la zona de ladera podemos identificar que los mayores usos a que se pueden destinar el

emplazamiento son áreas de recuperación (AF) con un 22,2 % 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 la zona plana generalmente se dan algunas potencialidades agrícolas concretamente IIs con el 24,2% y la clase agrícola IVs con 10,2%. 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 muestra el mapa de uso de potencial de suelo.

7.2.5. Conflicto del 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.

Grado de conflicto	Área en m²	Ha	Porcentaje
Alto	4580935,75	458,093575	23,44
Infraestructura	185419,76	18,5419765	0,94
Sin conflicto	12986537,81	1298,65378	66,46
Zona urbana	1785486,48	178,548648	9,13
	19538379,81	1953,83798	

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 7.3, ilustra los conflictos de uso del suelo en La Unión.

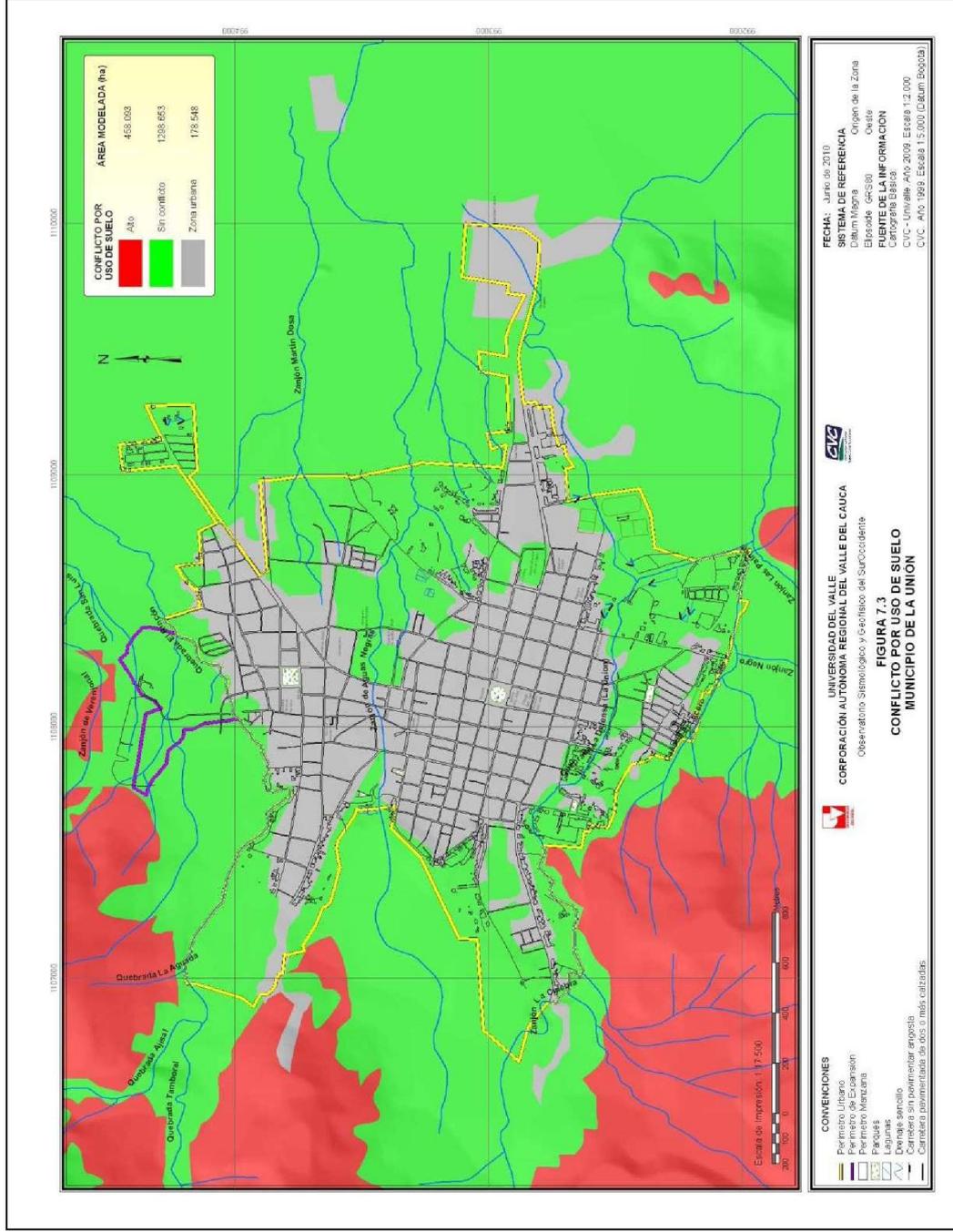


Figura 7.3 Mapa de conflictos de uso de suelo. Municipio de La Unión.

7.2.5. Evaluación de la infiltración y perfiles del suelo

Se realizó un total de 8 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 Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. En la Figura 7.4 se presentan los puntos de las pruebas de infiltración realizados en el municipio de La Unión.

Tabla 7.3. Clasificación de la velocidad de infiltración

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

Fuente: IGAC- 1990

Para facilitar la interpretación de la variación espacial de la infiltración de los suelos de la zona de estudio, se asigna los siguientes rangos: Infiltración Lenta menores a 1,0 cm/hora, Infiltración Media entre 1.0 y 10.0 cm/hora e Infiltración Rápida mayores a 10.0 cm/hora. En cada uno de los puntos donde se evaluó la infiltración, se desarrolló dos pruebas simultáneas con el fin de corroborar la información. En la Tabla 7.4 se presenta la nueva clasificación.

Tabla 7.4. Rango y calificación general de la velocidad de infiltración.

Velocidad de infiltración (cm/hora)	Interpretación	Color
< 1	lenta	Red
1.0 – 10	Moderada	Yellow
> 10	Rápida	Green

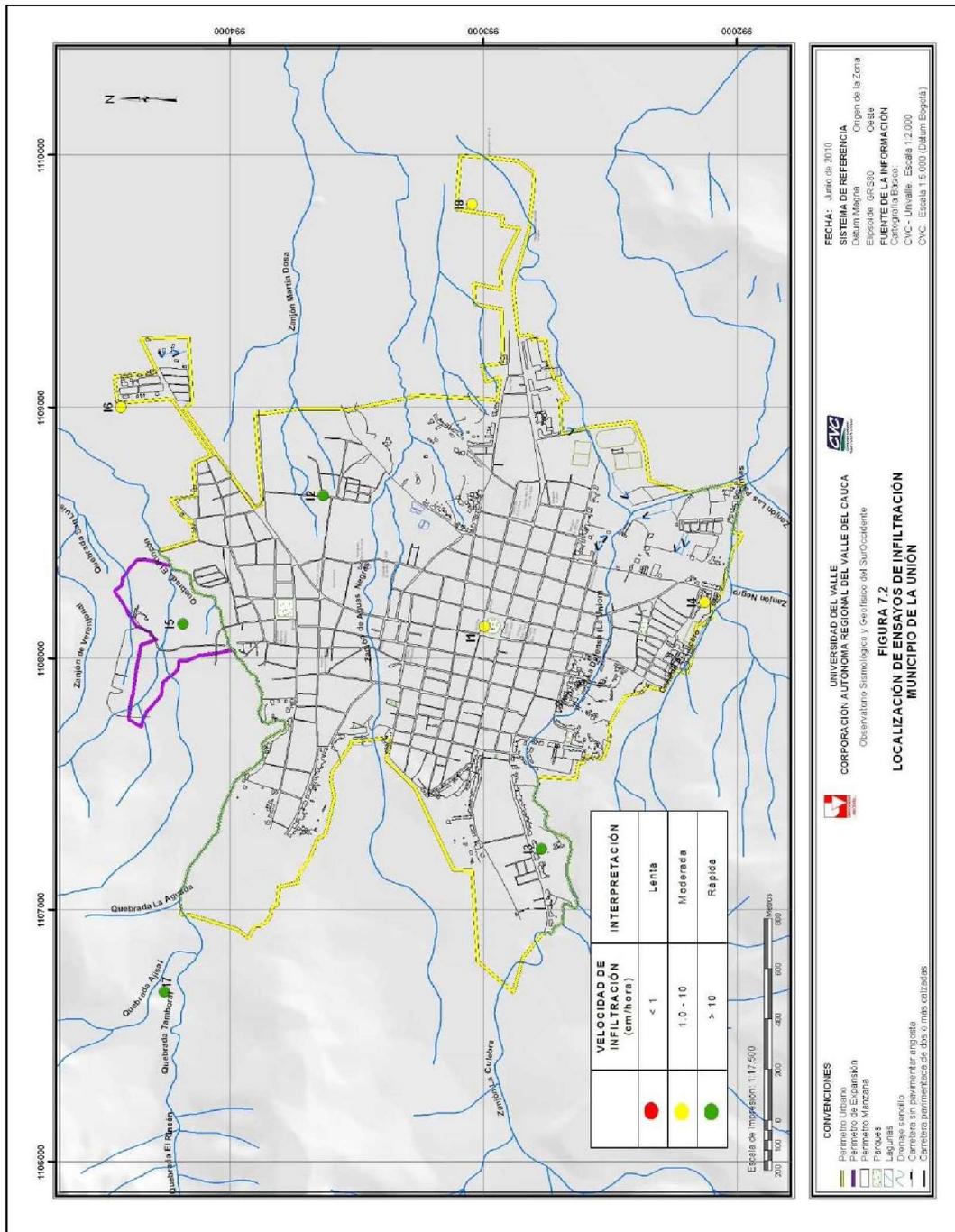


Figura 7.4 Ubicación puntos para pruebas de infiltración.

En la Foto 7.14 que se muestra a continuación se puede observar una de las pruebas con los anillos infiltrómetros en el Barrio El Amparo.



Foto 7.14 Prueba de infiltración; barrio El Amparo.

En cada uno de los puntos donde se evaluó la infiltración, se desarrolló dos pruebas simultáneas con el fin de corroborar la información. A continuación se presentan los resultados de esta prueba en el Barrio El Amparo.

Barrio El Amparo

Fecha	25/09/2009
Lugar	Barrio El Amparo
Prueba	2
Cobertura	Suelo desnudo
Latitud	4° 32' 07,4"
Longitud	76° 05' 29,1"
Altura	912 m.s.n.m.

Una vez obtenidos los datos, se organizan y procesa en Excel para poder obtener las respectivas ecuaciones y gráficas. Se aplicó el modelo matemático de Kostiakov, cuyos parámetros se determinan por medio de regresiones de tipo potencial con las cuales fue posible elaborar las curvas de velocidad de infiltración y lámina acumulada en función del tiempo (Ver Figuras 7.5 y 7.6). A continuación se presenta la ecuación de lámina de infiltración acumulada obtenida en la prueba de infiltración realizada en el Barrio El Amparo del municipio de La Unión.

$$L = 3.2674 T^{0.5998}$$

Donde:

L: Lámina de infiltración acumulada en mm.

T: Tiempo en minutos.

La siguiente ecuación representa la velocidad de infiltración en función del tiempo, la cual se obtuvo en la prueba de infiltración realizada en el sector Batallón Palacé.

$$I = 117.59 T^{-0.40}$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración en mm/hora

T: Tiempo en minutos.

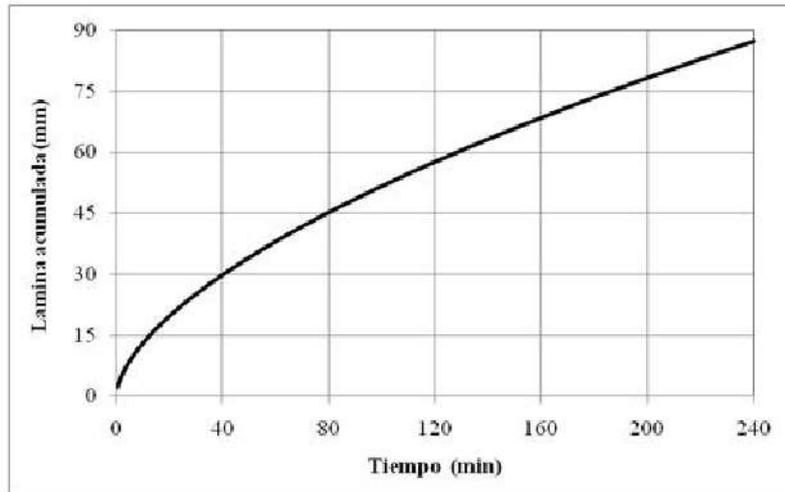


Figura 7.5 Infiltración acumulada Barrio El Amparo.

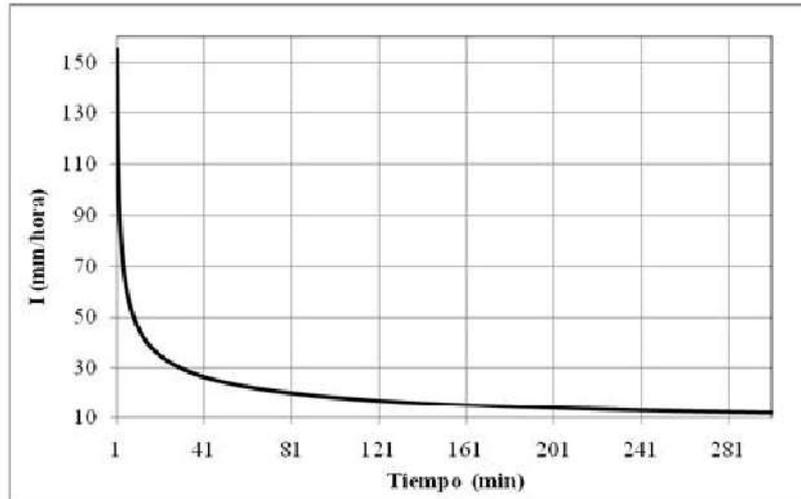


Figura 7.6 Curva de velocidad de infiltración Barrio El Amparo.

De acuerdo a la grafica de la figura anterior de velocidad de infiltración realizada en el barrio El Amparo, la infiltración básica es igual a 12 mm/h que corresponde a una infiltración moderada. A continuación se presenta el análisis del perfil del suelo, en el barrio El Amparo (Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Perfil del suelo Barrio El Amparo – Municipio de La Unión

	0 - 45 cm Presencia arenas finas y arcillas en suelo de relleno Color: Pardo claro
	45 - 90 cm Presencia arenas finas y arcillas en suelo de relleno Color: Pardo claro

En las siguientes tablas (Tabla 7.6 y 7.7) se presentan las ecuaciones de lámina infiltrada en el tiempo y velocidad de infiltración para cada uno de los puntos donde se realizó las pruebas de infiltración en el municipio de La Unión.

Tabla 7.6. Resumen pruebas de infiltración realizadas en el municipio de La Unión

Punto No	sector	Ecuación Lámina Infiltrada (mm, min)	Ecuación Velocidad de Infiltración (mm/h, min)
I ₁	Parque central	$L=6.7706 T^{0.53040}$	$I=215.47 T^{-0.47}$
		$L=3.4927 T^{0.7385}$	$I=154.78 T^{-0.26}$
I ₂	Las Brisas	$L=0.428 T^{0.614}$	$I=211.38 T^{-0.42}$
		$L=39.59 T^{0.79}$	$I=1875 T^{-0.21}$
I ₃	Fátima	$L=50.84 T^{0.77}$	$I=2338.74 T^{-0.23}$
		$L=6.7706 T^{0.53040}$	$I=1185.55 T^{-0.20}$
I ₄	Las Palmas	$L=16.09 T^{0.39}$	$I=378.37 T^{-0.61}$
		$L=16.08 T^{0.39}$	$I=378.40 T^{-0.61}$
I ₅	La Campesina	$L=20.273 T^{0.6526}$	$I=793.81 T^{-0.3474}$
		$L=28.58 T^{0.59}$	$I=1017.97 T^{-0.41}$
I ₆	Prados del Norte	$L=15.84 T^{0.49}$	$I=466.80 T^{-0.51}$
		$L=17.685 T^{0.71010}$	$I=753.49 T^{-0.29}$
I ₇	El Carmen	$L=14.47 T^{0.77}$	$I=668.16 T^{-0.23}$

Punto No	sector	Ecuación Lámina Infiltrada (mm, min)	Ecuación Velocidad de Infiltración (mm/h, min)
		$L=10.04 T^{0.678}$	$I =408.23 T^{-0.32}$
I ₈	El Amparo	$L=5.29 T^{0.67}$	$I =213.11 T^{-0.33}$
		$L =3.2674 T^{0.5998}$	$I =117.59 T^{-0.40}$

Tabla 7.7. Calificación del terreno según los datos obtenidos de infiltración

Sector	Norte	Este	Velocidad de Infiltración Básica VIB (mm/h)	Calificación
Parque central	1108127	992996	25	Moderada
Las Brisas	1108650	993630	284	Rápida
Fátima	1107242	992771	478	Rápida
Las Palmas	1108224	992127	12	Moderada
La Campesina	1108138	994185	101	Rápida
Prados del Norte	1109000	994429	85	Moderada
El Carmen	1106673	994257	118	Rápida
El Amparo	1109804	993043	22	Moderada

7.3 CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.3.1. Conformación de la base de datos hidrometeorológica

Para el estudio correspondiente a el municipio de La Unión se utilizó datos de registros históricos de precipitación de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas representativas localizadas en las subcuencas del municipio, teniendo en cuenta las estaciones de las redes de medición de CVC, CENICAFE e IDEAM.

Usando los criterios tales como cobertura, tiempo de registro (estaciones con 20 o más años de registro) y calidad de la información, se seleccionó estaciones con información de precipitación, teniendo en cuenta que el porcentaje máximo permisible de datos faltantes en una estación no puede ser superior al 10% dentro del periodo de referencia 1982 - 2007.

En la Tabla 7.8 se presenta la descripción general de las estaciones utilizadas para la caracterización hidrológica. Los datos faltantes de las series fueron estimados aplicando el método de los k vecinos cercanos. De esta forma se conformó las bases de datos georeferenciadas para la realización del análisis de la precipitación.

Tabla 7.8. Estaciones seleccionadas para el análisis de precipitaciones que cumplieron los criterios definidos de selección.

Estación	Norte	Este	Altitud msnm	Periodo Registro
El Lucero	990.950,00	1.107.479,00	976	1975-2007
El Porvenir	994.150,00	1.106.700,00	996	1967-2007
La Despensa	990.584,55	1.103.340,14	1384	1975-2007
Sabanazo	996.486,10	1.103.310,96	1643	1971-2007
Montecristo	980.245,10	1.098.323,87	1325	1971-2007
Buenvista	986.247,53	1.101.996,94	1628	1975-2007
El Aguacate	977.800,00	1.097.348,30	1394	1975-2007
El Oregano	984.029,63	1.100.251,23	1358	1975-2007
El Oso	997.943,00	1.108.504,00	1201	1975-2007
El Vesubio	1.001.445,00	1.109.579,00	958	1967-2007
La Quiebra	1.003.885,73	1.106.827,27	1487	1975-2007
Las Peñas	1.007.047,00	1.107.558,00	1718	1975-2007
Patio Bonito	998.327,00	1.101.458,83	1689	1975-2007
Centro A. La Unión	992.815,38	1.114.415,29	920	1983-2003
La Arboleda	992.809,00	1.110.715,00	1275	1983-2009
La Elvira	977.087,00	1.114.405,00	927	1983-2007

En la Figura 7.7 se muestra el número y la ubicación de estaciones utilizadas. Cabe mencionar que debido a la poca disponibilidad de información de lluvias se utilizó las estaciones La Elvira, Montecristo, El Aguacate y Las Peñas, que se encuentran un poco retiradas de la cuenca y no se visualizan en la Figura que se presenta a continuación.

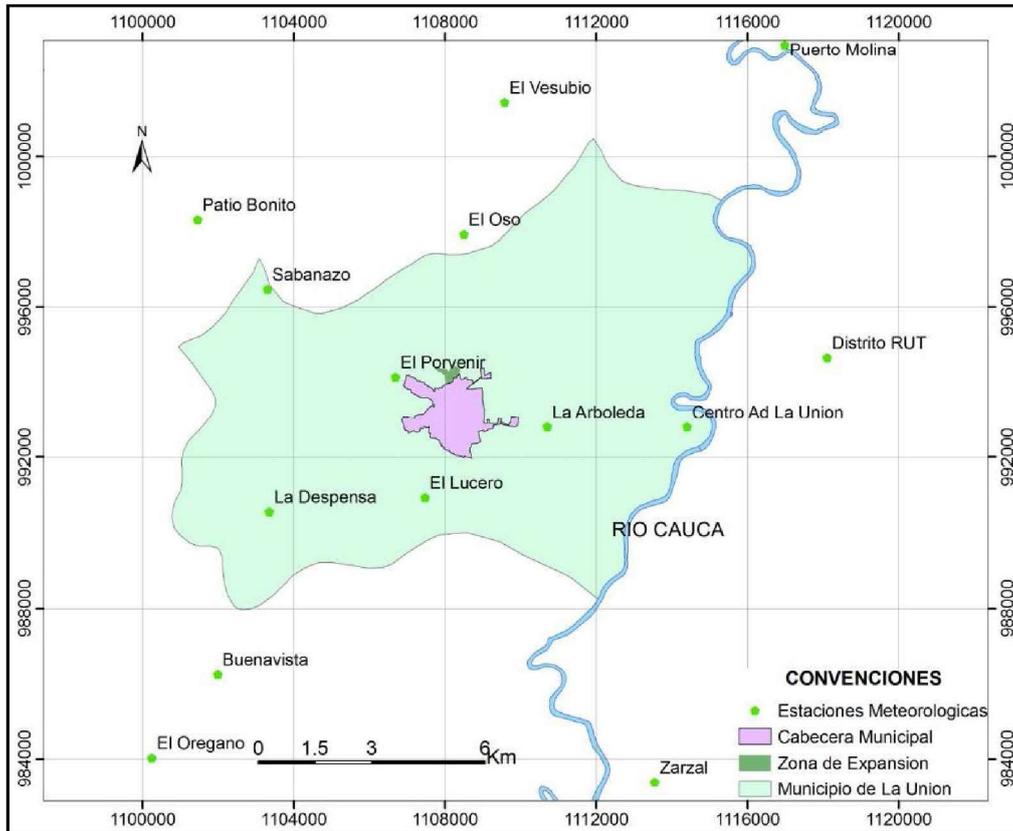


Figura 7.7 Estaciones meteorológicas utilizadas en el municipio de La Unión.

En la Foto 7.15 se presenta la estación La Despensa que pertenece a la red de CVC, esta estación se visitó en una de las salidas técnicas, donde se observó el manejo que se le da a la estación con el fin de verificar que tanto la medición de los datos como el punto de ubicación sean confiables.



Foto 7.15 Estación La Despensa; municipio de La Unión.

7.3.1.1. Verificación de la calidad de la información

En la Tabla 7.9 se presentan organizadas las estaciones de acuerdo a la proporción de datos faltantes o ausentes, lo cual se considera sumamente importante en el inicio del proyecto, ya que la observación de datos faltantes actúa como un primer filtro en el estudio de la confiabilidad de los datos.

Tabla 7.9. Porcentaje de datos faltantes de las estaciones (Base Diaria)

Estaciones	Total	Proporción	Faltantes	Proporción	Validos	Proporción
La Despensa	12419	100%	300	2,42%	12119	97,58%
El Porvenir	15341	100%	869	5,66%	14472	94,34%

En la tabla anterior se observa el periodo del cual se tiene registros de las estaciones y la cantidad de datos faltantes, así como la cantidad de registros válidos y la proporción a la cual equivalen estas cantidades, donde se encuentra que dichas estaciones cuentan con una buena cantidad de registros y además presentan unas proporciones muy bajas de datos faltantes, lo que hace a estas estaciones adecuadas para los análisis.

Se calculó los datos estadísticos de tendencia central y de dispersión con la finalidad de realizar una primera mirada al comportamiento de las series de precipitación de cada estación encontrando que las series no presentan variaciones significativas con respecto a la media y a la varianza. De acuerdo al análisis exploratorio de datos se encontró que la estación La Despensa fue la que presentó el promedio de lluvias diario más bajo.

7.3.1.2. Evaluación de Datos Extremos o Posibles Atípicos

Se comenzó evaluando los datos de precipitación extrema por medio de un intervalo de confianza a más de 3 desviaciones estándar por encima de la media. En el caso de la estación La Despensa, las precipitaciones máximas comprenden los valores diarios mayores a 100 mm, como se muestra en la figura que se presenta a continuación.

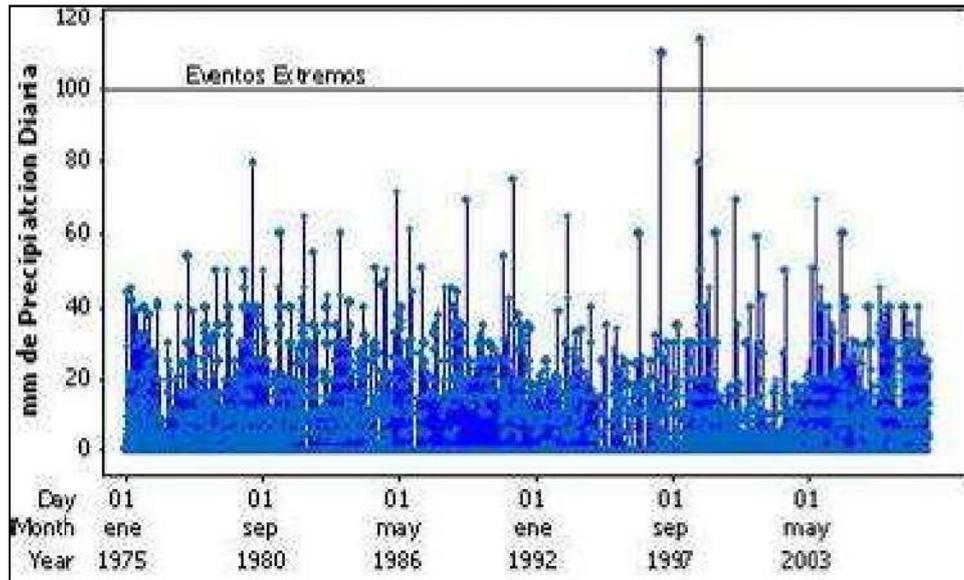


Figura 7.8 Serie temporal de la estación La Despensa, para identificar los datos extremos.

Como las estaciones estudiadas no presentan una distribución normal, se realizó pruebas no paramétricas para analizar la estabilidad de la media y la varianza en las series de precipitación. Se evidenció cambios en la media y la varianza a través del tiempo lo cual se consideró beneficioso para la investigación ya que evidencia tendencias en los comportamientos climáticos. Sin embargo, a partir de las pruebas de estabilidad se pudo concluir de acuerdo a los resultados del análisis estadístico, que las estaciones seleccionadas para el municipio La Unión pueden ser utilizadas para la aplicación del análisis hidrológico.

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 La Unión incluyendo la zona urbana y de expansión, para lo cual se utilizó 14 estaciones con registros de precipitación, las cuales se mencionan en la Tabla 7.8, que fueron seleccionadas teniendo en cuenta la cercanía con la zona de estudio y la calidad de la información.

La distribución espacial de la precipitación en el municipio de La Unión presenta un rango de variación que se encuentra entre los 1.000 mm a valores superiores a los 1.300 mm al año, a diferencia de lo registrado por el POT, 2000. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 1.100 y 1.250mm en dirección Sur-occidente -Nor-oriente.

Se puede distinguir un amplio núcleo de precipitación con valores entre 1.200 y 1.350 mm anuales, al occidente de la zona urbana del municipio de La Unión. En la Figura 7.9 y la Figura 7.10 se puede observar la distribución espacial anual y mensual de la precipitación para el municipio de La Unión. 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 45 mm a valores superiores a los 170 mm en promedio al mes. En gran parte de la región predominan las lluvias entre 70 y 140 mm mensuales, estas aumentan en dirección Oriente -Occidente.

En la Figura 7.11 y Figura 7.12 se puede observar la distribución espacial anual y mensual de la precipitación para el municipio de La Unión y la zona urbana del mismo.

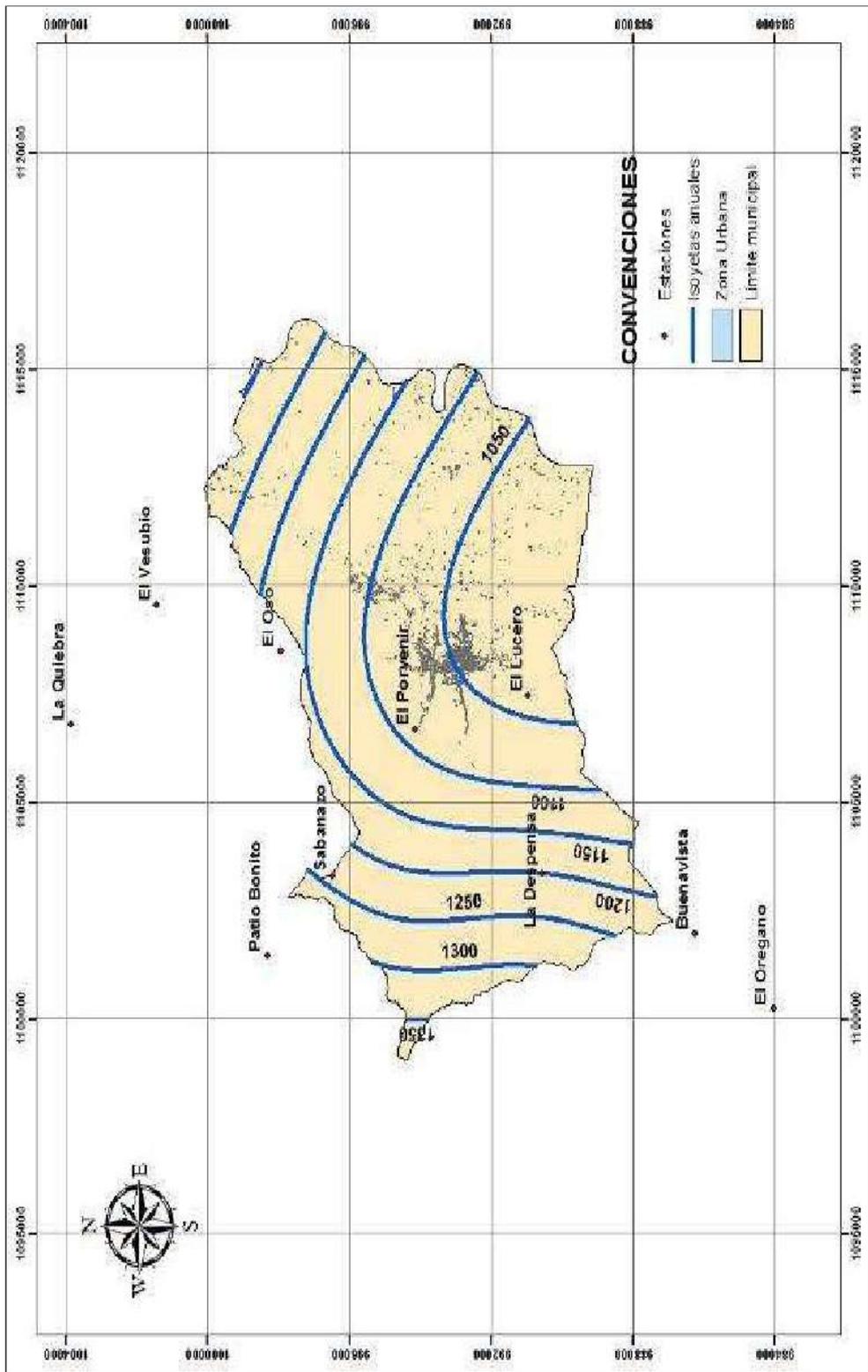


Figura 7.9 Distribución anual multianual de la precipitación – Municipio de La Unión (1982 – 2007).

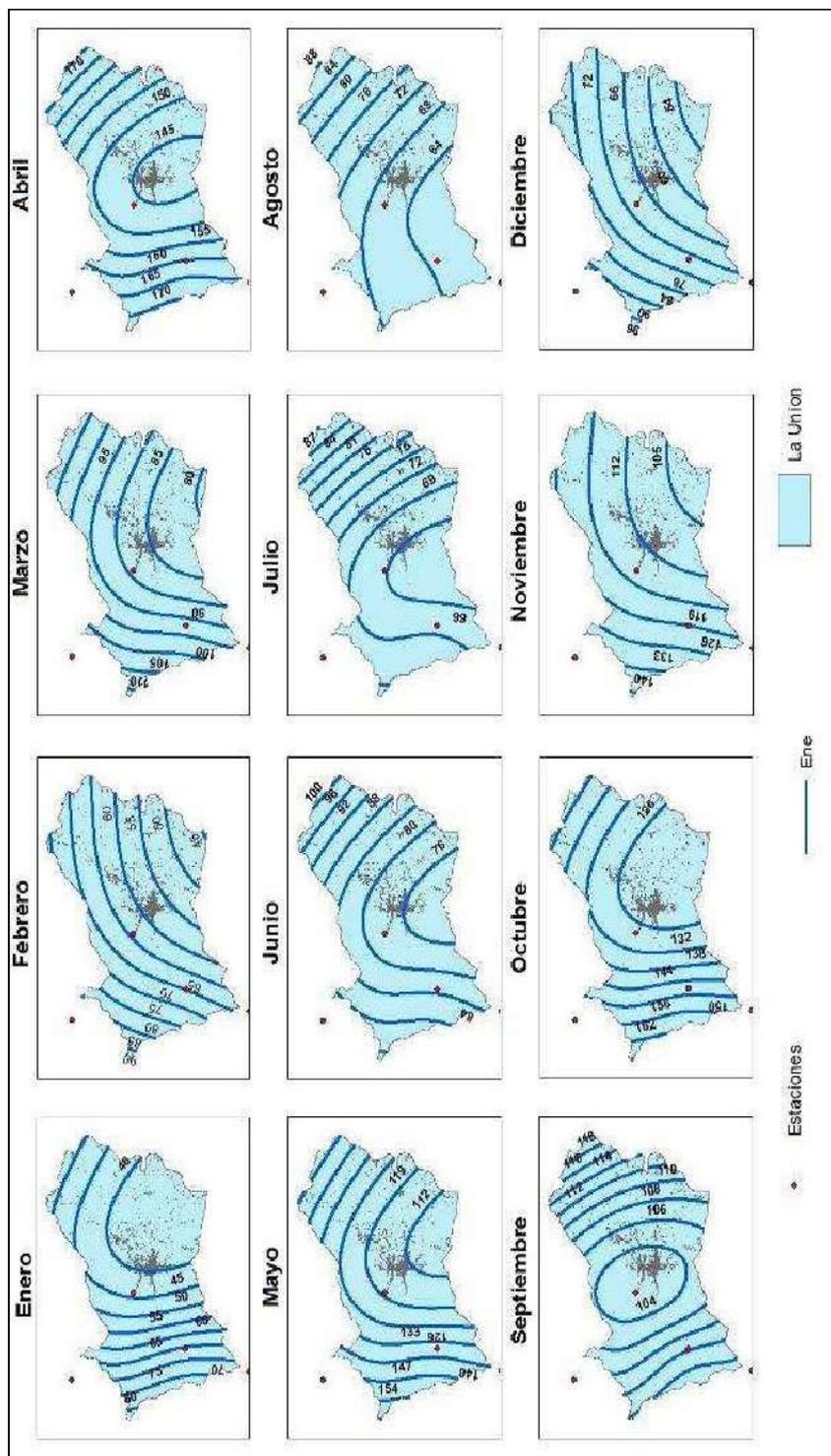


Figura 7.10 Distribución mensual multimamnal de la precipitación - Municipio de La Unión (1982 - 2007).

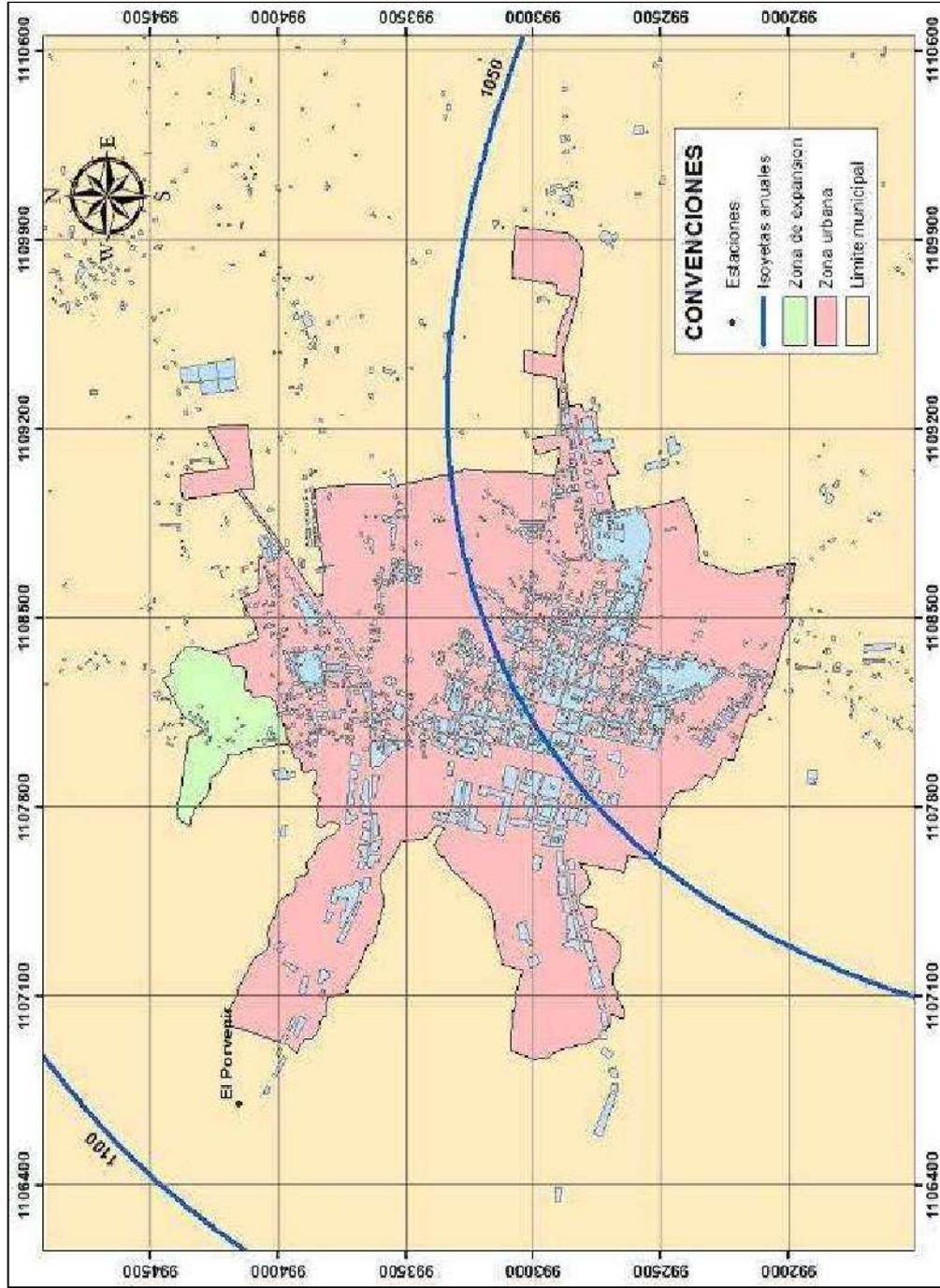


Figura 7.11 Isoyetas anuales multiamuales - Municipio de La Unión (1982 - 2007).

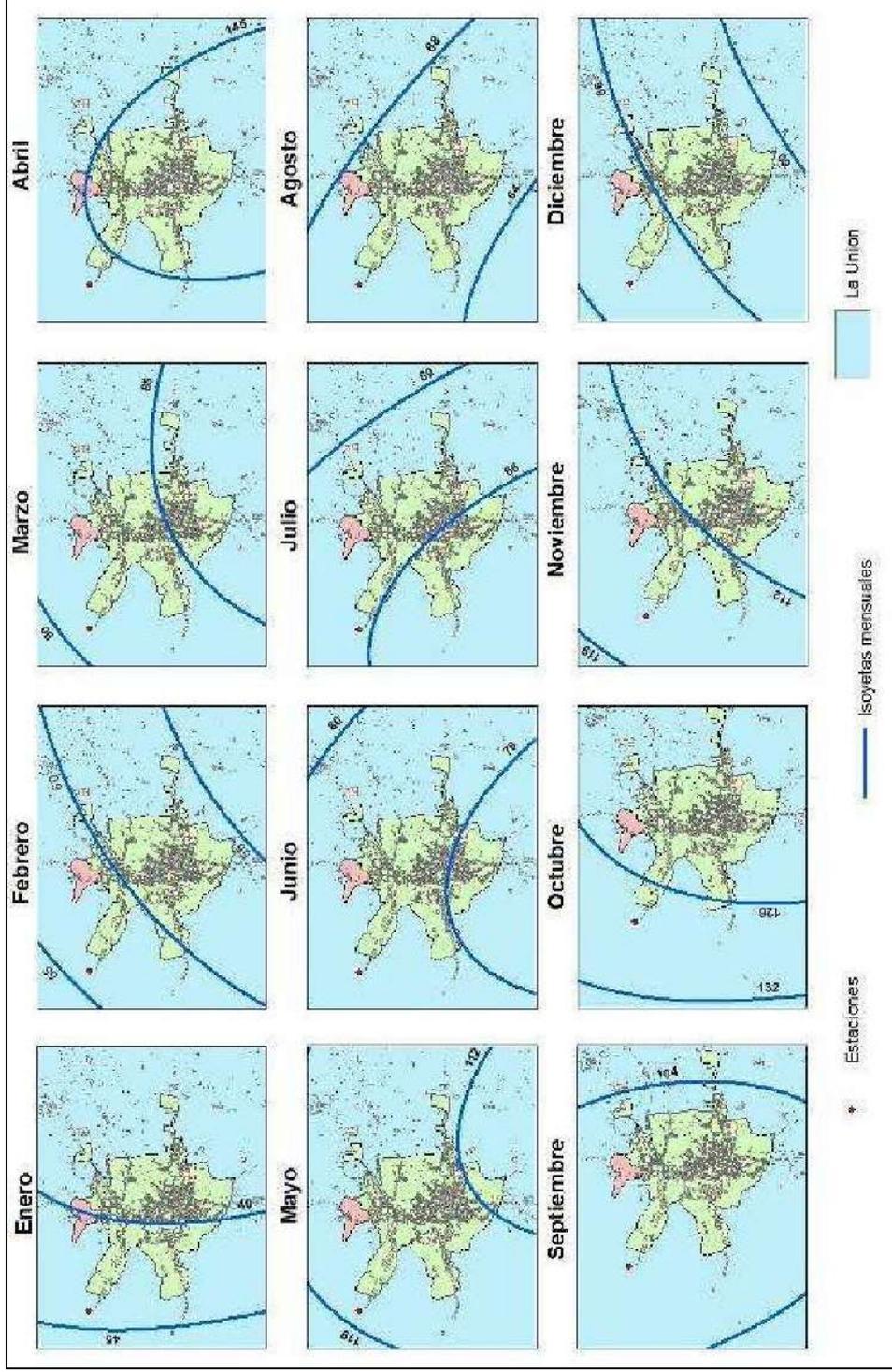


Figura 7.12 Distribución mensual multim anual de la precipitación en la zona urbana y de expansión municipio de La Unión (1982 – 2007).

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, la evaluación de las curvas de intensidad-frecuencia-duración y el análisis de la distribución temporal de las lluvias máximas como se presenta a continuación.

7.4.2.1. Régimen de humedad

Para el municipio de La Unión el régimen de humedad fue obtenido con la precipitación media mensual de las 14 estaciones analizadas y para la zona urbana se realizó con la estación El Porvenir, ya que es la estación más cercana a la zona de estudio que tiene registros de precipitación. De acuerdo con la Figura 7.13 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 enero el mes más seco, donde las precipitaciones son menores a 43 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 abril (145 mm).

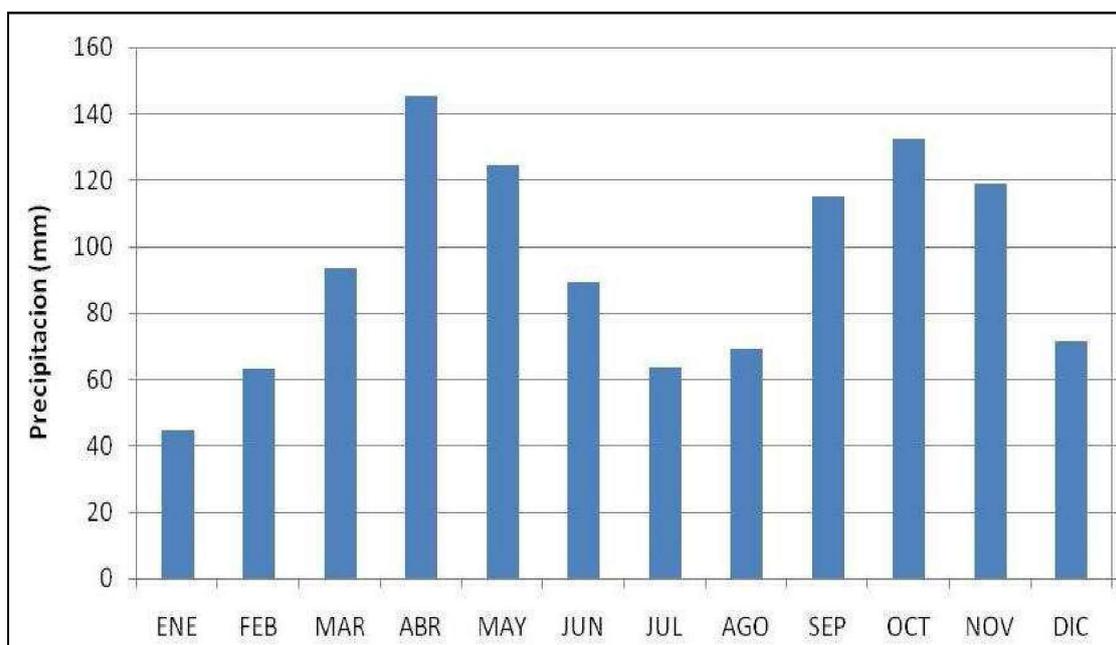


Figura 7.13 Distribución mensual multianual de la precipitación en la estación El Porvenir (1982 – 2007).

7.4.2.2. Curvas de variación estacional

Para la construcción de las curvas de variación estacional se tomo en cuenta los datos de la estación pluviográfica El Porvenir, a partir de los cuales se obtuvo los siguientes resultados, para los periodos de retorno de 10, 20 y 30 años (Ver Figura 7.14).

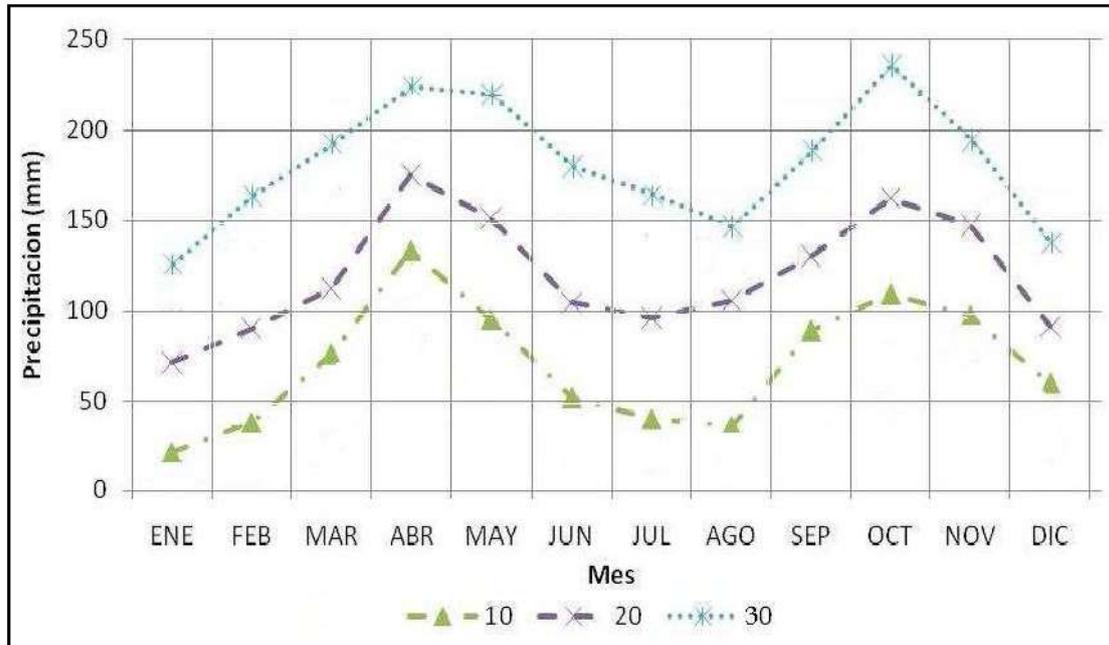


Figura 7.14 Curvas de variación estacional estación El Porvenir (1982 – 2007).

De acuerdo a la figura anterior, se observa los valores de las precipitaciones de la zona correspondientes a un periodo de retorno de 10 años, que oscilan entre 19 mm y 138 mm al mes, presentando un comportamiento promedio de 68 mm. Por el contrario se presentan lluvias extremas ($Tr = 30$ años) superiores a 200 mm con precipitaciones máximas en los meses de abril, mayo y noviembre, con lo cual se concluye que en estos meses es muy probable que se generen aumentos en los niveles de los ríos y quebradas que están en el municipio, presentándose así una alta probabilidad de presentar inundaciones y además, con las altas precipitaciones, también aumentan 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, ambos datos que se obtienen de las estaciones pluviométricas, pluviográficas, climatológicas y en general de 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 10, 30 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 gráfico que consiste en graficar los puntos obtenidos en la serie con los puntos de la distribución. Para este análisis se utilizó las estaciones El Porvenir y La Despensa, las cuales son las más cercanas a la zona urbana y de expansión del municipio de La Unión en el momento del 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 calculó los valores de Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas asociadas a diferentes periodos de retorno que se ilustran en la siguiente tabla:

Tabla 7.10. Resultados del análisis de precipitaciones máximas, estación El Porvenir (1982 – 2007)

Tr (años)	10	30	100
P24	81.52	96.85	113.29
P48	87.08	101.20	116.34
P72	109.35	131.01	154.23

La distribución de probabilidad que presentó mejores resultados fue la de Gumbel. A continuación se presentan las isoyetas para cada uno de periodos de retorno a partir de las estaciones El Porvenir y La Despensa, con las cuales se calculó las precipitaciones máximas. Ver Figuras 7.15, 7.16 y 7.17.

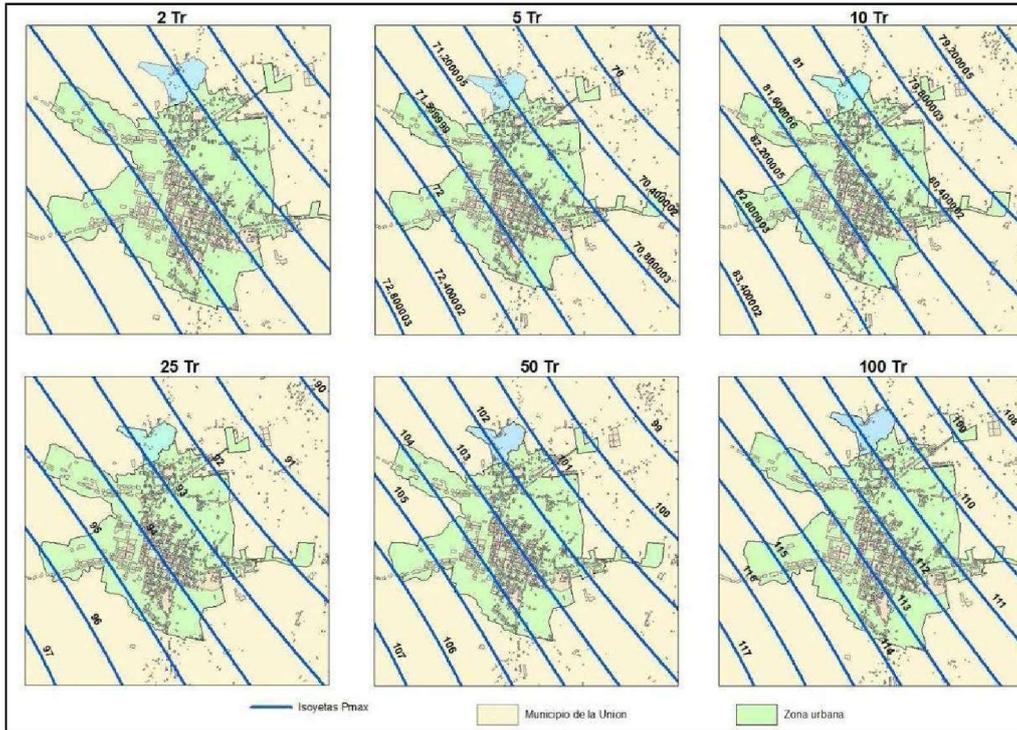


Figura 7.15 Isoyetas de precipitación máxima – P 24 (1982 – 2007).

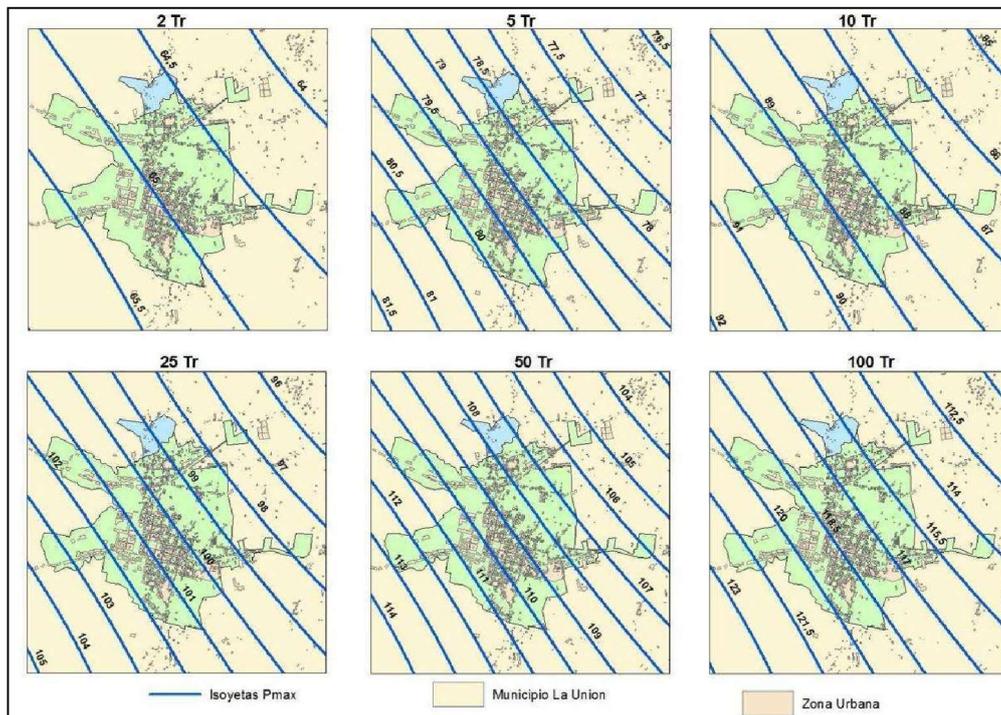


Figura 7.16 Isoyetas de precipitaciones máximas – P 48 (1982 – 2007).

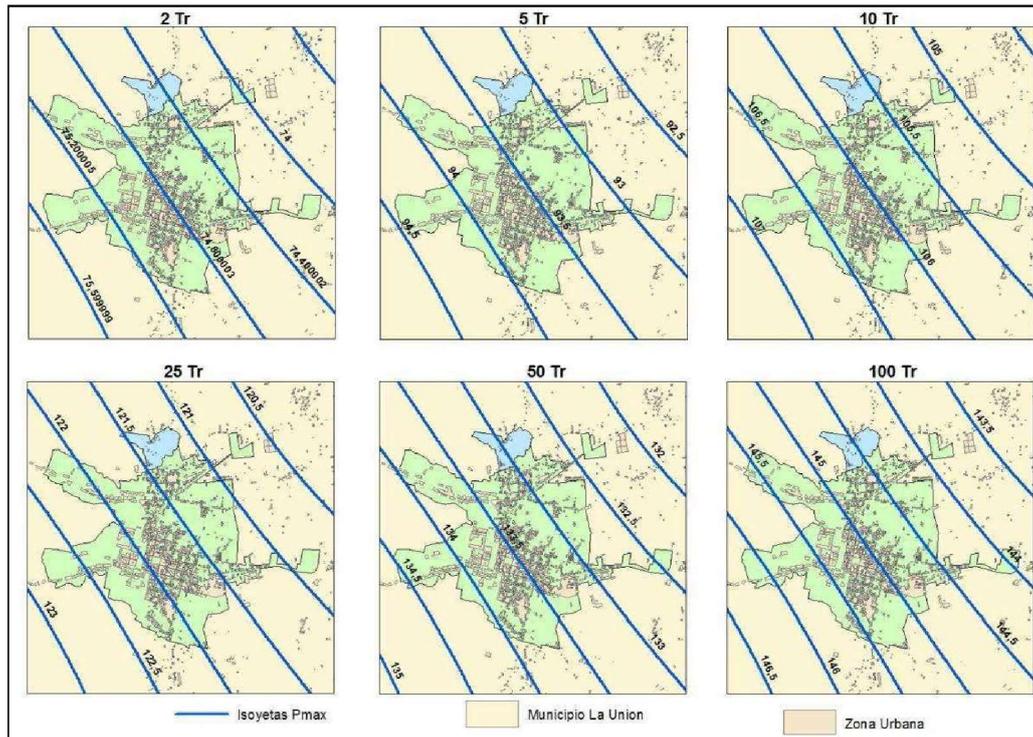


Figura 7.17 Isoyetas de precipitaciones máximas – P72 (1982 – 2007).

La mayor parte de los deslizamientos que se originan en laderas de zonas montañosas ocurren después de lluvias intensas, lo que hace necesario para cualquier estudio de amenazas conocer la cantidad de lluvia necesaria para detonarlos, a la que se suele llamar lluvia crítica. Una manera de establecer esta relación sería determinando lluvias críticas, su duración y periodo de retorno a partir de información diaria y mensual precedente a los eventos, obtenidos de estaciones cercanas a los mismos. Durante el procesamiento de la información se elaboran histogramas de precipitación anual, mensual y diaria, con los cuales se observa la variación de la precipitación en el tiempo. La elaboración de las gráficas de lluvias máximas acumuladas y sus promedios para diferentes duraciones, junto con la precipitación diaria acumulada que antecede al evento, permiten observar la magnitud de la precipitación que pudo producir el movimiento.

Mediante un análisis de probabilidad de las lluvias máximas acumuladas con el uso de las curvas de distribución, se determina estadísticamente el periodo de retorno de la lluvia para diferentes duraciones. En la Figura 7.18 se presenta la curva de precipitación y frecuencia para la estación El Porvenir.

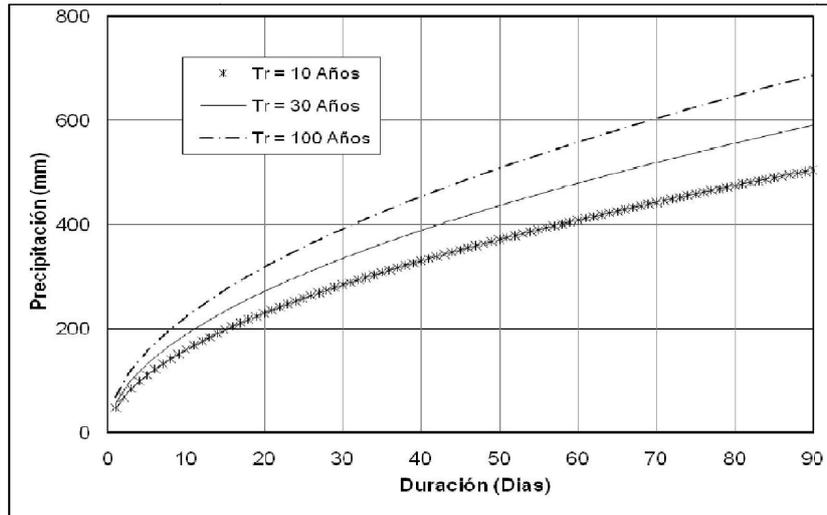


Figura 7.18 Curva de precipitación y frecuencia con tiempo retorno de 10, 30 y 100 años; Estación El Porvenir (1982 – 2007).

7.4.2.4. Análisis de intensidad-frecuencia-duración (ifd)

Las curvas de *intensidad-frecuencia-duración* para el municipio de La Unión, fueron obtenidas a partir de la ecuación adquirida con en el IDEAM, quien opera la estación del centro administrativo, de acuerdo el IDEAM se evaluaron 25 años de registros desde 1974 hasta 1999. La estación del centro administrativo está dentro del área de influencia del proyecto. A continuación se presenta la gráfica obtenida de intensidad, frecuencia y duración para el municipio de la Unión.

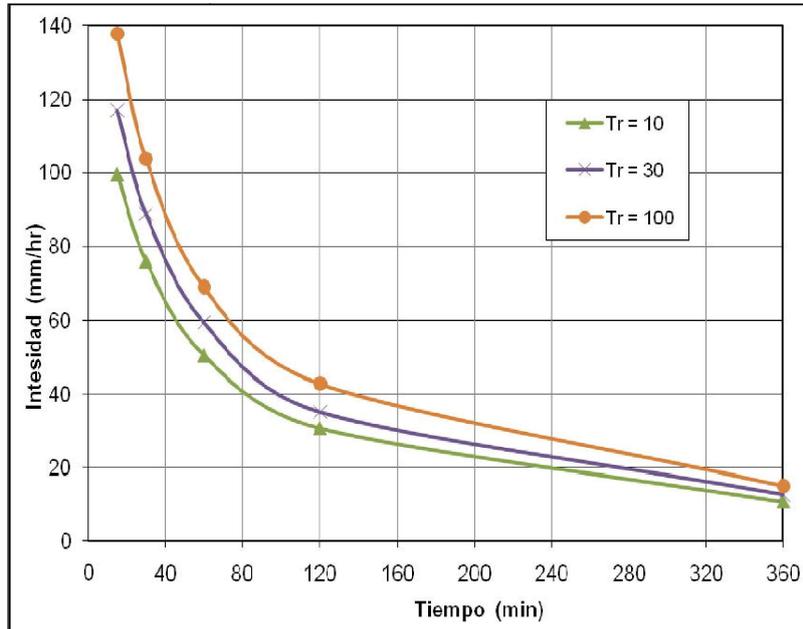


Figura 7.19 Curva IFD con tiempo retorno de 10, 30 y 100 años; Estación Centro Administrativo la Unión.

7.4.2.5. Distribución temporal de las lluvias máximas

Para este Análisis se tomo en cuenta la estación más próxima con información disponible la cual es Manuel María Mallarino de CENICAFE, que se encuentra en la misma vertiente de la cordillera occidental en el municipio de Trujillo. Con base en los registros históricos de lluvias máximas de esta estación para el periodo 1986 - 2006, se determinó el porcentaje acumulado de lluvia en el tiempo; como se muestra en la Figura 7.20 y la Tabla 7.11.

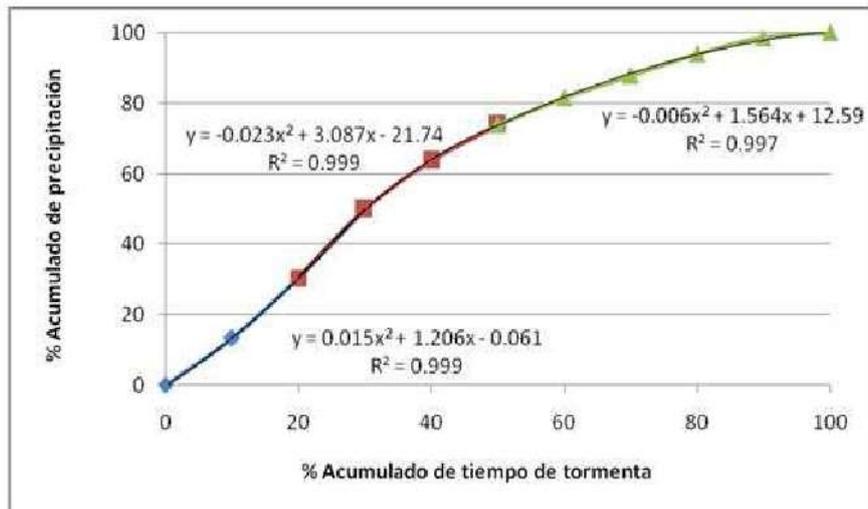


Figura 7.20 Distribución temporal de las lluvias máximas estación Manuel María Mallarino Periodo 1986 – 2006.

De acuerdo con la figura anterior del 0% al 20% del tiempo de tormenta, la distribución de las lluvias máximas en la estación Manuel María Mallarino es igual a $(Y = 0,015X^2 + 1,206X - 0,061)$; mientras que del 20% al 50% la distribución es de la forma $(Y = -0,023X^2 + 3,087X - 21,74)$ y del 50% en adelante su distribución es $(Y = -0,006X^2 + 1,564X + 12,59)$. A continuación se presentan el porcentaje acumulado de precipitación de acuerdo con el tiempo de la tormenta para la estación Manuel María Mallarino.

Tabla 7.11 Distribución temporal de las lluvias máximas estación Manuel M. Mallarino Periodo 1986-2006

% Tiempo Acumulado de Tormenta	% de lluvia en el ΔT	% Acumulado de Precipitación
0	0.00	0.00
10	13.38	13.38
20	17.10	30.48
30	19.59	50.07
40	13.70	63.77
50	10.18	73.95
60	7.64	81.59
70	6.36	87.95

% Tiempo Acumulado de Tormenta	% de lluvia en el ΔT	% Acumulado de Precipitación
80	6.09	94.04
90	4.62	98.65
100	1.35	100.00

De acuerdo con la tabla anterior el mayor incremento en porcentaje de precipitación lluvia se presenta al 30% de la duración total, en este caso corresponde a un tiempo de 3 horas y 36 min.

7.5. ANÁLISIS DE ESCURRIMIENTO

Las principales quebradas que generan inundaciones en la cabecera del municipio de la unión y la zona de expansión del mismo son la quebrada La Unión y la Quebrada El Rincón las cuales se muestran en la Figura 7.21.

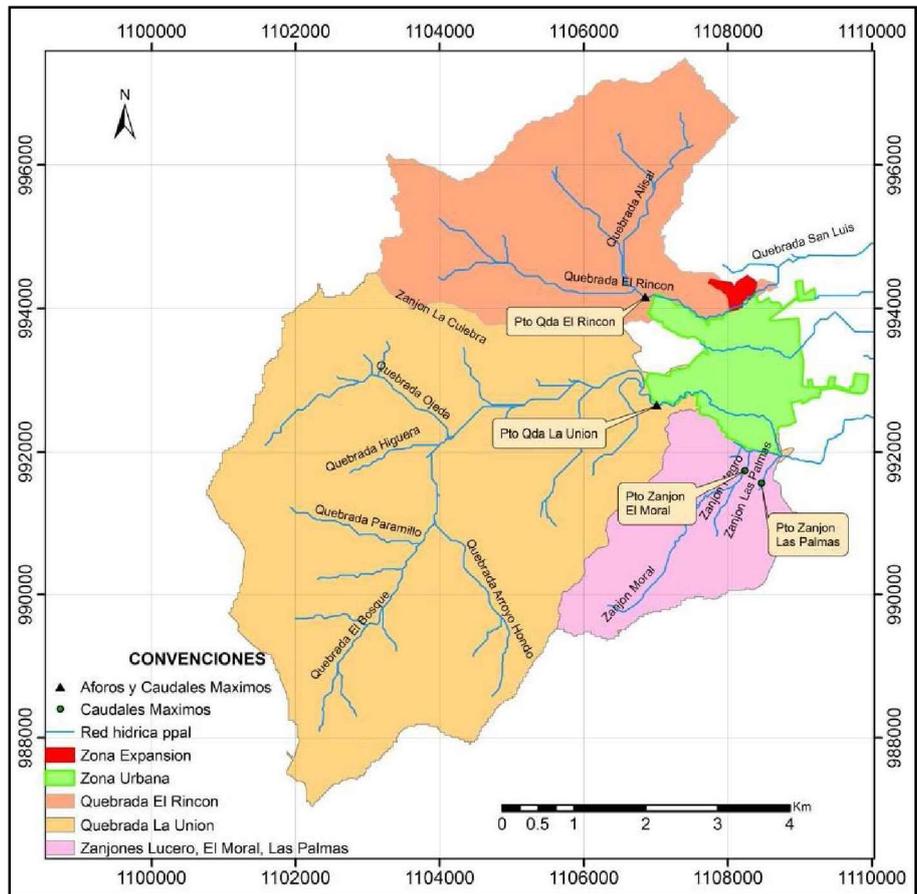


Figura 7.21 Red de drenaje, unidades de análisis, puntos de entrega de los caudales máximos y aforos municipio de La Unión.

La quebrada La Unión cuenta con un área aguas arriba de la zona urbana de aproximadamente 29,1 km², correspondientes a las quebradas Paramillo, Arroyohondo, El Bosque y San Antonio, además con una longitud de su cauce principal antes del punto mencionado de 9.15 km. Esta quebrada cruza el municipio en sentido Occidente-Oriente en una longitud aproximada de 2,5 kilómetros, desde el puente conocido como Pasoancho en el extremo sur-Occidental del Municipio, hasta su entrega a El Zanjón Las Palmas, el cual continúa su recorrido para entregar sus aguas finalmente al canal interceptor del distrito de Riego RUT.

La quebrada El Rincón aguas arriba de la frontera superior cuenta con un área aproximada de 10.9km² y una longitud del cauce principal de aproximadamente 3,58 Km, cabe mencionar que ésta quebrada a su vez se nutre de otra quebrada muy importante llamada el Alisal un poco antes de entrar al casco urbano.

Finalmente otra de las vertientes más importantes es la Cañada El Lucero que recibe las aguas de los zanjones Negro, El Peñón y el Moral y se une con el zanjón Las Palmas, con un área aguas arriba antes de unirse con la quebrada La Unión de 5,88 km², y una longitud del cauce principal de 4.1 km.

El análisis del escurrimiento en el municipio de La Unión para cada una de las quebradas objeto de análisis comprende dos partes, en la primera se evalúan los caudales a partir de aforos realizados durante las salidas técnicas y la segunda, la determinación de los caudales máximos para cada de ellas, a partir del proceso de modelación con la herramienta hidrológica HEC – HMS 3.4. 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.

7.5.1. Aforos y secciones transversales

El 28 de septiembre de 2009 en el municipio de La Unión se realizaron aforos a las quebradas La Unión y El Rincón, en a la parte baja de las mismas, como se muestra a continuación.

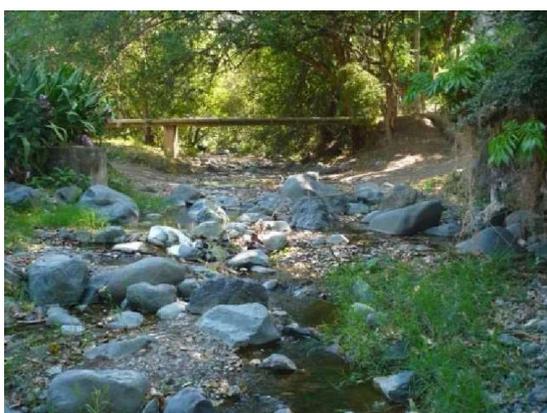


Foto 7.15 y Foto 7.16 Aforo Quebrada La Unión.

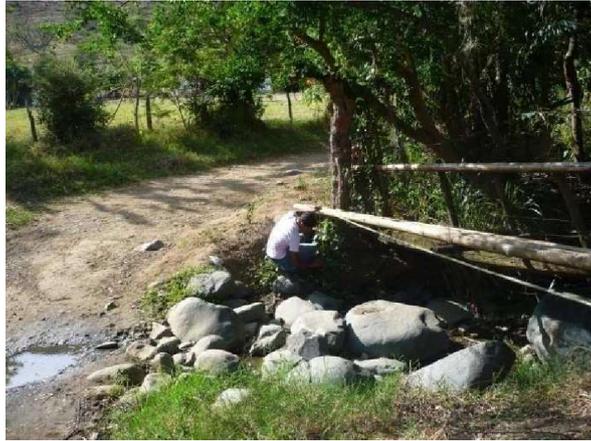


Foto 7.17 Aforo Quebrada El Rincón.

En la siguiente tabla se presenta la ubicación de los sitios de aforo y los caudales obtenidos en la quebrada La Unión y la quebrada El Rincón del municipio de la Unión.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12. Resultados de los aforos – salida técnica municipio La Unión

Rio y/o Quebrada	Punto	Coordenadas geográficas		Altura	Caudal (m ³ /s)
		Latitud	Longitud		
Quebrada La Unión	1	4° 32' 2"	76° 07' 31,4"	1027	0,035
Quebrada el Rincón	2	4° 32' 45,1"	76° 07' 10,8"	1031	0,015

De acuerdo a los requerimientos del grupo de hidráulica se realizó el levantamiento batimétrico a banca llena en los sitios donde se realizó los aforos. En las siguientes figuras se presentan las secciones transversales de la quebrada La Unión y quebrada El Rincón.

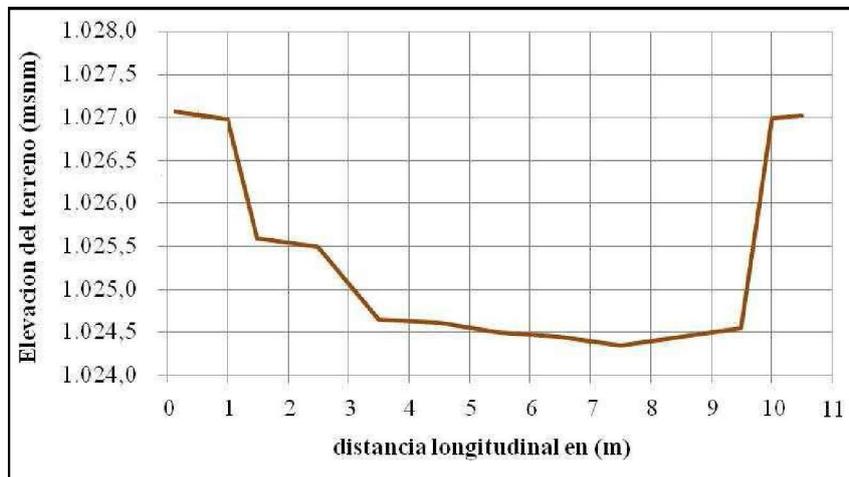


Figura 7.22 Sección transversal quebrada La Unión.

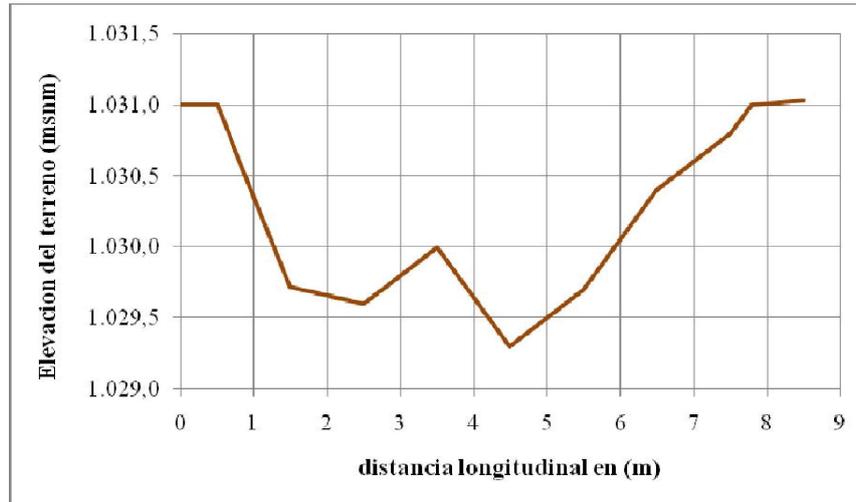


Figura 7.23 Sección transversal quebrada El Rincón.

7.5.2. Caudales Máximos

Los caudales máximos se evaluaron con periodos de retorno 10, 30 y 100 años, para las unidades de análisis de las Quebradas La Unión y El Rincón y los zanjones El Moral y Las Palmas sobre los puntos que se muestran en la Figura 7.21 según las necesidades hidráulicas del proyecto; implementando el modelo hidrológico HEC-HMS. A continuación se presentan los hidrogramas generados para cada uno de los puntos.

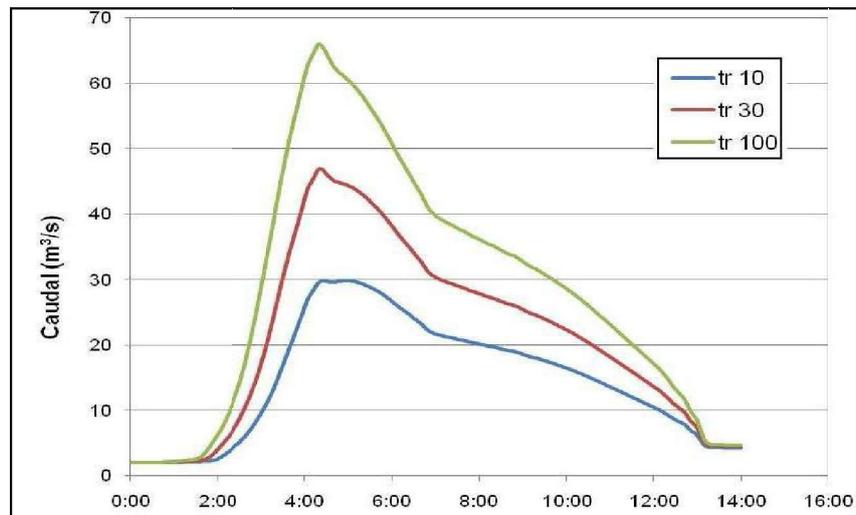


Figura 7.24 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto de La Quebrada La Unión.

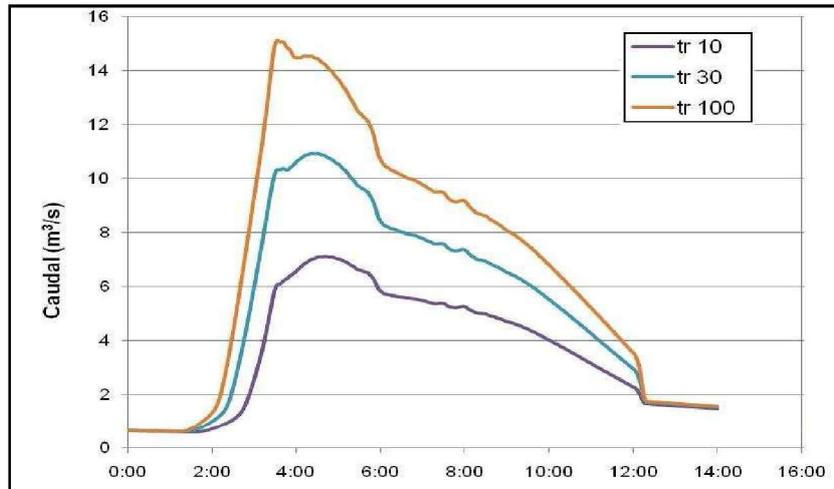


Figura 7.25 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto de la Quebrada El Rincón.

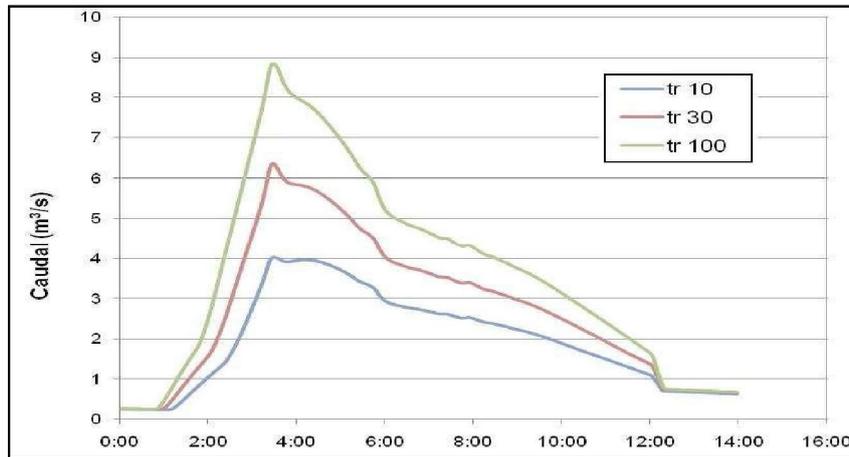


Figura 7.26 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto del Zanjón El Moral.

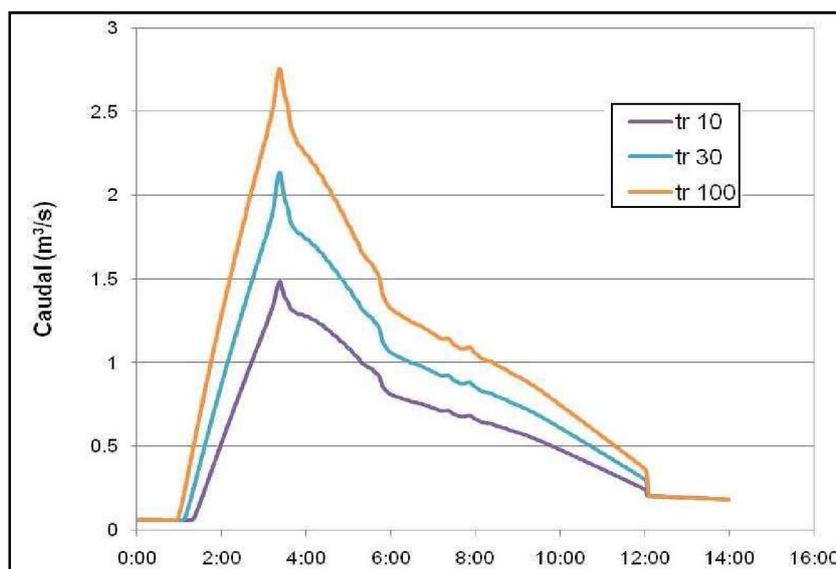


Figura 7.27 Hidrogramas para periodos de retorno 10, 30 y 100 años en el punto del Zanjón Las Palmas.

De acuerdo con la Figura 7.24, el caudal máximo de La quebrada La Unión en el punto establecido según las necesidades hidráulicas es de $29.9 \text{ m}^3/\text{s}$, $46.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y $66 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que La Quebrada El Rincón como se muestra en la figura 7.34 presentó caudales máximos de $7.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $11 \text{ m}^3/\text{s}$ y $15.1 \text{ m}^3/\text{s}$ para periodos de retorno de 10, 30 y 100 años respectivamente.

En El Zanjón el Moral de acuerdo a la Figura 7.25 se obtuvieron caudales máximos de $4 \text{ m}^3/\text{s}$, $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $8.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Mientras que en el Zanjón Las Palmas los caudales máximos correspondientes fueron de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ para periodos de retorno de 10, 30 y 100 años respectivamente como se muestra en la figura 7.26.

Actualmente en la zona de interés no se registran las lluvias o el nivel del agua de forma continua, además de que los usos del suelo se encuentran desactualizados, limitando el proceso de calibración a las mediciones y reconocimiento de campo, además de la experiencia que se tiene sobre cuencas cercanas.

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 La Unión.

La zona de estudio corresponde a las áreas urbanas y de expansión urbana del municipio de La Unión. 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 en la zona de interés.

La caracterización hidráulica y sedimentológica de los cauces que se estudiarán en el municipio de La Unión 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 de los cauces en la zona de estudio en el municipio de La Unión, 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 de algunos de los cauces de interés en el municipio de La Unión. 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 La Unión 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”.

Este capítulo consta de cinco (5) apartes:

Aparte 8.1: 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.

Aparte 8.2: 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 los cálculos de rugosidad con base en la caracterización sedimentológica.

Aparte 8.3: 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.

Aparte 8.4: 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 La Unión. Los documentos que fueron consultados para esta actividad en el municipio de La Unión fueron los siguientes:

- Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Unión. (2001-2009).
- Informes de inundaciones en el municipio de La Unión. Informe técnico CVC. 2006.
- S.O.S. por el Valle del Cauca – municipio de La Unión. Publicación No. 24. CVC. 2008.

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

El problema por inundaciones en la zona urbana y de expansión urbana en el municipio de La Unión se presenta principalmente por desbordamientos de las quebradas La Unión y El Rincón (sobre todo la quebrada La Unión), por la alta intensidad de precipitaciones que se presenta en la subcuenca La Despensa y sus características fisiográficas como su forma,

pendiente y cobertura forestal. Estas características ocasionan rápidas concentraciones de grandes volúmenes de agua de escorrentía, que al llegar a la zona urbana (zona plana) son desbordados ya que las secciones hidráulicas de las quebradas son insuficientes. La insuficiencia de las secciones hidráulicas de las corrientes de agua en la zona de estudio del municipio de La Unión se debe al alto nivel de sedimentación y a la desmedida construcción de viviendas sobre los lechos y las franjas forestales protectoras de los cauces, ignorando los antecedentes históricos de eventos naturales desastrosos.

La cabecera municipal del municipio de La Unión cuenta con alrededor de 14931 habitantes. Los barrios principales en orden descendente en cuanto al número de habitantes son San Pedro, El Jardín, Bellavista, La Cruz, Ciudadela Grajales, Popular, Belén, Las Brisas, El Carmen, Las Lajas, Fátima y El Prado. Varios de estos barrios se ven afectados al verse desbordados los cauces principales que recorren el casco urbano.

Según el PBOT del municipio de La Unión, se han definido las siguientes amenazas naturales por inundaciones en la zona urbana, ver Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Zonificación de amenazas naturales por inundaciones

Evento	Ubicación	Causa	Soporte
Inundaciones	A lo largo de las márgenes protectoras de las corrientes de agua del área urbana (quebradas El Rincón y La Unión y el zanjón Los Muertos).	Precipitación alta, desbordamientos de las corrientes de agua.	Antecedentes históricos, observación en sitio.

Según el artículo número 24 publicado por la CVC “SOS por el Valle del Cauca - municipio de La Unión”, en febrero de 2008, la cabecera municipal está construida sobre el lecho de crecientes de las quebradas El Rincón y La Unión. Debido a que el casco urbano está localizado en el piedemonte de la zona montañosa (en el entorno de la salida de los afluentes) y a la entrada del valle geográfico del río Cauca, periódicamente afronta las consecuencias de las inundaciones de tipo rápido por el dinamismo de las quebradas. Otro factor involucrado en las amenazas por inundaciones y avenidas torrenciales es el deterioro de la cuenca hidrográfica por detrimento de la cobertura forestal; esto ocasiona que para una misma condición de lluvias, las crecientes actuales sean más altas que las que se presentaban hace 20 años, razón por la cual existen más zonas inundables hoy en día.

En cuanto al registro de eventos históricos por inundaciones, se tienen los siguientes:

- El miércoles 24 de mayo de 2006, la quebrada La Unión presentó una creciente correspondiente a un caudal aproximado de 50 m³/s, con material de arrastre (lodos, troncos de árboles, etc.). El mayor aporte de sedimentos identificado provenía de la subcuenca La Despensa. El evento afectó a 106 familias, las cuales debieron ser evacuadas a albergues temporales. Según comentarios de los habitantes de la zona,

la última gran inundación, con características similares a la acontecida el día 24 de mayo de 2006, ocurrió hacia el año de 1970 (hace aproximadamente 36 años).

- El día 21 de noviembre de 2006 se presentaron precipitaciones de alta intensidad en la subcuenca La Despensa que ocasionaron una creciente torrencial de lodo, con madera y piedras. Dichos sedimentos finalmente llegaron a la quebrada La Unión, la cual generó inundaciones en viviendas y en el estadio Municipal.
- El día 5 de agosto de 2007 entre las 3:00 y las 4:00 PM, se presentó una inundación por el desbordamiento de la quebrada El Rincón que afectó 23 viviendas del sector, sin pérdida de vidas humanas. Según comentarios de los habitantes de la zona, la última gran inundación con características similares a la acontecida ocurrió en el año 1998 aproximadamente.

La CVC y la Administración Municipal adelantaron la construcción de un dique en tierra sobre la margen izquierda del cauce de la quebrada La Unión en el tramo comprendido entre la Carrera 9 hasta la desembocadura del zanjón Las Palmas a la quebrada La Unión, en una longitud de 585 m para proteger la zona nororiental del municipio que comprende los barrios Las Lajas, el estadio Municipal, Zona Industrial Grajales y la urbanización El Amparo. En este mismo tramo se construyeron gaviones para protección de orillas en una longitud de 30 m lineales; además se realizaron obras de descolmatación del cauce de la quebrada desde la desembocadura del zanjón Las Palmas en la quebrada La Unión hasta 2 km aguas arriba de dicha confluencia.

Para el caso de la quebrada La Unión en el trayecto por los barrios La Cruz, El Prado, Belén y Ciudadela Grajales, el riesgo se presenta en el trayecto del cauce comprendido desde el puente de la Carrera 11 hasta la Carrera 20, en una longitud aproximada de 1000 m, en donde alrededor de 32 viviendas no tienen posibilidad de obras de mitigación para su protección.

En la Figura 8.1 se muestra la localización de la quebrada La Unión en la zona urbana del municipio de La Unión.

lluvias, agravados por el exceso de pastoreo; esto provocó la caída de material sobre el cauce de la quebrada.

- La inundación se debió a una precipitación de alta intensidad que se produjo en la parte alta de la cuenca (48 mm en 35 min), cuyas características morfométricas causan la concentración de grandes aguas de escorrentía en poco tiempo. Esto agravó los deslizamientos ocurridos.
- Desde la entrega de aguas del zanjón Las Palmas a la quebrada La Unión hasta el puente localizado aguas arriba en la Carrera 11, y en una longitud de 450 m, el desbordamiento ocurrió en los predios de la empresa Grajales y del señor Alberto Aristizábal, inundando a su paso el estadio Municipal, viviendas ubicadas en el barrio Las Lajas sobre la Carrera 7, Zona Industrial Grajales y la urbanización El Amparo. Es importante aclarar en este punto que el cauce de la quebrada La Unión fue desviado hace más de 40 años hacia el sureste, mediante un canal con cambios fuertes de dirección y curvas con ángulos casi rectos. En esta visita pudo apreciarse la tendencia de las aguas a seguir su trayecto por el antiguo cauce de la quebrada.
- El nivel de las aguas llegó hasta 1 m aproximadamente por encima del nivel de las losas de los puentes ubicados en las Carreras 11, Carrera 13, Carrera 15, Calle 11 y Carrera 19.
- En esta visita se determinó la zona urbana inundable más crítica por el desbordamiento de la quebrada La Unión. Esta zona abarca el puente de la Carrera 11 hasta la Carrera 20, donde la sección hidráulica de la quebrada es insuficiente por la presencia de viviendas ubicadas sobre el cauce.

A continuación se presentan algunas imágenes de la situación encontrada después de la creciente del 24 de mayo de 2006 de la quebrada La Unión.



Foto 8.1 Desbordamiento de la quebrada La Unión en la zona urbana.



Foto 8.2 Desbordamiento de la quebrada La Unión en la zona urbana.

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

Para el municipio de La Unión, 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. No obstante, la información acerca de la caracterización hidráulica y sedimentológica existente en la CVC del municipio de La Unión es muy escasa. Por lo tanto, la información encontrada se obtuvo del PBOT.

8.1.2. Investigación de Campo

El reconocimiento de la zona de estudio en el municipio de La Unión se dio inicio con las visitas de campo realizadas los días 22 de abril, 11 y 12 de mayo y 31 de agosto 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 La Unión, y que sirvió para la identificación de los cauces y corrientes de agua que deben ser monitoreados durante el estudio.

La quebrada La Unión (también conocida como la quebrada La Despensa) y la quebrada El Rincón son los principales cauces que atraviesan la zona urbana y de expansión del municipio de La Unión. Los otros cauces importantes que recorren la cabecera municipal son la cañada El Lucero, el zanjón Moral, el zanjón Los Muertos, el zanjón Martín Dosa y el zanjón Las Palmas. Muchos de ellos son cauces intermitentes, y por esta razón, gran parte de la población ha construido sus viviendas sobre los lechos de estos cauces.

Uno de los puntos críticos es la confluencia de la cañada El Lucero y el zanjón Las Palmas a la quebrada La Unión (aguas abajo de su desviación). Ambos cauces reciben las aguas de escorrentía de la zona montañosa aledaña. La cañada El Lucero desemboca en el zanjón Las Palmas, y éste a la quebrada La Unión, pasando por una de las vías principales. Existen varias viviendas sobre la ronda de la cañada El Lucero las cuales se ven inundadas al desbordarse la cañada. Hay ocasiones en las que se presentan crecientes en los tres cauces a la vez, siendo éste un escenario bastante crítico. A veces ocurre que sólo se desborda la quebrada La Unión; sin embargo, cuando esto pasa sus aguas suben por los cauces de la cañada El Lucero y el zanjón Las Palmas, inundando los barrios aledaños a estas corrientes de agua. El día 8 de febrero de 2009 hubo una inundación en este sector.

Otro de los sectores críticos por inundaciones está sobre la Calle 7 con Carrera 11. Esta zona se inunda por desbordamiento del zanjón Moral ya que las viviendas están construidas

sobre la franja forestal protectora, y la vía pasa por el lecho del cauce. Muchas de las personas que habitan esta zona son de bajos recursos y se ven obligados a vivir ahí por el bajo costo de los arriendos. Según los lugareños hubo una fuerte inundación en noviembre de 2007 donde varias de las viviendas se vieron afectadas.

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 La Unión tiene un área de 800 ha y un perímetro con una longitud de 11.4 km, que incluye tanto el casco urbano actual como la zona de expansión urbana. La zona urbana actual tiene un área total de 313 ha y un perímetro de longitud de alrededor de 16 km; la zona de expansión urbana tiene un área de 15 ha y un perímetro de aproximadamente 2 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 8.2 se muestra la zona de estudio del municipio de La Unión.

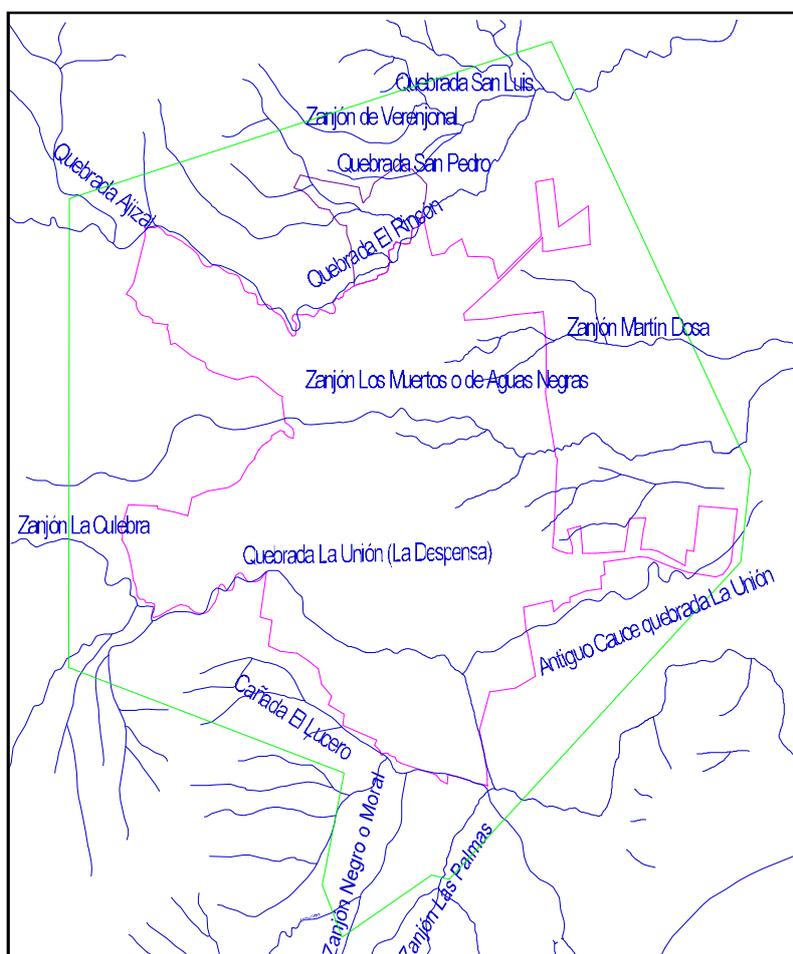


Figura 8.2 Perímetro de la zona de estudio del municipio de La Unión.

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.
- Se debe realizar el levantamiento de secciones transversales donde existan puentes, box culverts, diques, derivaciones, vertimientos, compuertas y demás estructuras hidráulicas que estén presentes en los tramos de estudio de los cauces a modelar.
- Las secciones transversales deben localizarse donde haya cambios importantes en la rugosidad del cauce y en la pendiente de los cauces.
- 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 del fenómeno de inundación.

Los cauces a estudiar en el municipio de La Unión son la quebrada La Unión (o La Despensa), el antiguo cauce de la quebrada la Unión, la quebrada El Rincón, los zanjones Martín Dosa, Moral, Los Muertos y la cañada El Lucero.

Vale la pena aclarar que debido a limitaciones presupuestales se detallarán más los cauces principales, levantando en consecuencia más secciones transversales en la quebrada La Unión ya que este cauce debe ser caracterizado de forma más detallada. Por lo tanto, en este cauce 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 demás corrientes de agua, las secciones a levantar son suficientes para reflejar la variación de la geometría (o morfología) de dichas corrientes ya que 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 La Unión.

Quebrada La Unión

Esta quebrada es el cauce principal que atraviesa el municipio de La Unión, y en crecientes, es la que más afecta al casco urbano, ver Foto 8.3. Debido a ello, la quebrada La Unión fue desviada en un punto al sur del municipio mediante un dique, modificando la dirección del cauce en dirección sureste (antiguamente el cauce fluía en dirección este). Aunque aparentemente el antiguo cauce de esta quebrada no presenta ninguna amenaza para la población, se ha decidido incluirlo en el estudio ya que las corrientes naturales tienen una tendencia a recuperar su lecho original.

La longitud total del tramo a modelar de la quebrada La Unión es de 3067 m, y se levantarán 23 secciones transversales espaciadas aproximadamente cada 100 m en el perímetro urbano y en la zona de expansión urbana, y 3 secciones transversales espaciadas en promedio cada 200 m por fuera de estas regiones.

La frontera superior se ubicó al suroccidente del municipio, a 2917 m aguas arriba del punto de la confluencia del zanjón Las Palmas y de la cañada El Lucero en la quebrada La Unión, a 2426 m aguas arriba del punto donde la quebrada fue desviada, ver Foto 8.4 y a 437 m aguas arriba de la desembocadura del zanjón La Culebra en ella.

La frontera inferior se localizó a 150 m aguas abajo del punto donde confluyen los cauces mencionados en la quebrada La Unión, y a 641 m aguas abajo del punto donde la dirección del cauce de la quebrada fue modificada.

La longitud del tramo a modelar del antiguo cauce de la quebrada La Unión es de 1777 m, y se levantarán 8 secciones transversales espaciadas aproximadamente cada 200 m en la zona urbana y de expansión urbana, y en promedio cada 400 m por fuera de esta área. La frontera interna aguas arriba se ubicó en la estructura de desviación del cauce de la quebrada La Unión, y la frontera inferior se localizó a 1698 m aguas debajo de este punto.



Foto 8.3 Quebrada La Unión en el casco urbano.



Foto 8.4 Estructura de desviación del cauce de la quebrada La Unión.

Quebrada El Rincón

La longitud total del tramo a modelar de la quebrada El Rincón es de 3373 m, y se levantarán 15 secciones transversales espaciadas aproximadamente cada 200 m dentro del perímetro urbano y área de expansión urbana, y en promedio cada 400 m por fuera de esta zona.

La frontera superior del tramo se localizó a 258 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Ajizal en la quebrada El Rincón, y la frontera inferior se ubicó a 248 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada San Luis en dicho cauce. Ver Fotos 8.5 y 8.6.



Foto 8.5 Quebrada El Rincón en el barrio San Luis, al norte del municipio.



Foto 8.6 Quebrada El Rincón en uno de los barrios marginales en el municipio de La Unión.

Zanjón Los Muertos (o zanjón de Aguas Negras)

Aunque según los lugareños y las autoridades del municipio de La Unión este cauce no presenta riesgos o amenazas para la población en cuanto a inundaciones, es necesario estudiarlo ya que atraviesa el municipio en dirección oeste – este, con un caudal considerable.

La longitud total del tramo a modelar es de 3765 m, y se levantarán 14 secciones transversales espaciadas aproximadamente cada 200 m dentro del perímetro urbano y zona de expansión urbana, y en promedio cada 400 m por fuera de esta zona.

La frontera superior del tramo se situó en el límite de la zona de estudio, en un punto cuyas coordenadas son: 993157 N; 1106612 E.

La frontera inferior se ubicó a 3765 m aguas abajo de la frontera superior.



Foto 8.7 Zanjón Los Muertos.



Foto 8.8 Zanjón Los Muertos.

Zanjón Moral (o zanjón Negro)

La longitud total del tramo a modelar es de 720 m, y se levantarán 4 secciones transversales espaciadas aproximadamente cada 230 m.

La frontera superior del tramo se localizó a 720 m aguas arriba de la desembocadura del zanjón en la cañada El Lucero, y la frontera inferior interna se ubicó en la desembocadura del zanjón en la quebrada La Unión.



Foto 8.9 Zanjón Negro o Moral contiguo a la vía.

Zanjón Martín Dosa

La longitud total del tramo a modelar es de 1125 m, y se levantarán 4 secciones transversales espaciadas cada 370 m aproximadamente. La frontera superior se localizó a 102 m aguas arriba del cruce del zanjón con la vía Panamericana, en el nacimiento del zanjón; la frontera inferior se ubicó en el cruce del zanjón con la vía Panamericana.

Cañada El Lucero

Este es otro de los cauces intermitentes que son críticos en el momento de una creciente. Por lo tanto debe ser incluido en el estudio.

La longitud total del tramo a modelar es de 1632 m, y se levantarán 7 secciones transversales espaciadas cada 270 m aproximadamente.

La frontera superior se localizó a 1632 m aguas arriba de la confluencia de esta cañada en la quebrada Las Palmas; la frontera inferior interna se ubicó en la desembocadura de la cañada El Lucero en la quebrada Las Palmas.



Foto 8.10 Cañada El Lucero en la confluencia con el zanjón Las Palmas.



Foto 8.11 Cañada El Lucero aguas arriba de su desembocadura en el zanjón Las Palmas.

Existen otros cauces en el municipio de La Unión que aunque no serán modelados son importantes para el estudio que se está llevando a cabo. Por lo tanto, se requiere determinar los caudales que éstos aportan a las corrientes a modelar. De esta forma, sus caudales serían tenidos en cuenta como aportes laterales. Estos cauces son: el zanjón Las Palmas y el zanjón La Culebra (éstos desembocan en la quebrada La Unión).

En el Tabla 8.2 se presenta un resumen de los cauces en orden de magnitud del municipio de La Unión, así como la longitud de los mismos y el número de secciones a realizar. En la Tabla 8.3 se presenta el resumen de aforos líquidos a realizar. En la Figura 8.3 se presenta la localización de las secciones transversales a levantar en el municipio de La Unión.

Tabla 8.2. Resumen de los cauces, ubicación de las fronteras, longitudes totales y cantidad de secciones transversales y aforos en el municipio de La Unión.

Cauce	Frontera aguas arriba	Frontera aguas abajo	Longitud (m)	No. Secciones con levantamiento o batimétrico y topográfico	Distancia media entre secciones en el perímetro urbano y de expansión (m)	Distancia media entre secciones fuera del perímetro urbano y de expansión (m)
Quebrada La Unión	2426 m aguas arriba del punto donde la quebrada fue desviada; 437 m aguas arriba de la desembocadura del zanjón La Culebra en la quebrada La Unión	641 m aguas abajo del punto donde la quebrada fue desviada; 150 m aguas abajo de la confluencia del zanjón Las Palmas y la cañada El Lucero en la quebrada La Unión	3067	26	100	200
Quebrada La Unión (antiguo cauce)	La frontera interna aguas arriba en el punto donde la quebrada fue desviada	1698 m aguas abajo del punto donde la quebrada fue desviada	1777	8	200	400
Quebrada El Rincón	258 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Ajizal	248 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada San Luis en la quebrada El Rincón	3373	15	200	400
Zanjón Los Muertos de Aguas Negras	Límite de la zona de estudio, en un punto cuyas coordenadas son: 993157 N; 1106612 E	3765 m aguas abajo de la frontera superior	3765	14	200	400

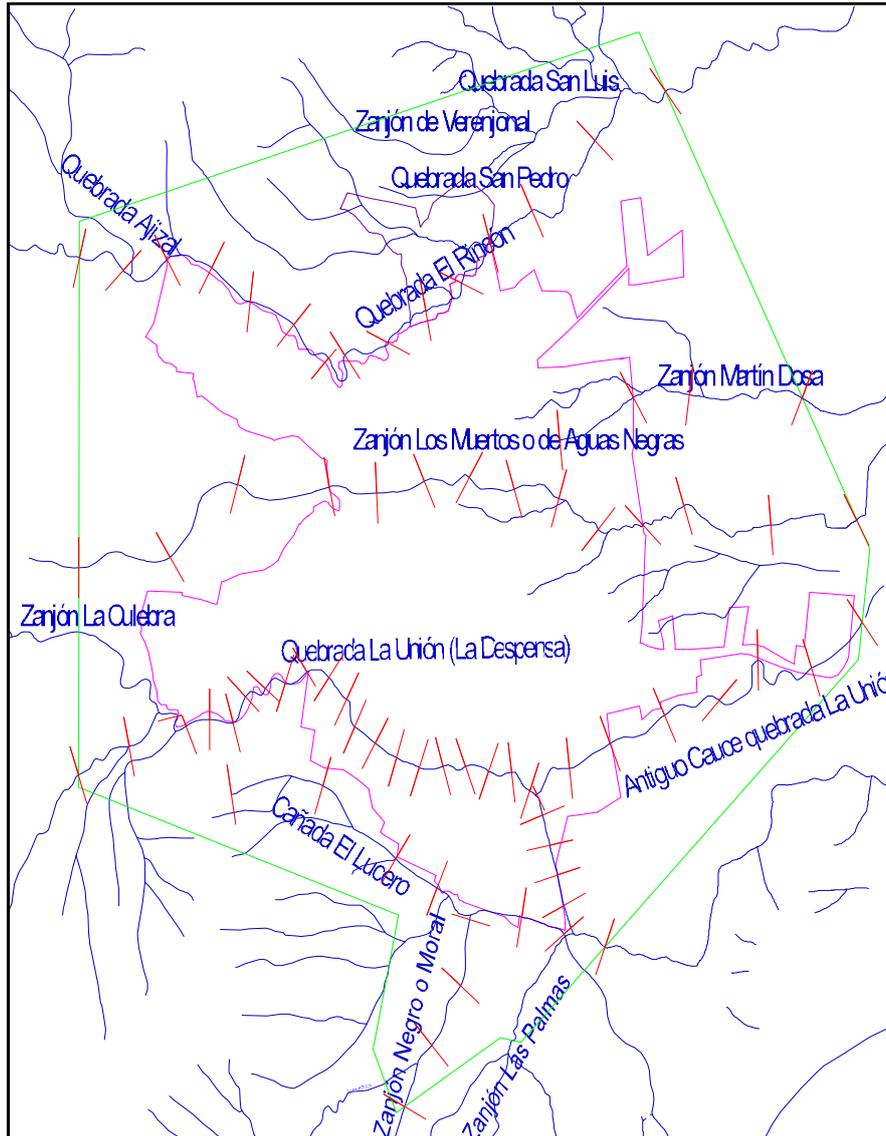
Zanjón Moral o Negro	720 m aguas arriba de la desembocadura del zanjón en la cañada El Lucero	Frontera interna en la desembocadura del zanjón en la cañada El Lucero	720	4		230
----------------------	--	--	-----	---	--	-----

Continuación Tabla 8.2...

Cauce	Frontera aguas arriba	Frontera aguas abajo	Longitud (m)	No. Secciones con levantamiento batimétrico y topográfico	Distancia entre secciones en el perímetro urbano y de expansión (m)	Distancia entre secciones fuera del perímetro urbano y de expansión (m)
Cañada El Lucero	1632 m aguas arriba de la desembocadura de la cañada en la quebrada Las Palmas; 988 m aguas arriba de la desembocadura del zanjón Negro en la cañada El Lucero	Frontera interna en la desembocadura de la cañada en la quebrada Las Palmas	1632	7	270	270
			TOTAL	77		

Tabla 8.3. Resumen de aforos líquidos a realizar en el municipio de La Unión.

Cauce	No. Aforos
Quebrada La Unión	Un aforo, frontera aguas arriba
Quebrada El Rincón	Un aforo, frontera aguas arriba
TOTAL	2



ESCALA 1: 219594

Figura 8.3 Localización de las secciones transversales a levantar en la zona de estudio del municipio de La Unión.

7.1.2.2.3. Requerimientos hidrológicos

- Para efectuar la modelación de los diferentes eventos catastróficos por inundaciones en el municipio de La Unión es necesario determinar las condiciones hidrológicas en las fronteras del área a modelar. En las fronteras superiores de los tramos a modelar de la quebrada La Unión y la quebrada El Rincón 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).

7.1.2.2.4. 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:

- i) 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.
- ii) 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.
- iii) 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 8.4 se indica, para cada corriente a estudiar en el municipio de La Unión, la clase y cantidad de ensayos que se deben realizar.

Tabla 8.4. Muestreo del material del lecho a realizar en los cauces del municipio de La Unión.

Tipo de muestreo	Método de muestreo y análisis	Quebrada La Unión	Quebrada El Rincón	Zanjón Los Muertos	Zanjón Moral o Negro	Cañada El Lucero
Muestra superficial de material granular grueso en el lecho del cauce	Muestreo superficial y análisis fotográfico	5	5	5	3	1
Muestra superficial de material fino en zonas del cauce e inundables (cono de deyección)	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado e hidrometría	10	10	5	4	2
Muestra en la zona susceptible a deslizamientos adyacentes a los cauces	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado e hidrometría	3	3	1	1	1
Muestra subsuperficial	Muestreo volumétrico y análisis por tamizado	5	5	5	3	1

7.1.2.3. 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 las quebradas La Unión y El Rincón corresponden principalmente a cauces conformados 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 de estos cauces 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 el zanjón Moral se llevó a cabo el mismo procedimiento, así como en la quebrada La Aguada, uno de los afluentes de la quebrada El Rincón antes de su recorrido por la zona urbana y de expansión.

8.2. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA E HIDRÁULICA

8.2.1. Caracterización sedimentológica

8.2.1.1. Descripción del método de muestreo

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 8.4). 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).

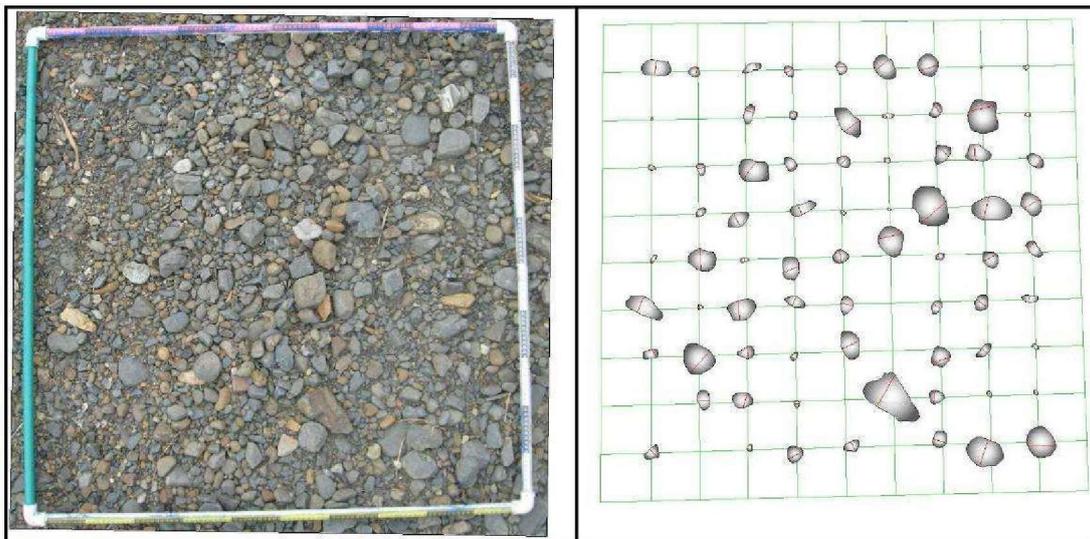


Figura 8.4 Identificación de partículas para análisis granulométricos de malla-número (a) Muestra fotográfica; (b) Partículas delimitadas en las intersecciones de la malla.

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, éste se denomina 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:

$$P_{M2-A2} = \frac{P_{M1-A1} \times D_i^x}{\sum (P_{M1-A1} \times D_i^x)} \text{ ec. (1)}$$

Donde:

P_{M1-A1} = Porcentaje de la fracción de tamaño D_i obtenido empleando el método de muestreo M_1 de análisis A_1 .

P_{M2-A2} = 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 8.5 se presenta el valor del exponente “ x ” a utilizar en la expresión de Kellerhals y Bray para convertir la curva granulométrica obtenida por 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).

Las quebradas La Unión y El Rincón y el zanjón Moral en el tramo de estudio presentan las características de cauces de montaña con lechos constituidos 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 cauce con lecho de gravas y piedras se optó por emplear en estas corrientes de agua un método de muestreo superficial de malla y la técnica de análisis de frecuencia por número (método malla-número). En el

muestreo por malla se siguió el procedimiento fotográfico referido en el numeral 8.2.1.1, y se empleó la técnica de análisis de frecuencia por número.

Tabla 8.5. Valores de x para la expresión de Kallerhals 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

Después de retirar cuidadosamente la capa superficial gruesa se tomó una muestra volumétrica 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 más gruesa en las corrientes de agua del municipio de La Unión.

Puesto que las muestras superficiales fueron recolectadas empleando el muestreo superficial por malla y analizadas mediante la técnica de frecuencia por número, es 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 a aplicar en la expresión de Kallerhals y Bray es $x = 0$ (ver Tabla 8.5). Esto significa finalmente que las curvas granulométricas obtenidas mediante muestreo volumétrico y análisis de frecuencia por peso y muestreo por malla y análisis de frecuencia por número son idénticas, de acuerdo con el modelo del cubo sin vacíos propuesto por Kallerhals y Bray (1971).

8.2.1.3. Diámetros característicos del material del los cauces del municipio de La Unión.

En las Tablas 8.6 a 8.8 y en las Figuras 8.5 a 8.7 se presentan respectivamente los diámetros característicos y las curvas granulométricas obtenidas del análisis granulométrico por el método de malla-número del material del lecho en las quebradas La Unión y El rincón y el zanjón Moral, así como las curvas granulométricas promedio y sus correspondientes diámetros característicos. Los valores de los diámetros característicos faltantes en las Tablas 8.6 a 8.8 en algunos de los sectores de muestreo no pudieron ser determinados mediante el método de malla-número ya que dicho método registra 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.

Tabla 8.6. Diámetros característicos del material del lecho la quebrada La Unión.

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 La Unión en el puente de la Carrera 19	Superficial	-	-	13	13	25	44	54
Quebrada La Unión en el puente de la Carrera 13	Superficial	-	-	11	23	34	50	53
Paso de Oro (frontera superior)	Superficial	-	-	10	21	34	50	57
Barrio Las Camelias (frontera superior)	Superficial	-	-	-	-	31	60	71
Quebrada La Unión en la confluencia con la cañada El Lucero	Superficial	-	-	-	11	23	44	50
Quebrada La Unión en el puente de la Carrera 11	Superficial	-	2	9	20	26	34	42
Quebrada La Unión en el puente de la Carrera 10	Superficial	-	2,5	5,2	12	19	28	32
Quebrada La Unión en el puente cerca al dique de desvío de la quebrada	Superficial	4	5	12	22	31	41	49
Quebrada La Unión en la vía Panamericana	Superficial	-	-	6	16	31	46	63
Curva granulométrica promedio	Superficial	3	3,5	6	15	30	44	50

CURVAS GRANULOMÉTRICAS EN LA QUEBRADA LA UNIÓN

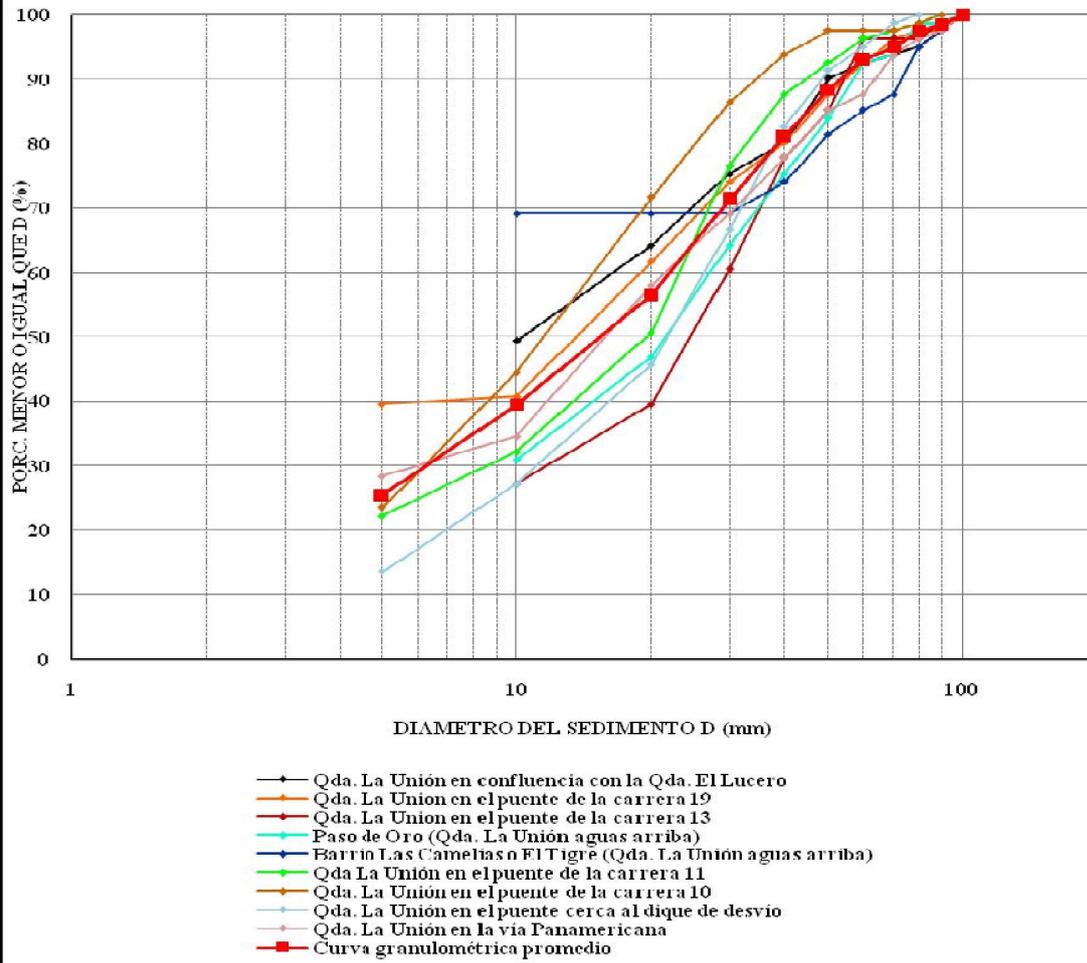


Figura 8.5 Curvas granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada La Unión, en diferentes sectores.

Tabla 8.7. Diámetros característicos del material del lecho la quebrada El Rincón.

Lugar de la muestra	Tipo de muestra	d₁₀ (mm)	d₁₆ (mm)	d₃₀ (mm)	d₅₀ (mm)	d₇₀ (mm)	d₈₄ (mm)	d₉₀ (mm)
Quebrada El Rincón	Superficial	-	-	13	25	39	54	70
Desembocadura de la quebrada La Aguada en la quebrada El Rincón	Superficial	-	-	4	14	30	44	60
Villa Eserilla 2 (quebrada El Rincón)	Superficial	4	5	8	13	20	39	50
Curva granulométrica promedio	Superficial	2	2,5	8	17	31	50	60

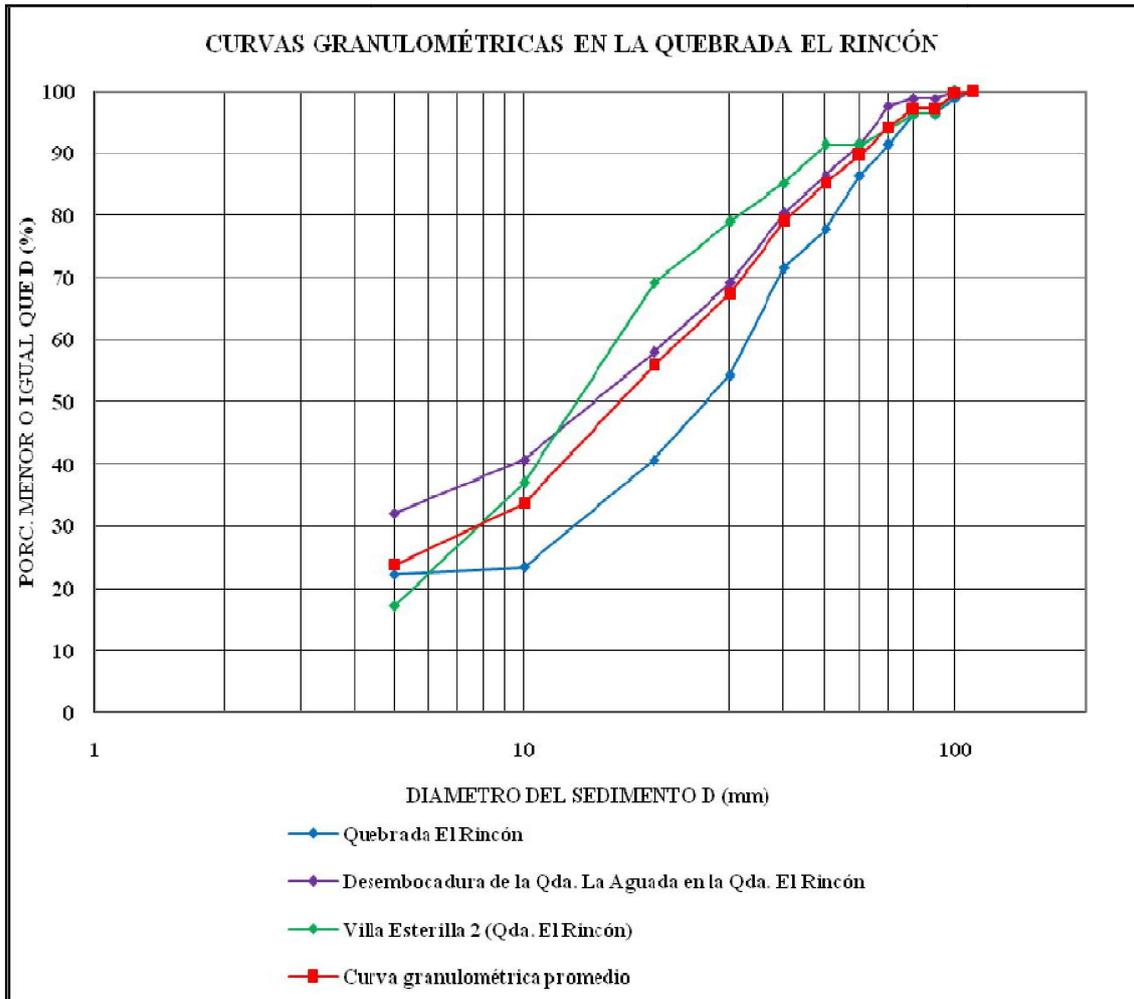


Figura 8.6 Curvas granulométrica del material superficial del lecho de la quebrada El Rincón, en diferentes sectores.

Tabla 8.8. Diámetros característicos del material del lecho del zanjón Moral.

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)
Zanjón Moral	Superficial	-	-	-	14	40	60	70

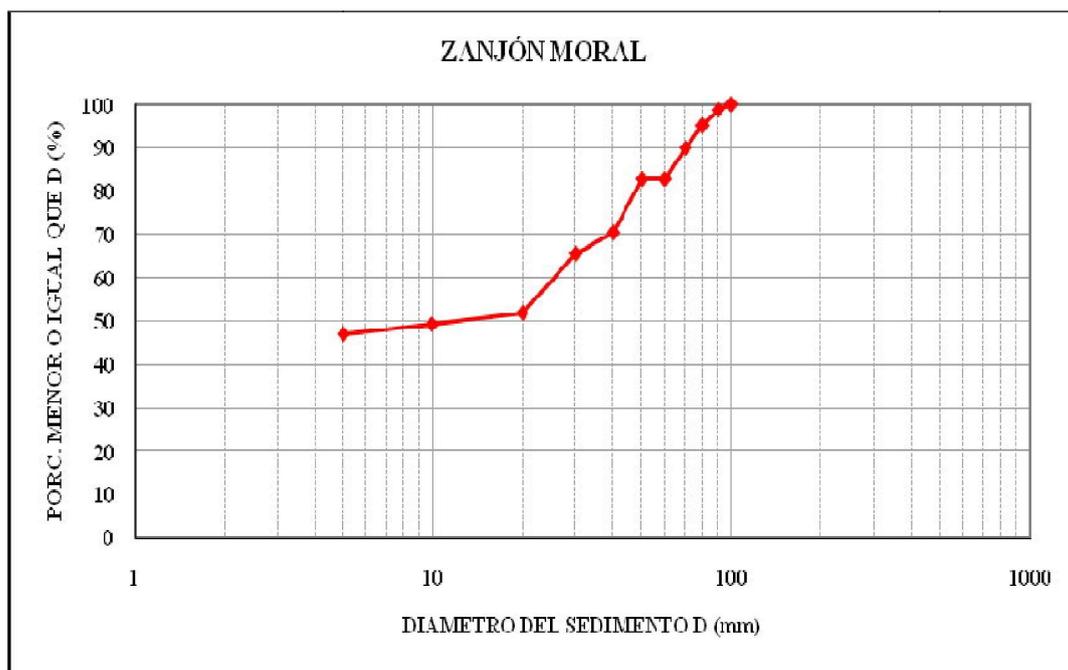


Figura 8.7 Curva granulométrica del material superficial del zanjón Moral.

8.2.2. Caracterización hidráulica

8.2.2.1. Características generales de la quebrada La Unión

La quebrada La Unión es el cauce principal del municipio de La Unión. Cruza el municipio en sentido occidente - oriente en una longitud aproximada de 2.5 km, desde el puente conocido como Pasoancho en el extremo suroccidental del municipio, hasta la confluencia con el zanjón Las Palmas, la cual continúa su recorrido para entregar sus aguas finalmente al canal interceptor del distrito de riego RUT.

8.2.2.2. Secciones transversales

Hasta la fecha no se tienen aún los resultados de las campañas de levantamientos topobatemétricos. Por lo tanto, se consultó el trabajo de campo realizado por el grupo de Hidrología realizado hasta la fecha, en el cual se incluye un programa de aforos. De esta información se extrajo las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón en las fronteras superiores.

A continuación se muestra en las Figuras 8.8 y 8.9 las secciones transversales de la quebrada La Unión y la quebrada El Rincón en los sitios de aforo (fronteras superiores) y en la Tabla 8.9 las características geométricas e hidráulicas de dichas secciones transversales.

Tabla 8.9. Características geométricas e hidráulicas de las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón, en las fronteras superiores, para el nivel de banca llena.

Cauce	Ancho superior (nivel de banca llena) (m)	Área de la sección transversal (m)	Perímetro mojado (m)	Radio hidráulico (m)
Quebrada La Unión	8.21	7.32	17.63	0.78
Quebrada El Rincón	7.30	7.41	8.67	0.86

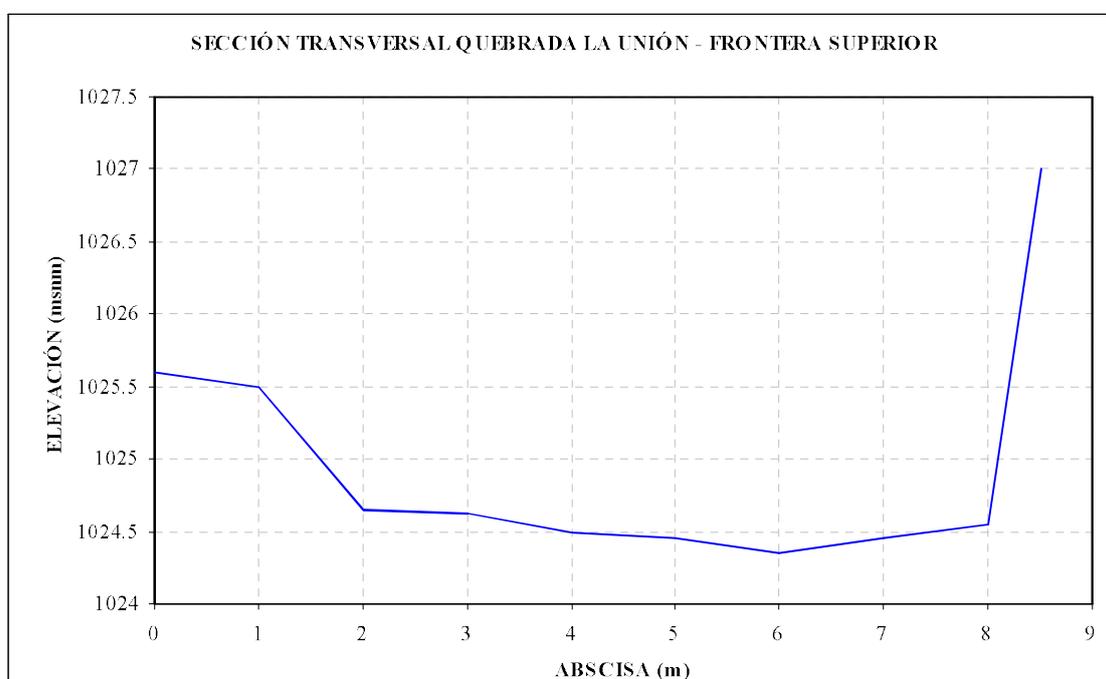


Figura 8.8 Sección transversal de la quebrada La Unión (frontera superior).

8.2.2.3. 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 pocas 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 de las quebradas La Unión y El Rincón en el tramo de estudio, se evaluaron 7 expresiones que, en principio, se ajustan a las condiciones del río 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) y Charlton (1978). Estas ecuaciones están en función del radio hidráulico y los diámetros característicos del material del lecho, como el d_{50} , d_{84} y d_{90} . Las expresiones se aplicaron para los valores de las características geométricas y los diámetros característicos de las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón en las fronteras superiores.

Sin embargo, las formulaciones de Griffiths, Ugarte & Méndez, Knighton, Samora, Grant y Limerinos arrojaron sistemáticamente valores muy bajos (valores de rugosidad de Manning menores que $0,025 \text{ s/m}^{1/3}$), considerados como no representativos de la rugosidad de cauces como las quebradas La Unión y El Rincón, teniendo en cuenta sus características morfológicas y sedimentológicas (material granulares gruesos de diferentes tamaños). La ecuación de Charlton de tipo exponencial, sin embargo, arrojó el valor de rugosidad más alto de todas las expresiones utilizadas, para ambas corrientes de agua.

Charlton (1978) empleó registros de variables hidráulicas en diferentes ríos británicos de grava, canto y bolo, con el propósito fundamental de encontrar una relación con el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, f , en este tipo de corrientes. Charlton determinó que la relación de mejor ajuste para determinar el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, f , con base en el radio hidráulico, R , y el diámetro medio del material del lecho, d_{90} , es la siguiente:

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = 4.62 \left(\frac{R}{d_{90}} \right)^{0.23} \text{ ec. (2)}$$

Según López (2005), la ecuación es aplicable 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 de rugosidad obtenidos para las quebradas El Rincón y La Unión se presentan en la Tabla 8.10.

Tabla 8.10. Rugosidad de Manning, coeficiente de Chezy y coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach para las secciones transversales de las quebradas La Unión y El Rincón, en las fronteras superiores.

	R (m)	f	C (m^{1/2}/s)	n (m³/s)
Quebrada La Unión	0.78	0.09	29.86	0.032
Quebrada El Rincón	0.86	0.10	28.29	0.034

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/cm³. 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/cm³.

En el presente estudio, se acogerá la clasificación de flujos según Costa (1984) ya que es la empleada por el modelo FLO-2D.

- **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 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 8.9 se muestran las diferentes clases de flujo y las disciplinas encargadas de su estudio, y en la Figura 8.10 se muestra la clasificación de los flujos según Meunier (1991).

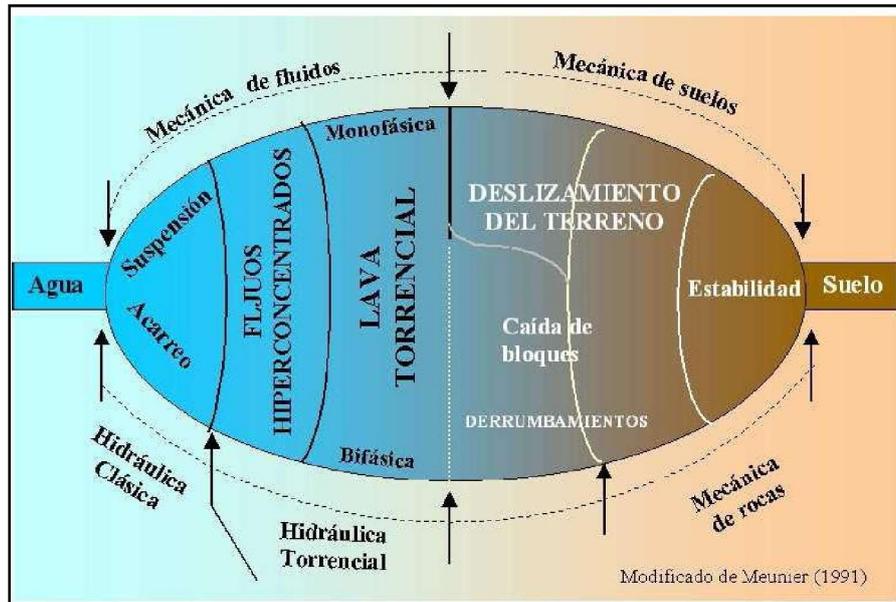


Figura 8.9 Clases de flujo.

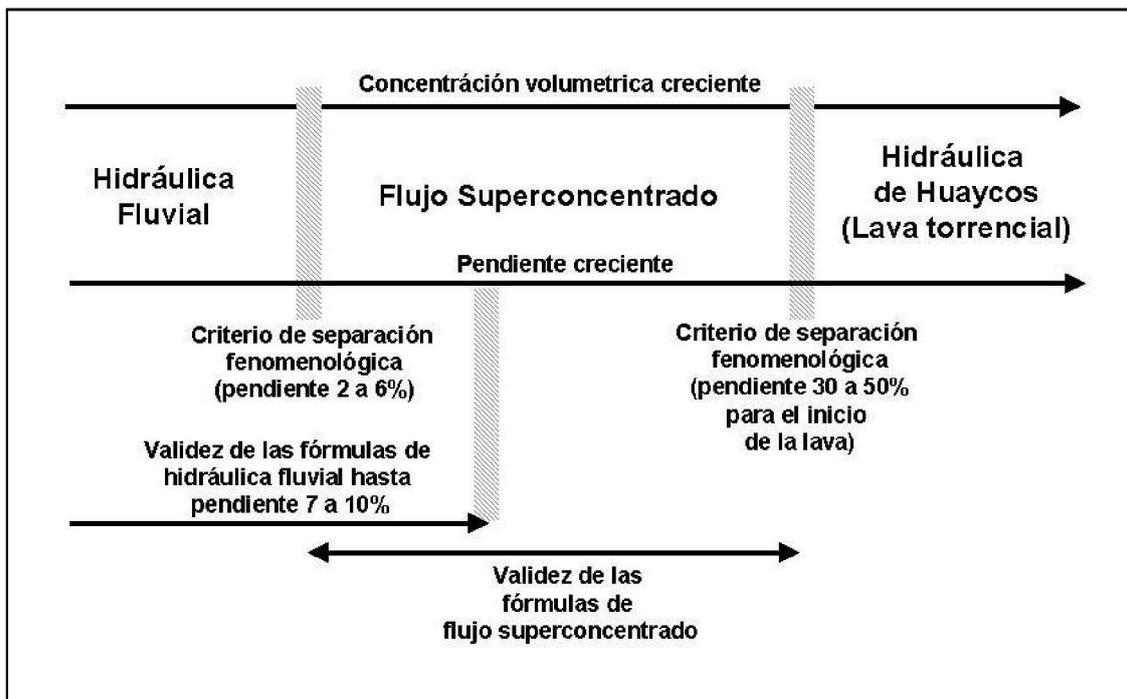


Figura 8.10 Clasificación de flujos según Meunier (1991).

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 Buga, 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 8.11, 8.12 y 8.13 se muestra el perfil de un frente de detritos y la morfología de la huella de los flujos detríticos.

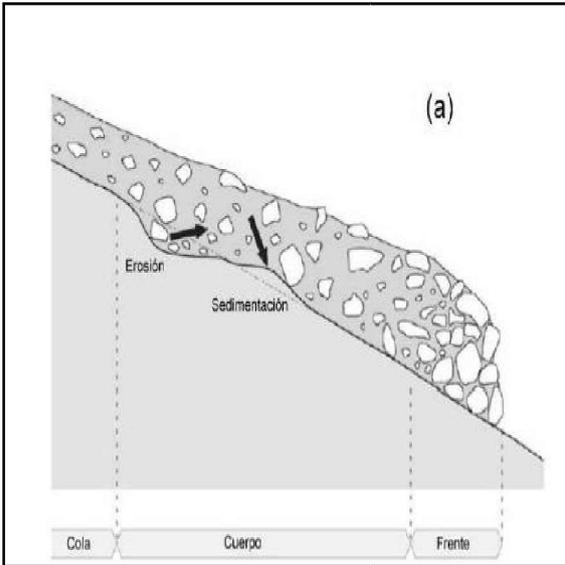


Figura 8.11 Perfil de un frente de detritos (extraído de Schatzman, 2005).

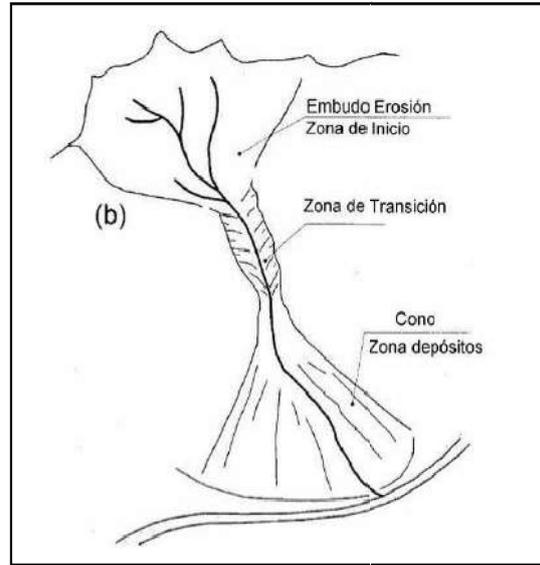


Figura 8.12 Morfología de la huella de los flujos detriticos (extraído de Vèosla, 2005).

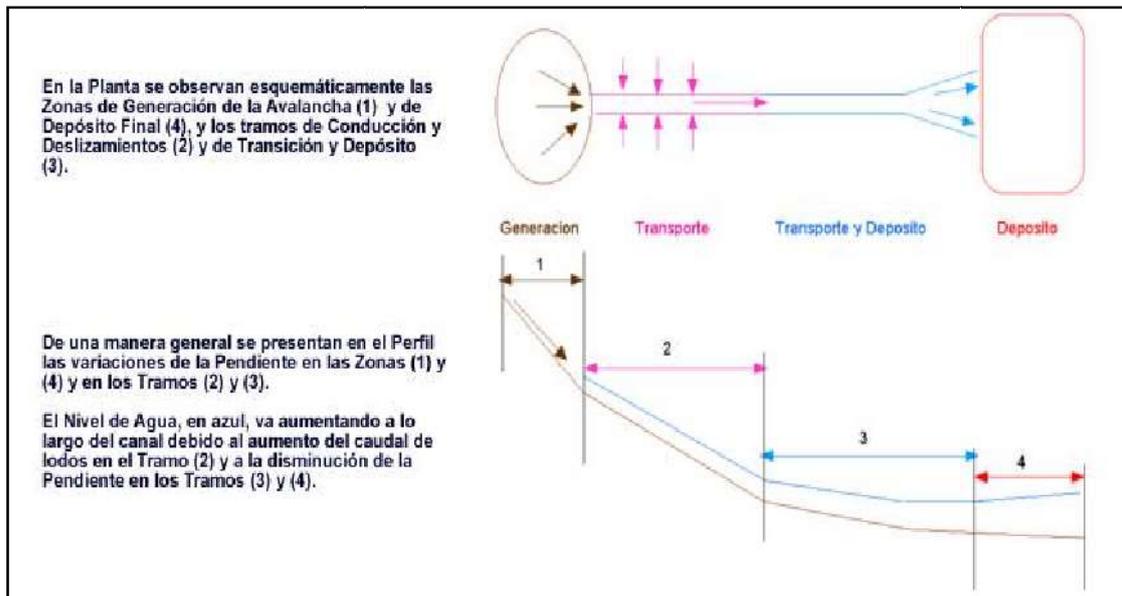


Figura 8.13 Perfil de un frente de detritos (Silva (1998)).

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 8.14 se ilustran algunos de los modelos usados para describir la relación esfuerzo deformación en 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.

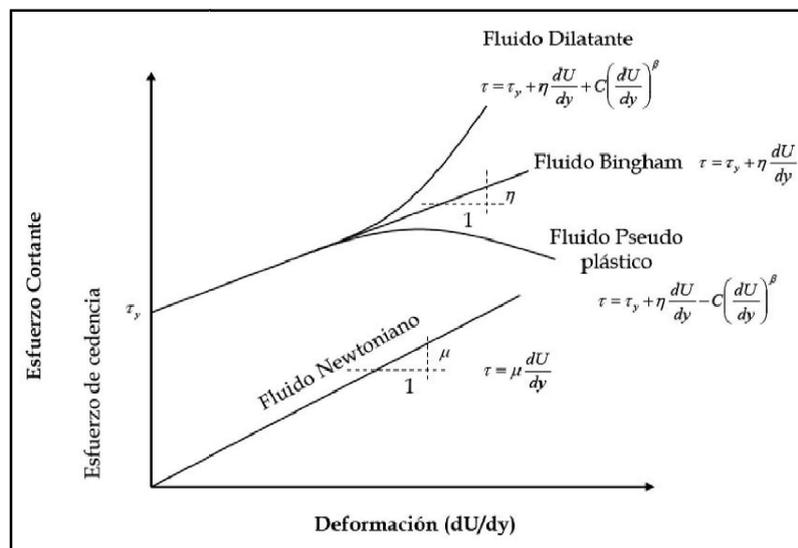


Figura 8.14 Relación esfuerzo – deformación para distintas clases de fluidos.

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:

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

Donde el coeficiente de restitución de energía e_n^2 varía, después del impacto, entre 0.70 y 0.85 para arenas; α_i 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 8.11 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 8.11. 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 m²/s (ver Figura 8.15).

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 8.16). 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 8.15).

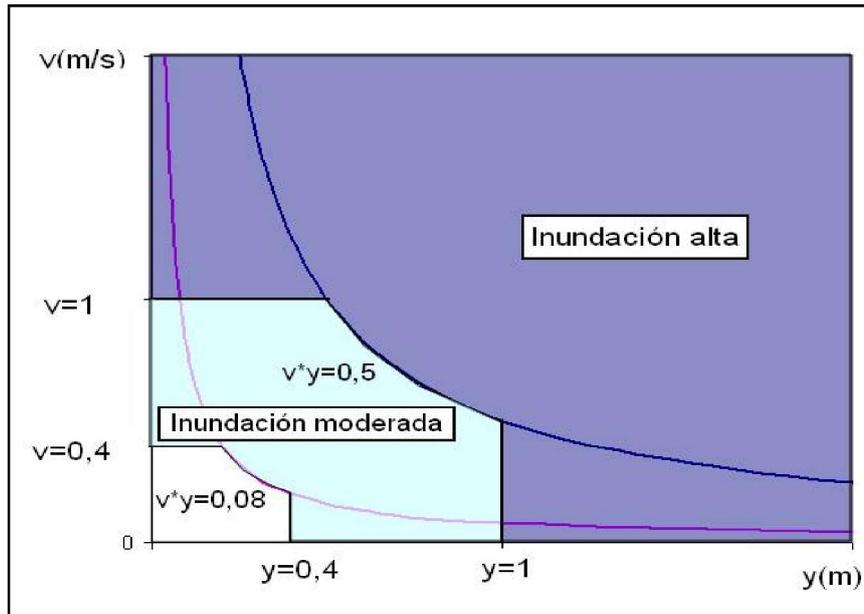


Figura 8.15 Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua.

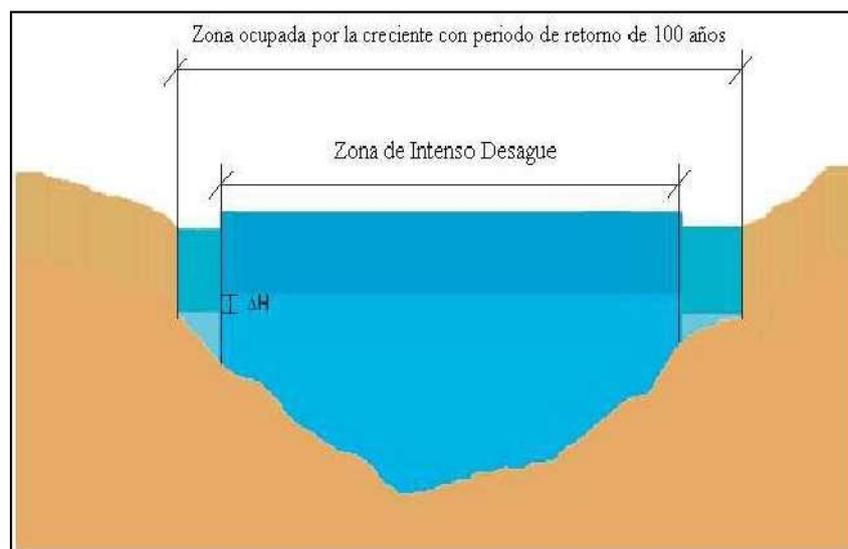


Figura 8.16 Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua.

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 8.12.

Tabla 8.12. 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 8.13).

Tabla 8.13. 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.

8.4.1.5. 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 8.14 y en la Figura 8.17 se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

Tabla 8.14. 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

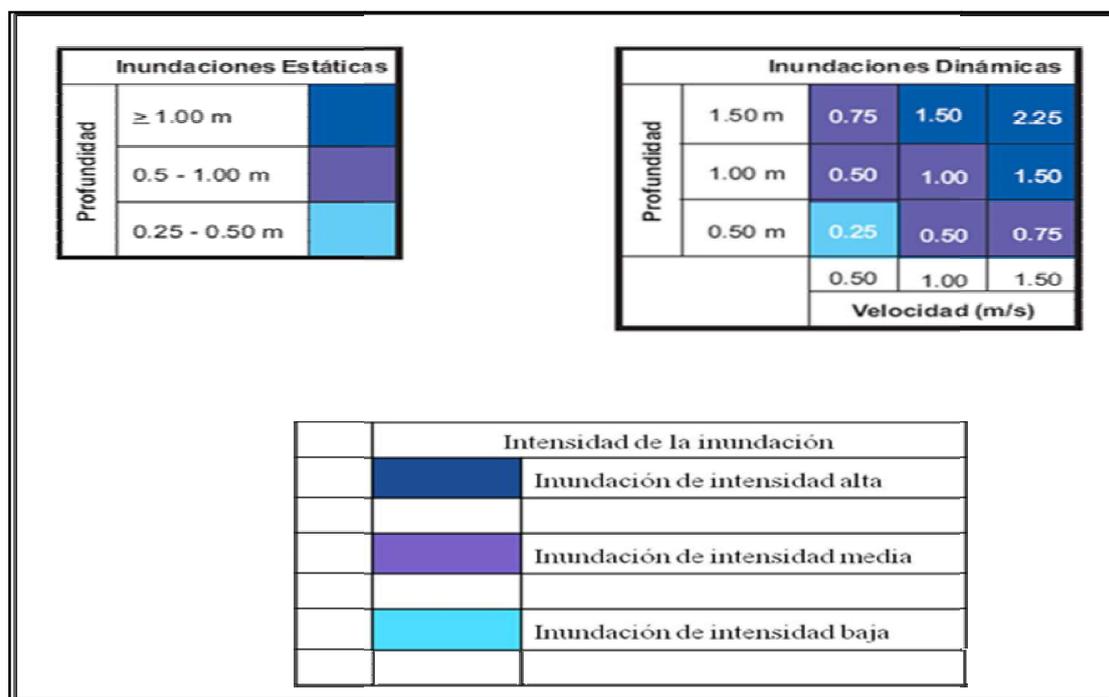


Figura 8.17 Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales).

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 m^2/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 m^2/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 $V \cdot H$ es menor a $0.50 \text{ m}^2/\text{s}$.

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 8.15).

Tabla 8.15. 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 periodo de retorno y la intensidad de la inundación (H y V) (ver Tabla 8.16).

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.

Tabla 8.16. Matriz de niveles de amenaza por inundaciones.

		NIVEL DE AMENAZA		
		INTENSIDAD	Alta $H \geq 1.00 \text{ m}$ ó $H*V > 1.50 \text{ m}^2/\text{s}$	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 $50 < Tr \leq 200$

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 8.18.

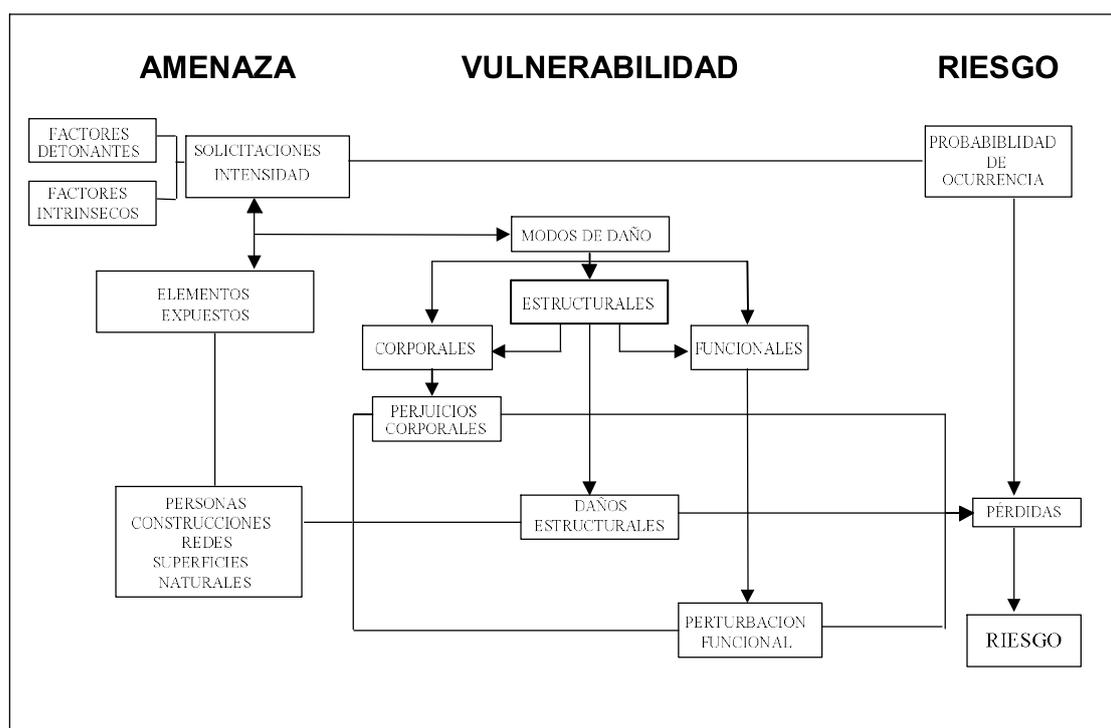


Figura 8.18 Metodología para la estructuración de un escenario de riesgo.

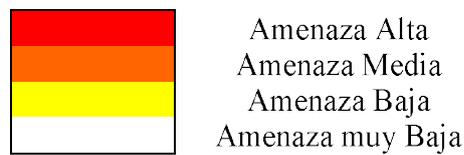
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC - Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Ingeominas. Convenio CVC-984/96 Ingeominas I-024. Santa Fe de Bogotá, marzo de 1998)

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 8.17.

Tabla 8.17. 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%	



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 8.18.

Tabla 8.18. 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 8.19.

Tabla 8.19. Intensidad de la inundación.

Intensidad de la inundación	Profundidad máxima h (m)		Producto de la profundidad máxima h y la velocidad máxima V (m ² /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 8.20.

Tabla 8.20. 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 (m ² /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 8.21.

Tabla 8.21. 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 8.22).

Tabla 8.22. 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 8.23.

Tabla 8.23. 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 8.24. 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 7.24. 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 8.25. 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 8.25. Nivel de intensidad o magnitud.

Intensidad o magnitud de la inundación profundidad (H) (m) velocidad (V) (m/s) profundidad por velocidad del flujo ($H \cdot V$ (m^2/s))	Nivel de intensidad o magnitud de la inundación
$H \geq 0.90$ ó $V \geq 0.80$ ó $H \cdot V \geq 0.45$	Alta
$0.45 \leq H < 0.90$ ó $0.50 \leq V < 0.80$ ó $0.225 \leq H \cdot V < 0.45$	Media
$H < 0.45$ y $V < 0.50$ y $H \cdot V < 0.225$	Baja

Los niveles de intensidad expresados en la Tabla 7.25 se presentan en la Figura 7.19.

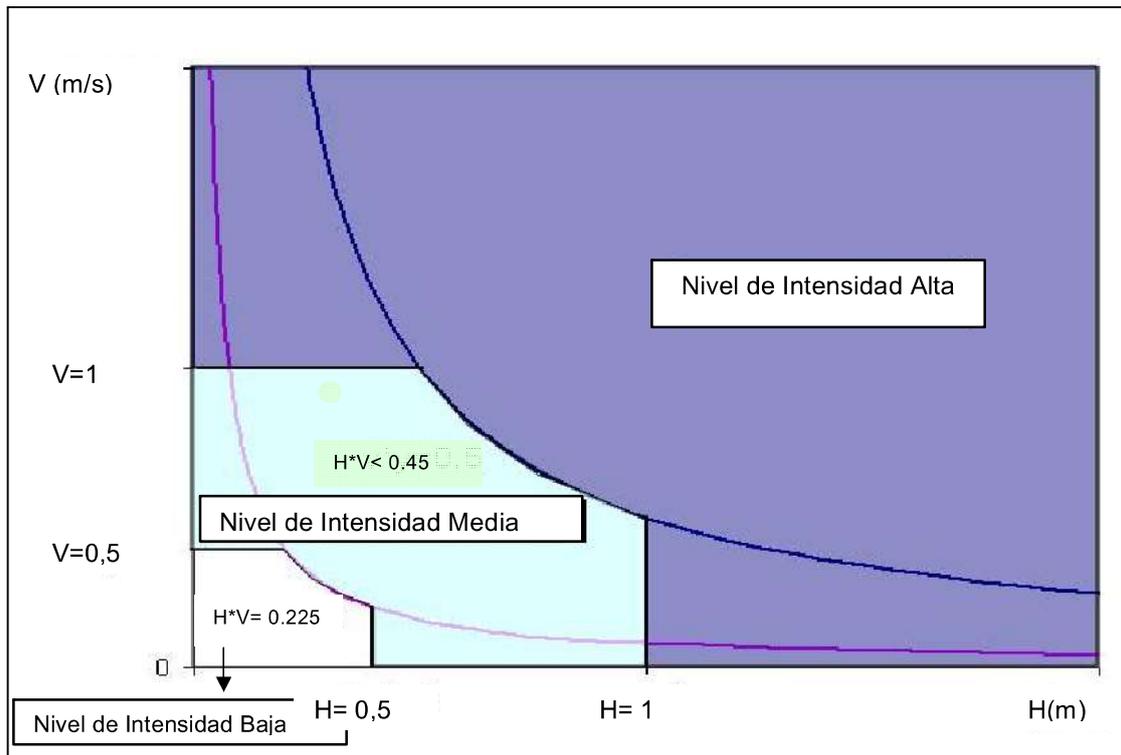


Figura 8.19 Nivel de intensidad o magnitud.

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 8.26 y 8.27.

Tabla 8.26. Matriz de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud.

Nivel de intensidad	Nivel de amenaza		
	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
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 8.27. Niveles de amenaza.

Profundidad (m) o velocidad (m/s) o profundidad por velocidad (m²/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 $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$10 < Tr \leq 30$	Media	Alta
$H \geq 0.90 \text{ m}$ ó $V \geq 0.80 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	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 $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	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 $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	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 $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Media
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$Tr \leq 10$	Alta	Media
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$10 < Tr \leq 30$	Media	Baja
$H < 0.45 \text{ m}$ y $V < 0.50 \text{ m/s}$ y $H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$	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 8.28. 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 m²/s y 0.25 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 7.28. 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 8.28 se pueden observar en la Figura 8.20.

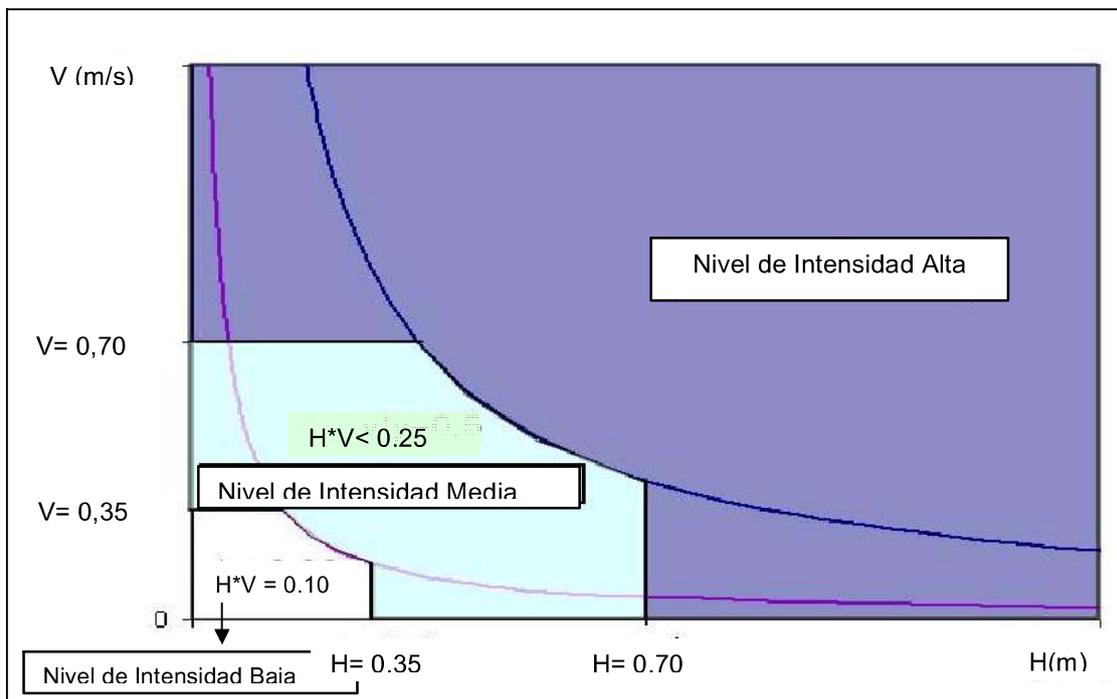


Figura 8.20 Nivel de intensidad de las inundaciones por flujos torrenciales según grupo Hidromar-Univalle.

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 8.29 y 8.30.

Tabla 8.29. 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 8.30. 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
$H \geq 0.50 \text{ m} \text{ ó } V \geq 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$H \geq 0.50 \text{ m} \text{ ó } V \geq 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$10 < Tr \leq 30$	Media	Alta
$H \geq 0.50 \text{ m} \text{ ó } V \geq 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } H*V \geq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Alta	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Alta
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m} \text{ ó } 0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } 0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$Tr \leq 10$	Alta	Alta
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m} \text{ ó } 0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } 0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$10 < Tr \leq 30$	Media	Media
$0.25 \text{ m} \leq H < 0.50 \text{ m} \text{ ó } 0.25 \text{ m/s} \leq V < 0.50 \text{ m/s} \text{ ó } 0.10 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	Media	$30 < Tr \leq 100$	Baja	Media
$H < 0.25 \text{ m} \text{ y } V < 0.25 \text{ m/s} \text{ y } H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$Tr \leq 10$	Alta	Media
$H < 0.25 \text{ m} \text{ y } V < 0.25 \text{ m/s} \text{ y } H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	Baja	$10 < Tr \leq 30$	Media	Baja
$H < 0.25 \text{ m} \text{ y } V < 0.25 \text{ m/s} \text{ y } H*V < 0.10 \text{ m}^2/\text{s}$	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. GEOTECNIA

9.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de evaluar las características del material arrastrado por las corrientes: Quebrada El Rincón y Q. La Unión ubicadas en el Municipio de estudio (dichas quebradas aumentan la amenaza de inundación, debido a sus crecientes) y determinar la capacidad de respuesta de la zona ante las crecientes, además de las posibles avalanchas torrenciales, se realizó el plan de exploración del subsuelo.

Teniendo en cuenta que el problema fundamental de este municipio es el de inundaciones y avalanchas torrenciales, se procedió a realizar la toma de muestras sobre el lecho de los principales cauces, según requerimientos del grupo de hidráulica, con el fin definir la distribución de los diferentes tamaños de las partículas del suelo.

Durante la exploración se tomaron seis muestras alteradas sobre el lecho del río, tres sobre la quebrada El Rincón y tres sobre la quebrada La Unión; además una muestra inalterada del subsuelo, mediante un apique con el propósito de caracterizar las propiedades geomecánicas del material aflorante. En la Figura 9.1 se ilustra la ubicación de cada uno de los puntos de la exploración, y en la Tabla 9.1 se presentan las características de los puntos de exploración: coordenadas, tipo de exploración y profundidad. El registro fotográfico y descripción del apique realizado se incluye en el Anexo 9.1 “Registro de Exploración del Subsuelo”.

Tabla 9.1. Características de los apiques y sondeos mecánicos realizados

ID	COORDENADAS MAGNA		TIPO DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (m)
	NORTE	ESTE		
M1	994156	1107099	LECHO DE RIO	superficial
M2	993849	1107784	LECHO DE RIO	superficial
M3	994241	1108391	LECHO DE RIO	superficial
M4	992310	1108624	LECHO DE RIO	superficial
M5	992715	1107747	LECHO DE RIO	superficial
M6	992783	1106878	LECHO DE RIO	superficial
AP1	994008	1106723	APIQUE	(0,0-2,0)

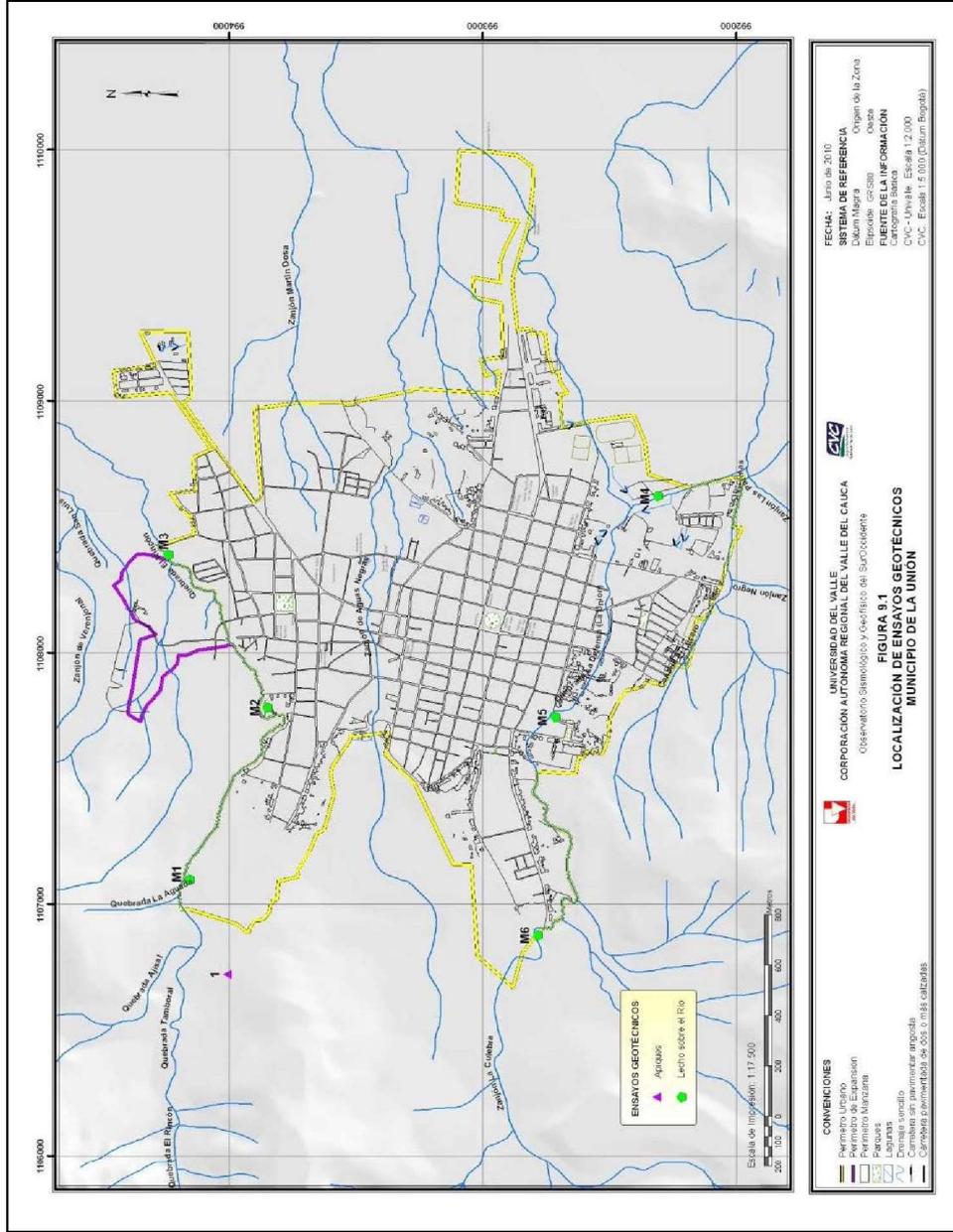


Figura 9.1 Ubicación de apiques, sondeos mecánicos y muestreos sobre el lecho de los principales cauces.

9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para caracterizar las propiedades índices y geomecánicas del material aflorante en la zona de estudio, se realizaron ensayos de clasificación y resistencia sobre las muestras recuperadas durante la fase exploratoria. A continuación se presentan los resultados obtenidos sobre las diferentes muestras analizadas, ver Anexo 9.2 “Resultados de ensayos de laboratorio”.

9.2.1. Ensayo de clasificación

Se realizaron estos ensayos con el fin de caracterizar las propiedades del material arrastrado y depositado por las diferentes quebradas. Los ensayos típicos realizados correspondieron básicamente a granulometrías e hidrometrías. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9.2, mientras que en la Figura 9.2 se ilustran las curvas de granulometría e hidrometría características de una de las muestras, donde se puede observar que el material es pobremente gradado.

Tabla 9.2. Relaciones granulométricas.

ID	D10	D30	D60	Cu	Cc
M1.1	0.23	1.2	4.5	19.6	1.4
M1.2	0.2	0.61	2.2	11.0	0.85
M2.1	0.18	0.45	0.99	5.5	1.14
M2.2	-	0.17	0.49	-	-
M3.1	0.25	1.2	12	48	0.48
M3.2	-	0.18	0.41	-	-
M4.1	0.18	0.37	0.69	3.8	1.1
M4.2	-	-	0.03	-	-
M5.1	0.85	2.6	6.3	7.4	1.3
M5.2	-	-	0.2	-	-
M6	0.35	1.8	2.8	8.0	3.3

MUESTREO N°3

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

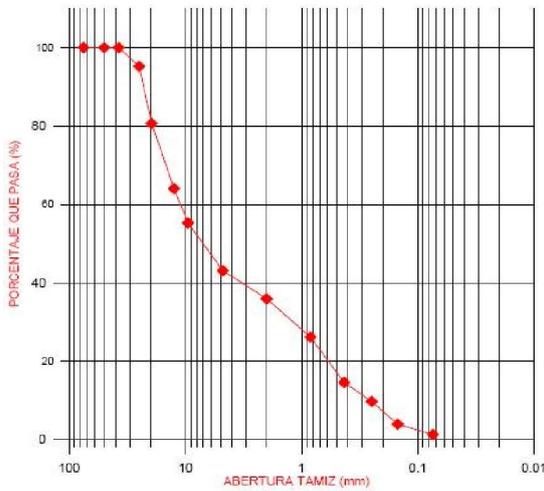
PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 3 MUESTRA: M3.1
 Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN

Coordenadas: N: 994241
 E: 1108391

Relaciones granulométricas:

D60=12 ; D30=1.2 ; D10=0.25
 Cu=48 ; Cc=0.48

Descripción M3.1: Material granular, gravas gruesas subredondeadas con arena grano medio.



D₆₀=12 D₃₀=1.2 D₁₀=0.25 C_u=48 C_c=0.48

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

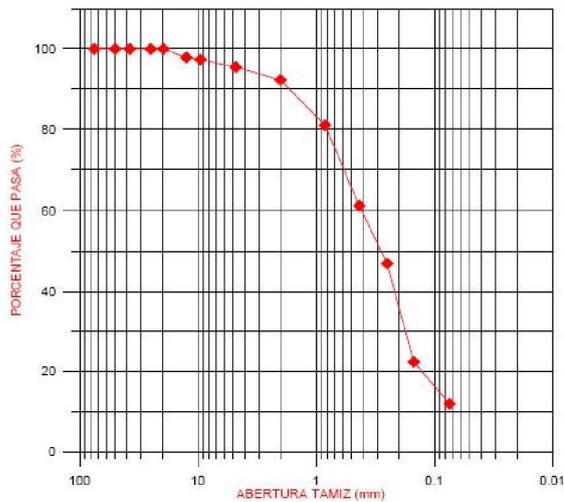
PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 3 MUESTRA: M3.2
 Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN



Relaciones granulométricas:

D60=0.41 ; D30=0.18 ; D10= -
 Cu= - ; Cc= -

Descripción M3.2: Arena fina café clara con algunas gravas.



D₆₀=0.41 D₃₀=0.18 D₁₀= - C_u= - C_c= -

Figura 9.2 Curvas granulométricas y características de muestreo No 3 Quebrada el Rincón.

9.2.2. Ensayos de resistencia

9.2.2.1. Ensayos de corte directo

Con el fin de obtener los parámetros de resistencia del material aflorante en la zona, se realizó un ensayo de corte directo para condición consolidada drenada. En la Figura 9.3 se ilustra la envolvente de falla Mohr-Coulomb típica de las muestras ensayadas, y además en la Figura 9.3 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 9.3 se presentan los parámetros de resistencia del suelo obtenidos tanto en condición pico como residual.

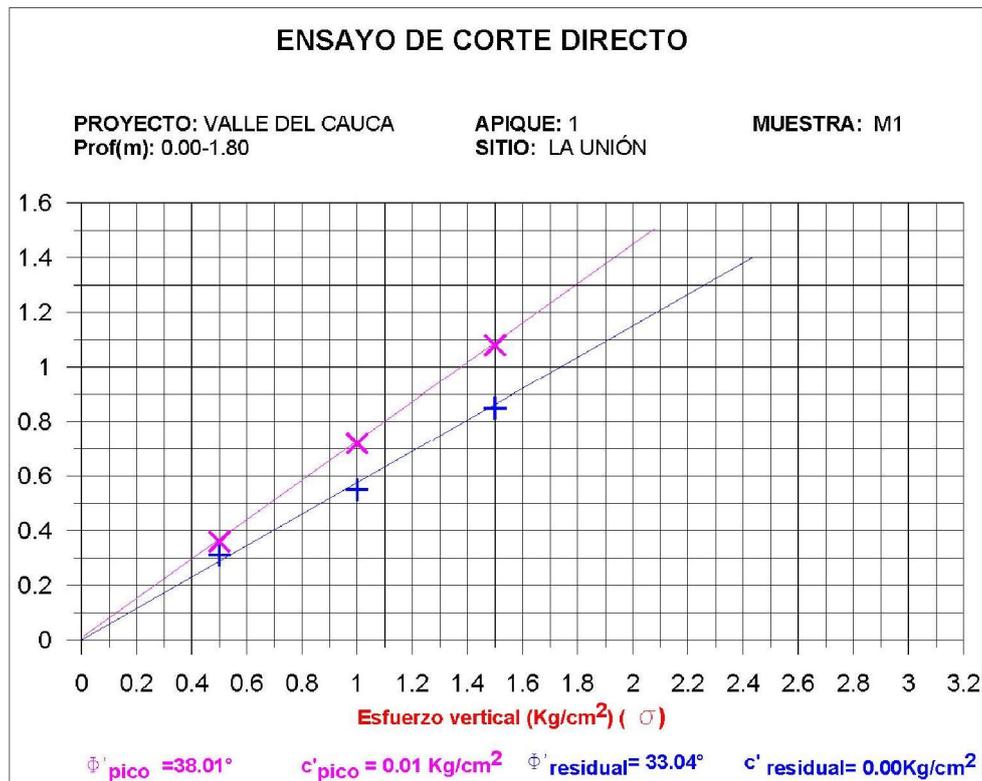


Figura 9.3 Envolvente de falla Mohr-Coulomb API.

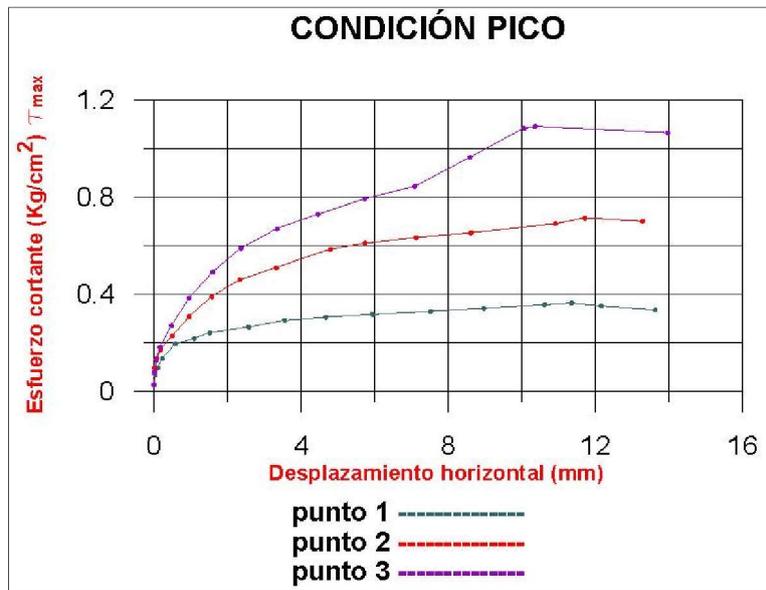


Figura 9.3 Curva esfuerzo deformación en condición pico API.

Tabla 9.3. Resultado de ensayo de corte directo

ID	Condición Pico		Condición Residual	
	θ (°)	c' (kg/cm ²)	θ (°)	c' (kg/cm ²)
API	38.01	0.002	33.04	0.00

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

El Municipio de La Unión presentan problemas de inundaciones tanto por el desbordamiento de las Quebradas El Rincón, La Unión y Guasimo-Lucero, 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 de Villa Esterilla y los barrios aledaños cauces de las quebradas.

Entre los eventos más graves se encuentran los ocurridos en los años 2000, 2003, 2004, 2007 y los más frecuentes y graves en el 2006 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 2006 y 2008 son los más recordadas por las personas con las cuales hablamos.

Los mayores problemas de riesgo, se presentan tanto en la cabecera municipal como en las zonas que están 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 la mayoría de los casos, 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 La Unión.

Se considera 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 las quebradas que se desbordan, disminuir el impacto ambiental ocasionado por la falta de obras de arte en el manejo de las aguas lluvias, reubicar las familias de asentamientos subnormales como en el caso de Villa Esterilla y realizar la construcción de obras de mitigación, como gaviones, donde la quebrada La Unión a efectuado socavaciones, como recomiendan los estudios técnicos consultados.

Casi la totalidad de la cabecera municipal se encuentra localizada sobre conos aluviales, asociados a pequeños afluentes del río Cauca, los cuales están compuestos por limo, limo arcilloso, arena y capas de grava, por lo común, cubiertos por mantos de ceniza volcánica transportada desde las faldas de la Cordillera Occidental, cuyo espesor promedio es de 1m. Alguna porción superior puede corresponder a cenizas de caída ni diferenciable del resto del depósito. Estos depósitos, fuera del proceso erosivo lento en sus márgenes, y pequeños deslizamientos muy locales, no muestran fenómenos de remoción en masa notables. El mayor problema está relacionado con las inundaciones y el inadecuado uso del terreno.

Los ensayos de refracción sísmica se realizaron tanto en las áreas de expansión como en la cabecera municipal de La Unión.

La profundidad de exploración geofísica alcanza los 15.00 metros.

De acuerdo a los ensayos de refracción sísmica, la interpretación y correlación nos definió los diferentes horizontes de velocidad lito-estratigráficos a saber:

- DEPÓSITOS ALUVIALES, alcanza velocidades del orden de 250 a 550 metros/segundo.
- CONOS ALUVIALES, alcanza velocidades del orden de 210 a 430 metros/segundo.
- DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS, alcanzan velocidades del orden de 270 a 450 metros/segundo.
- FORMACIÓN ZARZAL, alcanza velocidades del orden de 370 a 680 metros/segundo.
- FORMACIÓN VOLCÁNICA, alcanza velocidades del orden de 820 a 1500 metros/segundo.

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.

11. BIBLIOGRAFIA

11. BIBLIOGRAFÍA

CVC. Informe Técnico de Inundaciones, municipio de La Unión, quebrada La Unión. La Unión. 2006.

INGEOMINAS. Mapa Geológico del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. 2001.

INGEOMINAS. Mapa Geológico del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. Memoria explicativa. 149p. 2001.

NIVIA, A; GALVIS, N. & MAYA, M. 1997. *Geología de la Plancha 242 - Zarzal*. INGEOMINAS, Bogotá. 73p.

CENICAFE, 2009. Base de datos estaciones. www.cenicafe.org/modules.php?name=Estado_del_tiempo_en_la_Zona_Cafetera&lite=0

Cunderlik, J. & Simonovic, S; 2004. Calibration, Verification, and Sensitivity Analysis of the HEC – HMS Hydrologic Model. Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions. Project Report IV. Agosto 2004.

CVC, 2001. Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica.

CVC, 2007, Base de datos estaciones, Boletín Hidroclimatológico.

CVC, 2007. Estudio de actualización de la precipitación media en el Valle del Cauca y elaboración de las isolíneas de las variables brillo solar, evaporación y temperatura.

CUSTODIO E. & LLAMAS M. R., 2001. Hidrología Superficial, Tomo I. ISSN 84-282-0281 – 8.

DESINVENTAR COLOMBIA Sistema de Inventario de Desastres, 2007. Base de datos Desinventar. Corporación OSSO – La Red.

(IDEAM). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia 2009. Base de datos estaciones hidrometeorológicas. <http://intranet.ideam.gov.co/vinfmteteo/Mventaig.asp>

(IGAC) Instituto Geográfico “Agustin Codazzi”. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Instituto Geográfico “Agustin Codazzi”, Subdirección de agrología, Bogotá. 502p.

Rodriguez, S., Gonzales, P., Medina, N., Pardo, C., Santos, R. Propuesta Metodológica para la Generación de Mapas de Inundación y Clasificación de Zonas de Amenaza. Caso de Estudio en la Parte Baja del Río Las Ceibas (Neiva- Huila).

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 La Unión. CVC. 2007.

CVC/Universidad del Valle. Formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el Valle del Cauca. Convenio 168 de 2003 –2005.

García, D. F. (2003). Hidráulica y transporte de sedimentos en ríos de montaña. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá, Colombia.

López, R. (2005). Resistencia al flujo de ríos de montaña: desarrollo de ecuaciones de predicción. España.

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). Surface-based bedload transport relation for gravel rivers. En: Journal of Hydraulic Research. Vol. 28, 1990, No. 4. Pags. 417 – 436.

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.

12. ANEXOS

Anexo 2.1 Lista eventos historicidad

Municipio	Fecha	Evento	Lugar	Fuente	Observaciones
La Unión	26/03/90	Inundación	Barrio El Jardín	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	08/01/93	Inundación	Barrio La Cruz	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	07/11/93	Inundación	Sitio Telecom	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	07/08/94	Inundación	Hospital San Esteban	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	02/07/95	Inundación	Cll. 17 16-33 y 13-26	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	17/05/96	Inundación	Cll. 12 #11-26	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	03/06/97	Inundación	Cll. 21 # 9-22	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	30/06/97	Inundación	Cll. 16 # 17-65, Barrio EL Jardín Cra. 20 #17-87, Barrio San Pedro Arriba Cll. 22 #20-98	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	27/09/97	Inundación	Barrios El Jardín Cll. 17 Cra. 21 y El Carmen Cll. 22 Cra. 25	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	10/04/99	Inundación	Barrio El Jardín Cra 20 # 15-26, Cll. 16 # 4-39, Cra 13 # 7-29 (Entrada a Guacimo)	Minuta Bomberos La Unión	Posible desbordamiento quebrada El Tigre-Guacimo
La Unión	02/05/99	Inundación	Barrio El Jardín	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	24/06/99	Inundación	Barrio Bellavista Cll. 16 Cra 8, 4, 21 B	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	07/08/00	Deslizamiento	Vía a Violetas	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	17/09/00	Inundación	Barrio Bellavista Cra 16 17-70	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	19/09/00	Inundación	Cra 16 17-27y Barrio Las Lajas Cra 9 15-70	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	18/11/00	Inundación	Cll. 12 18-08	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	08/05/01	Inundación	Cll. 13 20-34	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	11/03/02	Inundación	Cll. 12 15-38	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado, aguas lluvias
La Unión	14/05/02	Deslizamiento	Vereda El Rincón, Esneda	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	27/10/02	Inundación y Deslizamiento	Corregimiento San Luis	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	18/03/03	Inundación	Cll. 18 Cra. 13	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado

La Unión	17/04/03	Inundación	Corregimiento San Luis	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada Los Muertos
La Unión	03/09/03	Inundación	Escuela Simón Bolívar Cra. 10 Cll. 14 y 15	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	12/11/03	Inundación	Urbanización El Amparo	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	28/11/03	Desplome de vivienda	Barrio San Pedro Cra 19 21-18	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada San Pedro
La Unión	29/11/03	Inundación	Barrio San Pedro Cll. 21 15-26 y 15-37 Barrio Popular Cll. 12 14-60	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	07/01/04	Inundación	Barrio San Pedro Cll. 21 #15-96	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	06/03/04	Inundación	Barrio Las Lajas Cll. 16 # 3-45	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	15/04/04	Inundación	Cra 17 # 17-36	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	10/07/04	Inundación	Cll. 15 13-55	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	29/08/04	Inundación	Barrio Paraiso Cll. 17 Cra. 20, Cll. 12 Cra. 20, Cra. 11 17-71	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	14/01/05	Inundación	Restaurante El Mesón de Orlando	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	25/04/05	Inundación	Cra 16 10-47, Cra 13 17-47	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	19/07/05	Inundación	La Quesera Cll. 16 y Barrio Belén Cll. 13 15-44	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	01/10/06	Inundación	Barrio La Cruz Cll. 11 # 16-70	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	21/11/06	Inundación	Vereda Despensa y Cll. 12 Cra 7 y Cra 13 y Cll. 7	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	28/11/06	Inundación	Sin especificar	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	09/12/06	Inundación	Urbanización El Amparo	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	14/01/07	Inundación	Barrio San Pedro	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	30/04/07	Inundación	Sin especificar	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada Zanjón EL Lucero
La Unión	09/05/07	Inundación	Corregimiento San Luis	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	26/06/07	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	

La Unión	21/07/07	Inundación	Cra 9 #15-50	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	05/08/07	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	26/08/07	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	30/08/07	Inundación	Barrio Lucero Alto y Bajo	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada El Lucero
La Unión	09/09/07	Inundación	Cll. 23 # 14 a 21	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	30/11/07	Inundación	Urbanización El Amparo-Restaurante Caliente	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	03/12/07	Inundación	Cll. 11 # 15-29	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	19/12/07	Inundación	Restaurante El Mesón de Orlando	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	14/01/08	Inundación	Restaurante El Mesón de Orlando	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	27/01/08	Inundación	Restaurante El Mesón de Orlando	Minuta Bomberos La Unión	Colmatación alcantarillado
La Unión	10/02/08	Inundación	Cll. 15 Cra. 13, y Barrio Bellavista	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	14/03/08	Inundación	Restaurante El Mesón de Orlando	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	09/04/08	Inundación	Oficina Alcaldía Cra 14 # 23-86 Barrio San Pedro	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	13/04/08	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	13/04/08	Deslizamiento	Barrio San Pedro Cra 18 Cll. 23	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	13/04/08	Inundación	Vereda El Lindero	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	19/04/08	Inundación	Barrio La Milagrosa	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	22/04/08	Inundación	Sin especificar	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada San Pedro
La Unión	12/06/08	Deslizamiento	Cra 20 Cll. 12 Pasoancho	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	17/06/08	Inundación	Cra 10 # 15-98 Cra 13 # 17-35	Minuta Bomberos La Unión	Desbordamiento quebrada La Unión
La Unión	08/12/08	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	07/03/09	Inundación	Corregimiento Quebrada Grande	Minuta Bomberos La Unión	
La Unión	30/05/09	Inundación	Cabecera Municipal	Minuta Bomberos La Unión	

Anexo 3.1: Topografía – Equipos



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 (GGD), 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; 8mm + 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 68 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 CDPO a 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 LEDs 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 4.1: Cartografía y Sistemas de Información Geográfica - 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	Código	Definición	Código	Definición
76001	Cali	76243	El Aguila	76606	Restrepo
76020	Alcala	76246	El Cairo	76616	Riofrio
76036	Andalucia	76248	El Cerrito	76622	Roldanillo
76041	Ansermanuevo	76250	El Dovio	76670	San Pedro
76054	Argelia	76275	Florida	76736	Sevilla
76100	Bolivar	76306	Ginebra	76823	Ansermanuevo
76109	Buenaventura	76318	Guacari	76828	Trujillo
76111	Guadalajara de Buga	76364	Jamundi	76834	Tulua
76113	Bugalagrande	76377	La Cumbre	76845	Ulloa
76122	Caicedonia	76400	La Union	76863	Versalles
76126	Calima	76403	La Victoria	76869	Vijes
76130	Candelaria	76497	Obando	76890	Yotoco
76147	Cartago	76520	Palmira	76892	Yumbo
76233	Dagua	76563	Pradera	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	Pecuaria
08	Agropecuaria
09	Agroindustrial
10	Forestal
11	Mixto

Dominio: Dom Uso Urbano

Residencial

Es la zona o espacio cuyas edificaciones tienen como función arquitectónica y ambiental principal el de dar albergue en forma adecuada a personas.

Comercial

Es el espacio cuyas edificaciones están dedicadas a la compraventa de bienes y/o servicios (almacenes, centros comerciales, oficinas, hoteles, consultorios, hospitales, etc.).

Industrial

Es el espacio en cuyas edificaciones se desarrollan actividades de explotación, transformación o ensamblaje de materias primas.

Dotacional

Es el espacio construido destinado a la prestación de servicios sociales.

Predio no Edificado

Especio sin construir, comprende predios urbanizables no urbanizados, no urbanizables y urbanizados no edificados.

Agrícola

Zona dedicada al establecimiento y aprovechamiento de cultivos transitorios o permanentes diferentes de los forestales.

Pecuaría

Zona dedicada a la cría y aprovechamiento de especies animales no domésticas, se requiere licencia expedida por la autoridad ambiental.

Agropecuaria

Territorio de la zona de expansión, sin ninguna obra de urbanismo, cuya explotación económica y aprovechamiento se realiza combinando cultivos con actividades pecuarias.

Agroindustrial

Territorio de la zona de expansión sin ninguna obra de urbanismo dedicada a la actividad transformadora que incorpora productos agropecuarios como principales materias primas.

Forestal

Zona del suelo de expansión urbana sin ningún desarrollo de obras de urbanismo, cuya superficie se encuentra ocupada por especies forestales o por cualquier otro uso no relacionado dentro de esta metodología.

Mixto

Son aquellas zonas o espacios dedicados a brindar actividades de dos tipos de uso.

Nombre del dominio: Dom_Tipo_Uso

Código	Definición	Código	Definición
0101	Unifamiliar puntual	0406	De abastecimiento
0102	Unifamiliar agrupada	0407	Servicios urbanos y especiales
0103	Multifamiliar puntual	0408	De culto o religioso
0104	Multifamiliar agrupado	0501	Urbanizable no urbanizado
0201	Local	0502	No urbanizable
0202	Zonal	0503	Urbanizado no edificado
0203	Metropolitana	0601	Todo tipo
0301	Transformadora tipo 1	0701	Todo tipo
0301	Transformadora tipo 2	0801	Todo tipo
0302	Transformadora tipo 3	0901	Todo tipo
0401	Asistenciales	1001	Todo tipo
0402	Educativos	1101	Vivienda y comercio
0403	Culturales	1102	Vivienda e institucional
0404	Administrativos y de seguridad	1103	Comercio e institucional
0405	Recreativos y deportivos		

Dominio: Dom Tipo Uso

Residencial

0101. Unifamiliar Puntual.

Corresponde al desarrollo residencial en el cual un lote de terreno está ocupado por una unidad predial destinada a dicho uso y que no comparte con los demás inmuebles de la zona ningún tipo de área o servicio comunal de carácter privado.

0102. Unifamiliar Agrupada.

Corresponde al desarrollo residencial en el cual un lote de terreno está ocupado por dos o tres unidades prediales que comparten en común la propiedad del terreno.

0103. Multifamiliar Puntual.

Corresponde a edificaciones desarrolladas sobre un lote de terreno que comprende más de tres unidades prediales independientes, generalmente en edificios de varios pisos.

0104. Multifamiliar Agrupado.

Son desarrollos residenciales conformados por varias edificaciones constitutivas de unidades de vivienda unifamiliar, bifamiliar o multifamiliar, que comparten, además de las estructuras o áreas comunales privadas de cada edificación, o sea las de su propio régimen de comunidad, zonas y servicios comunes a toda la agrupación o conjunto, como vías privadas, zonas de estacionamiento, zonas verdes, muros de cerramiento, porterías, etc.

Comercial

0201. Local.

Corresponde a la venta de bienes y servicios de consumo doméstico requeridos por la comunidad de residentes de un sector.

0202. Zonal.

Comprende los usos comerciales de intercambio de bienes y servicios que suplen demandas especializadas generadas en la comunidad de una zona urbana.

0203. Metropolitana.

Comprende los usos comerciales orientados a satisfacer demandas de bienes y servicios generados en toda la ciudad mediante la oferta concentrada de gran variedad de bienes.

Industrial

0301. Transformadora tipo 1.

Es aquella industria considerada compatible con otros usos en razón de su bajo impacto ambiental y urbanístico. Se ubica en espacios que forman parte de edificaciones comerciales o de vivienda unifamiliar o en locales o bodegas independientes.

0302. Transformadora tipo 2.

Es aquella industria compatible con otros usos dado su bajo impacto ambiental, pero con restricciones de localización debido a su magnitud y su alto impacto urbanístico. Se ubica en bodegas o edificaciones especializadas dentro de zonas y complejos industriales.

0303. Transformadora tipo 3.

Es aquella industria que tiene restricciones de localización debido a su alto impacto ambiental, a su magnitud considerable y a su alto impacto urbanístico.

Dotacional

0401. Asistenciales.

Corresponden a aquellos destinados a la satisfacción de las necesidades básicas sociales de salud, asistencia y bienestar social, tales como Centros comunales, Centros de salud, Clínicas, Hospitales, Guarderías, Ancianatos, entre otros.

0402. Educativos.

Corresponden a aquellos destinados a la satisfacción de las necesidades de escolaridad de la población, tales como jardines infantiles, escuelas, colegios, centros de educación superior, institutos de capacitación técnica, universidades, entre otros.

0403. Culturales.

Corresponden a aquellos destinados a la satisfacción de necesidades y actividades relacionadas con el cultivo del intelecto y del espíritu artístico de los habitantes, tales como bibliotecas, salas de teatro, museos, galerías de arte, centros culturales, auditorios, entre otros.

0404. Administrativos y de Seguridad.

Corresponden a aquellos destinados a la prestación de servicios relacionados con la administración, gobierno y seguridad ciudadana, tales como, sedes de entidades gubernamentales, notarias, estaciones y subestaciones de policía, cuarteles, instalaciones militares, cárceles, estaciones de bomberos, entre otros.

0405. Recreativos y Deportivos.

Corresponden a aquellos destinados a la práctica del ejercicio físico como actividad de recreo u oficio y demás necesidades de recreación y deporte, tales como polideportivos, conchas acústicas, entre otros.

0406. de Abastecimiento.

Corresponden a aquellos destinados a la prestación de servicios de soporte a la economía de la ciudad, tales como plazas de mercado, centros de abasto, centros de acopio, entre otros.

0407. Servicios Urbanos y Especiales.

Corresponden a aquellos destinados a la prestación de servicios y dotaciones urbanas que satisfacen necesidades especiales, tales como cementerios, terminales de transporte, aeropuertos, entre otros.

0408. de Culto o Religioso.

Corresponden a aquellos destinados a la prestación de servicios religiosos y de culto, tales como iglesias, capillas, conventos, seminarios, sedes de diferentes cultos, entre otros.

Predio no edificado

0501. Urbanizable no urbanizado.

Son aquellos predios que a pesar de ser aptos para el desarrollo como urbanización, no han sido desarrollados como tales.

0502. No Urbanizables.

Son predios que presentan alguna característica especial por la cual no pueden ser urbanizados.

0503. Urbanizados no Edificados.

Corresponde a aquellos lotes que a pesar de encontrarse completamente urbanizados no se ha iniciado completamente el proceso de construcción.

Agrícola

0601. Todo Tipo

Todos los tipos posibles en este destino se integran en todo tipo.

Pecuaria

0701. Todo Tipo.

Todos los tipos posibles en este destino se integran en todo tipo.

Agropecuaria

0801. Todo Tipo.

Todos los tipos posibles en este destino se integran en todo tipo.

Agroindustrial

0901. Todo Tipo.

Todos los tipos posibles en este destino se integran en todo tipo.

Forestal

1001. Todo Tipo.

Todos los tipos posibles en este destino se integran en todo tipo.

Mixto

1101. Vivienda y Comercio.

Corresponde a aquellos usos de tipo vivienda y comercio.

1102. Vivienda e Institucional.

Corresponde a aquellos usos de tipo vivienda e institucional.

1103. Comercio e Institucional.

Corresponde a aquellos usos de tipo comercio e institucional.

DATASET: COBERTURA DE SUELO

Feature Class: cobertura_suelo

Nombre de la capa: CoberturaSuelo

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
COBER_SU	Texto	30		Cobertura de suelo según nivel 2 de CLC ⁴	Dom_cober_su
TIPO_COBER_SU	Texto	50		Tipo de cobertura de suelo según nivel 3 de CLC.	Dom_Tipo_cober_su
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Nombre del dominio: Dom Municipio

Código	Definición	Código	Definición	Código	Definición
76001	Cali	76243	El Aguila	76606	CONFL
76020	Alcala	76246	El Cairo	76616	Riofrio
76036	Andalucia	76248	El Cerrito	76622	Roldanillo
76041	Ansermanuevo	76250	El Dovio	76670	San Pedro
76054	Argelia	76275	Florida	76736	Sevilla
76100	Bolivar	76306	Ginebra	76823	Ansermanuevo
76109	Buenaventura	76318	Guacari	76828	Trujillo
76111	Guadalajara de Buga	76364	Jamundi	76834	Tulua
76113	Bugalagrande	76377	La Cumbre	76845	Ulloa
76122	Caicedonia	76400	La Union	76863	Versalles
76126	Calima	76403	La Victoria	76869	Vijes
76130	Candelaria	76497	Obando	76890	Yotoco
76147	Cartago	76520	Palmira	76892	Yumbo
76233	Dagua	76563	Pradera	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”

⁴ CLC: Corine Land Cover. Colombia

Nombre del dominio: Dom_cober_su

Código	Definición
11	Zonas urbanizadas
12	Zonas Industriales o comerciales
13	Zonas de extracción mineras y escombreras
14	Zonas verdes artificializadas, no agrícolas
21	Cultivos anuales o transitorios
22	Cultivos Permanentes
23	Pastos
24	Áreas agrícolas heterogéneas
31	Bosques
32	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
33	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
41	Áreas húmedas continentales
42	Áreas húmedas costeras
51	Aguas Continentales
52	Aguas marítimas

Dominio: Dom_cober_su

Zonas Urbanizadas

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados a ella que configuran un tejido urbano.

Zonas Industriales o Comerciales

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.

Zonas de extracción minera y escombreras

Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen.

Zonas verdes artificializadas no agrícolas

Comprende las zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable. En general estas zonas verdes son

áreas resultantes de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad.

Cultivos anuales o transitorios

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses; tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.

Cultivos Permanentes

Comprende los territorios cuyas tierras están dedicadas a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas como: caña de azúcar, caña panelera, plátano y banano; los cultivos arbustivos como: café y cacao; y los cultivos arbóreos como: palma africana y árboles frutales.

Pastos

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno.

Áreas agrícolas heterogéneas

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

Bosques

Comprende las áreas naturales o semi-naturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal o en algunos casos con varios tallos, que tiene una copa más o menos definida.

De acuerdo con FAO (2001), los bosques comprenden los bosques naturales y las plantaciones. Se refiere a la tierra con una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 10 por ciento del área y una superficie superior a 0,5 hectáreas (ha). Los bosques son determinados por la presencia de árboles, así como por la ausencia de otro uso predominante de la tierra. Los árboles deben alcanzar una altura mínima de 5 metros (m).

Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

Comprende los territorios cubiertos por vegetación herbácea y arbustiva desarrollados en forma natural sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales.

Áreas abiertas, sin o con poca vegetación

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.

Áreas húmedas continentales

Las áreas húmedas localizadas al interior de la cuenca hacen referencia a los diferentes tipos de zonas inundables, pantanos y terrenos anegadizos en los cuales el nivel freático está a nivel del suelo en forma temporal o permanente.

Áreas húmedas costeras

Sobre las zonas costeras se diferenciaron las zonas de pantanos litorales y las áreas que presentan procesos de inundación relacionados con la marea.

Aguas continentales

Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (o sea no salino), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

Aguas marítimas

Esta cobertura comprende los cuerpos de agua natural salada y salobre asociado a mares u océanos que bordean el litoral.

Nombre del dominio: Dom Tipo cober su

Código	Definición	Código	Definición	Código	Definición
111	Tejido urbano	231	Pastos limpios	413	Esteros
112	Centros poblados	232	Pastos arbolados	414	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
121	Zonas industriales o comerciales	233	Pastos enmalezados o enrastrados	421	Marismas costeras
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	241	Mosaico de cultivos	422	Salinas
123	Zonas portuarias	242	Mosaico de pastos y cultivos	423	Zonas intermareales
124	Aeropuertos	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	511	Ríos
125	Obras Hidráulicas	244	Mosaico de pastos con espacios naturales	512	Lagunas, lagos y ciénagas artificiales
131	Zonas de extracción minera	311	Bosque natural denso	513	Canales
132	Escombreras y vertederos	312	Bosque natural fragmentado	514	Embalses y cuerpos de agua
141	Zonas verdes urbanas	313	Bosque de galería y/o ripario	521	Lagunas costeras
142	Instalaciones recreativas	314	Bosque de mangle	522	Estuarios

211	Otros cultivos anuales o transitorios	315	Bosque plantado	523	Mares y océanos
212	Algodón	321	Pastos naturales y sabanas	524	Arrecifes coralinos
213	Arroz	322	Arbustos y matorrales	525	Estanques piscícolas
214	Papa	323	Vegetación esclerófila y/o espinosa		
221	Otros cultivos permanentes	324	Vegetación de páramo y subpáramo		
222	Caña de Azúcar	325	Vegetación rupícola		
223	Caña panelera	331	Playas, arenas y dunas		
224	Platano y banano	332	Afloramientos rocosos		
225	Café	333	Tierras desnudas o degradadas		
226	Cacao	334	Zonas quemadas		
227	Palma de aceite	335	Zonas nivales o glaciares		
228	Frutales	411	Zonas pantanosas		
229	Cultivos confinados	412	Turberas		

DATASET: PUNTOS DE INFILTRACIÓN

Feature Class: puntos_infiltracion

Nombre de la capa: Infiltracion

Geometría: Puntos

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
COD_INFILTRACION	Short integer	4		Código Puntos de Infiltración	
VEL_INFILTRACION	Double	2	2	Velocidad de infiltración	
CLAS_INFILTRACION	Texto	10		Clasificación Puntos de infiltracion	Dom_clas_infiltracion
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Nombre del dominio: Dom_Municipio

Código	Definición	Código	Definición	Código	Definición
76001	Cali	76243	El Aguila	76606	Restrepo
76020	Alcala	76246	El Cairo	76616	Riofrio
76036	Andalucia	76248	El Cerrito	76622	Roldanillo
76041	Ansermanuevo	76250	El Dovio	76670	San Pedro
76054	Argelia	76275	Florida	76736	Sevilla
76100	Bolivar	76306	Ginebra	76823	Ansermanuevo
76109	Buenaventura	76318	Guacari	76828	Trujillo
76111	Guadalajara de Buga	76364	Jamundi	76834	Tulua
76113	Bugalagrande	76377	La Cumbre	76845	Ulloa
76122	Caicedonia	76400	La Union	76863	Versalles
76126	Calima	76403	La Victoria	76869	Vijes
76130	Candelaria	76497	Obando	76890	Yotoco
76147	Cartago	76520	Palmira	76892	Yumbo
76233	Dagua	76563	Pradera	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 Politico-Administrativa de Colombia”

Nombre del dominio: Dom_vel_infiltracion

Código	Definición
01	Lenta
02	Moderada
03	Rápida

DATASET: PUNTOS GEOTECNICOS

Feature Class: ensayos_geotecnicos

Nombre de la capa: puntos_geotecnicos

Geometría: Puntos

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
COD_PUNTO_GEOTECNICO	Texto	5		Código Puntos Geotécnicos	
TIPO_MUESTREO	Texto	20		Tipo de Muestreo	Dom_tipo_muestreo
TIPO_ENSAYO	Texto	40		Tipo de Ensayo	Dom_tipo_ensayo
TIPO_MUESTRA	Texto	20		Tipo de muestra	Dom_tipo_muestra
PROFUNDIDAD	Texto	15		Profundidad	
AÑO_ESTUDIO	Short integer	4		Año de Estudio	
AÑO_AJUSTE	Short integer	4		Año de Ajuste	

Nombre del dominio: Dom_Municipio

Código	Definición	Código	Definición	Código	Definición
76001	Cali	76243	El Aguila	76606	Restrepo
76020	Alcala	76246	El Cairo	76616	Riofrio
76036	Andalucia	76248	El Cerrito	76622	Roldanillo
76041	Ansermanuevo	76250	El Dovio	76670	San Pedro
76054	Argelia	76275	Florida	76736	Sevilla
76100	Bolivar	76306	Ginebra	76823	Ansermanuevo
76109	Buenaventura	76318	Guacari	76828	Trujillo
76111	Guadalajara de Buga	76364	Jamundi	76834	Tulua
76113	Bugalagrande	76377	La Cumbre	76845	Ulloa
76122	Caicedonia	76400	La Union	76863	Versalles
76126	Calima	76403	La Victoria	76869	Vijes
76130	Candelaria	76497	Obando	76890	Yotoco
76147	Cartago	76520	Palmira	76892	Yumbo
76233	Dagua	76563	Pradera	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_tipo_muestreo

Código	Definición
01	Apique
02	Sondeos
03	Lecho del Río

Nombre del dominio: Dom_tipo_ensayo

Código	Definición
1	CD o Clasificación
2	Granulometría, hidrometría

Nombre del dominio: Dom_tipo_muestra

Código	Definición
10	Alterada
20	Inalterada

Anexo 4.2: Cartografía y 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
110300	Falla Normal Cubierta
120000	Falla de cabalgamiento definida
120100	Falla de cabalgamiento inferida
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_Lineas
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

afectación por inundaciones por fuera del perímetro urbano, que fueron visitados por los

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	Solifluxión - Reptación
5962	Cárcava lineal inactiva
5963	Cárcava lineal activa
5964	Zona afectada por carecavamiento activo
5965	Erosión laminar intensa
5966	Vertiente con inestabilidad manifiesta
5967	Vertiente con inestabilidad manifiesta inactiva
5968	Escurrimiento difuso
5975	Erosión laminar
5980	Escarpe erosivo
5981	Agrietamiento del terreno
5982	Reptación
5983	Hundimiento del terreno
5984	Erosión Lateral
5985	
5986	Movimientos en masa antiguos potencialmente inestables
5987	Rupturas Difusas
5988	Cabezas de movimientos de masa muy antiguos

Feature Class: Morfodinámica_Poligonos
Nombre de la Capa: Morfodinámica de poligonos
Geometría: Poligono

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 cárcavamiento 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 terracetas
5982	Zona de alta concentración de deslizamientos
5990	Depósito glacial
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 glacial
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
6008	Escarpe
6009	Zonas de acumulación de movimientos de remoción en masa
6010	Zonas de erosión de cauce
6011	Escalonamiento
6012	Cárcava antigua reactivada
6013	Hundimiento local del terreno
6014	Deslizamiento superficial reciente
6015	Reptación
6016	Depósito de ladera
6017	Nichos ó surcos
6018	Bloques flotantes de Diabasa
6019	Diques de diabasa
6020	Cicatrices de deslizamientos traslacionales
6021	Deslizamiento rotacional reciente

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

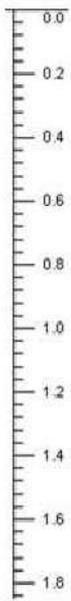
Anexo 9.1: Geotecnia – Exploración del subsuelo

REGISTRO DE EXPLORACION DEL SUBSUELO MUNICIPIO DE LA UNIÓN

AP1

Coordenas: N 923221

E 1088345

AP1	CARACTERÍSTICAS	MUESTRA
	<p>LIMO ARENOSO CON ALGO DE ARCILLA DE UNA CONSISTENCIA MUY DURA PRESENCIA DE RAICES, CON UNA HUMEDAD MUY BAJA</p>	

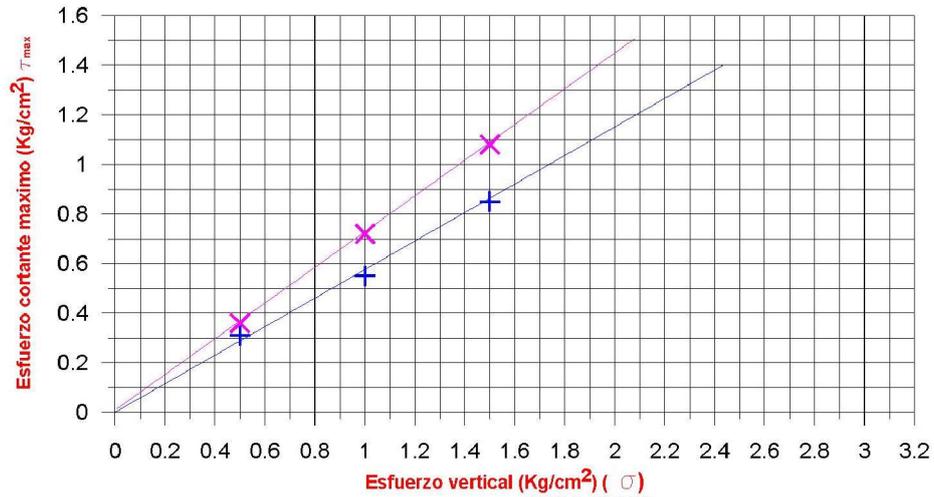
Anexo 9.2: Geotecnia – Ensayos de laboratorio

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): 0.00-1.80

APIQUE: 1
SITIO: LA UNIÓN

MUESTRA: M1



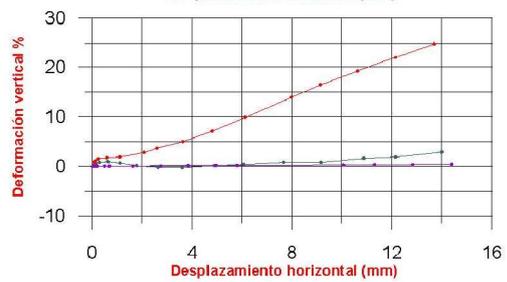
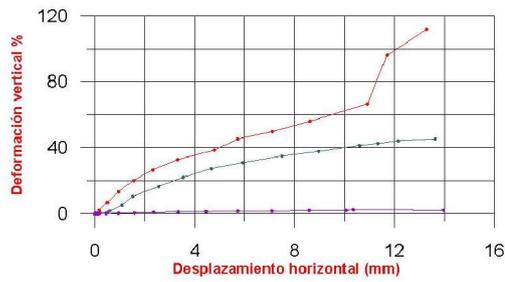
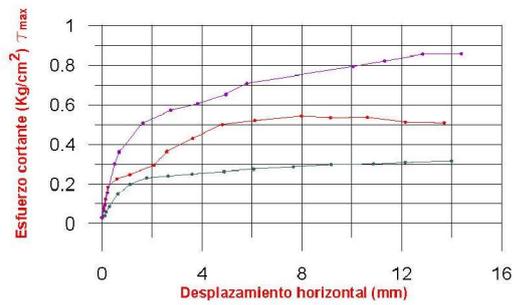
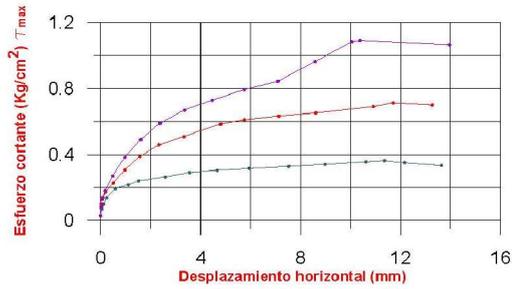
punto 1 ———
punto 2 ———
punto 3 ———

RESULTADOS

ϕ^i pico = 38.01° c^i pico = 0.01 Kg/cm^2
 ϕ^i residual = 33.04° c^i residual = 0.00 Kg/cm^2

CONDICIÓN PICO

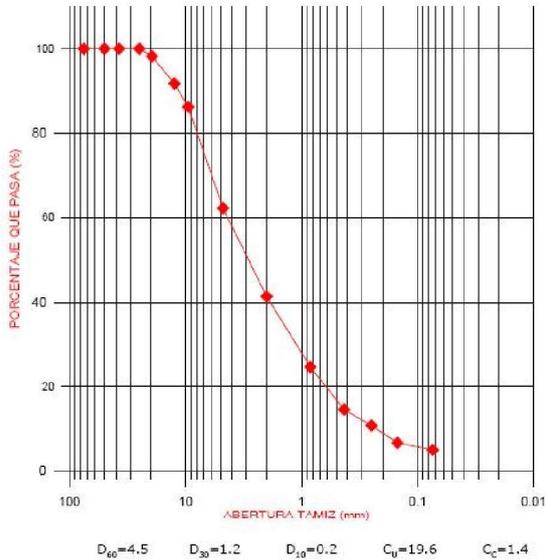
CONDICIÓN RESIDUAL



CI AMBIENTAL

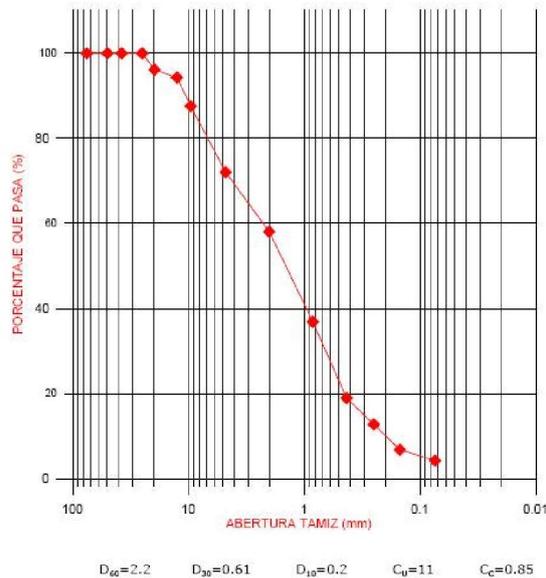
GRANULOMETRÍA MUESTREO No 1 (QUEBRADA EL RINCON) ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 1 MUESTRA: M1.1
Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 1 MUESTRA: M1.2
Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN



GRANULOMETRÍA MUESTREO No 2 (QUEBRADA EL RINCON)

Coordenadas: N: 994156
E: 1107099

Relaciones granulométricas:
D60=4.5 ; D30=1.2 ; D10=0.2
Cu=19.6 ; Cc=1.4

Descripción M1.1: Arena grano medio con gravas subangulares.



Relaciones granulométricas:
D60=2.2 ; D30=0.61 ; D10=0.2
Cu=11 ; Cc=0.85

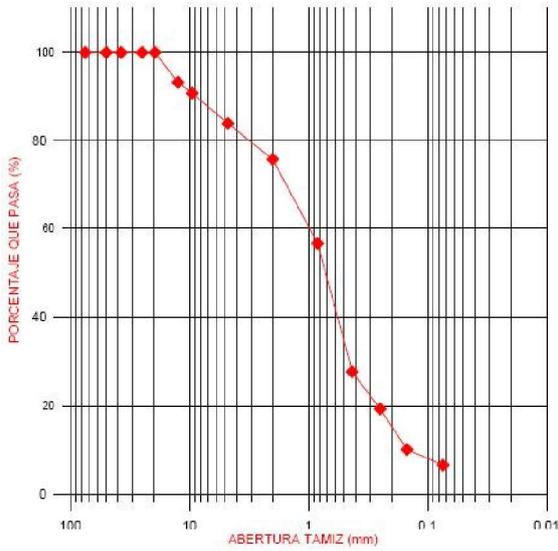
Descripción M1.2: Arena de grano medio color café clara, presencia de grava fina.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): Superficial

APIQUE: 2
SITIO: LA UNIÓN

MUESTRA: M2.1



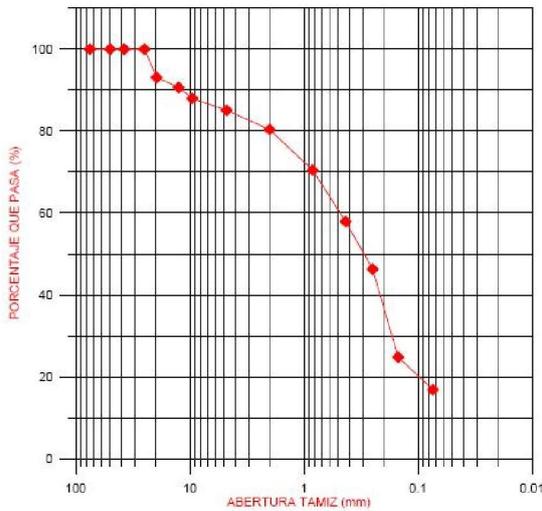
$D_{60}=0.99$ $D_{30}=0.45$ $D_{10}=0.18$ $C_u=5.5$ $C_c=1.14$

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): Superficial

APIQUE: 2
SITIO: LA UNIÓN

MUESTRA: M2.2



$D_{60}=0.49$ $D_{30}=0.17$ $D_{10}=-$ $C_u=-$ $C_c=-$

Coordenadas: N: 993849
E: 1107784

Relaciones granulométricas:

$D_{60}=0.99$; $D_{30}=0.45$; $D_{10}=0.18$
 $C_u=5.5$; $C_c=1.14$

Descripción M2.1: Arena de grano medio café, con algunas gravas finas.



Relaciones granulométricas:

$D_{60}=0.49$; $D_{30}=0.17$; $D_{10}=-$
 $C_u=-$; $C_c=-$

Descripción M2.2: Arena fina de color negruzco.

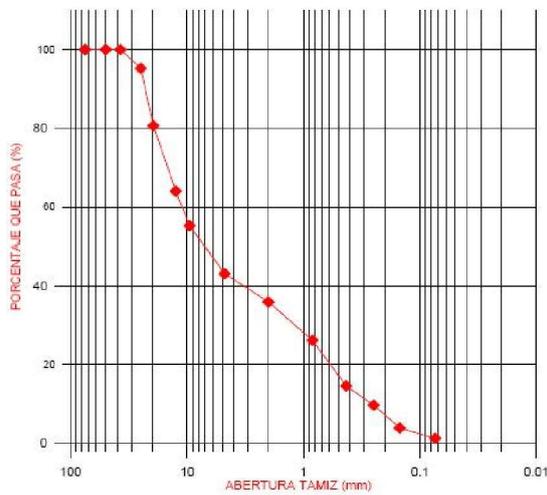
GRANULOMETRÍA MUESTREO N°3 (QUEBRADA EL RINCON)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Coordenadas: N: 994241

E: 1108391

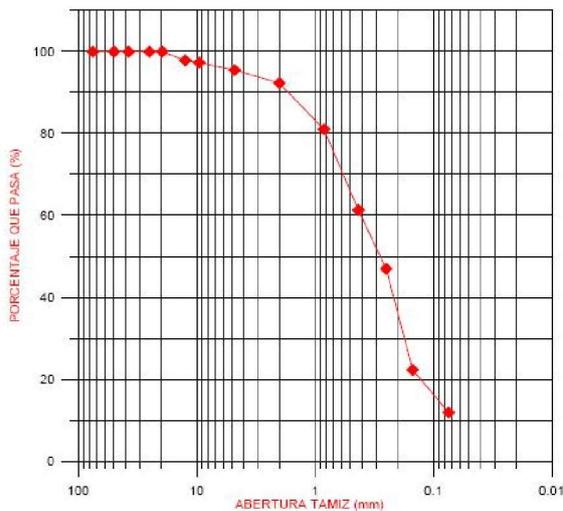
PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 3 MUESTRA: M3.1
 Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN



D₆₀=12 D₃₀=1.2 D₁₀=0.25 C_u=48 C_c=0.48

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 3 MUESTRA: M3.2
 Prof(m): Superficial SITIO: LA UNIÓN



D₆₀=0.41 D₃₀=0.18 D₁₀= - C_u= - C_c= -

Relaciones granulométricas:

D₆₀=12 ; D₃₀=1.2 ; D₁₀=0.25

C_u=48 ; C_c=0.48

Descripción M3.1: Material granular, gravas gruesas subredondeadas con arena grano medio.



Relaciones granulométricas:

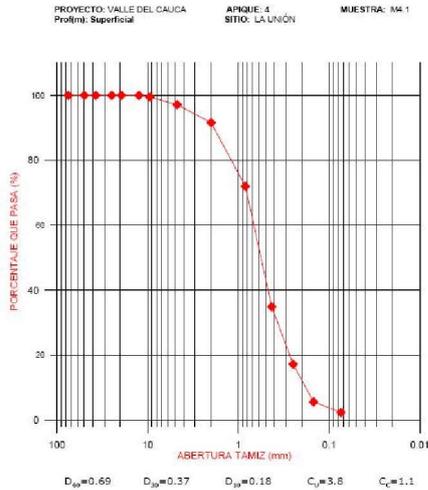
D₆₀=0.41 ; D₃₀=0.18 ; D₁₀= -

C_u= - ; C_c= -

Descripción M3.2: Arena fina café clara con algunas gravas.

GRANULOMETRÍA E HIDROMETRÍA MUESTREO No4 (QUEBRADA LA UNIÓN)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



GRANULOMETRÍA MUESTREO No5 (QUEBRADA LA UNIÓN)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

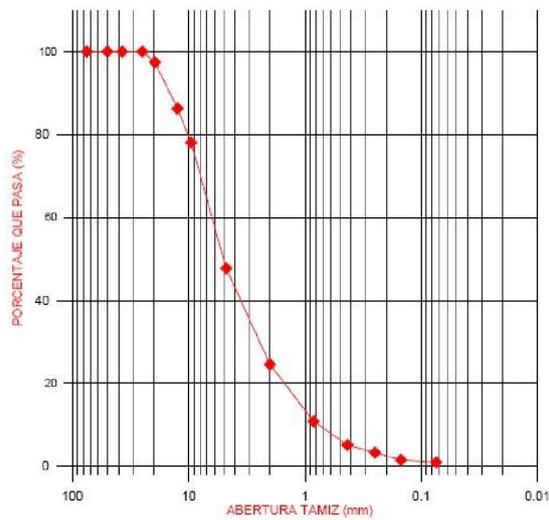
Coordenadas: N: 992715

E: 1107747

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): Superficial

APIQUE: 5
SITIO: LA UNIÓN

MUESTRA: M5.1



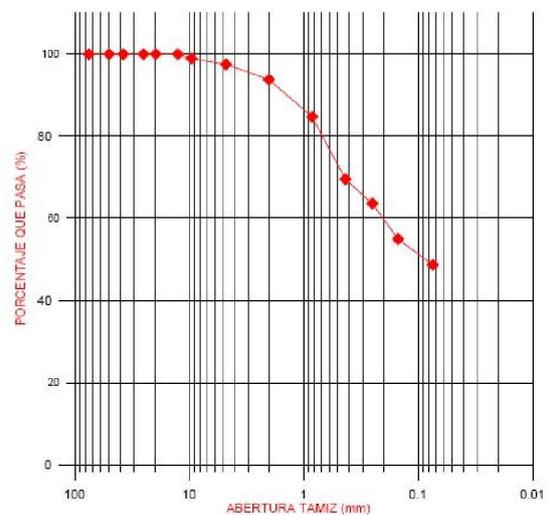
$D_{60}=6.3$; $D_{30}=2.6$; $D_{10}=0.85$; $C_u=7.4$; $C_c=1.3$

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA
Prof(m): Superficial

APIQUE: 6
SITIO: LA UNIÓN

MUESTRA: M5.1



$D_{60}=0.2$; $D_{30}=-$; $D_{10}=-$; $C_u=-$; $C_c=-$

Relaciones granulométricas:

$D_{60}=6.3$; $D_{30}=2.6$; $D_{10}=0.85$

$C_u=7.4$; $C_c=1.3$

Descripción M5.1: Grava fina de color gris oscuro.



Relaciones granulométricas:

$D_{60}=0.2$; $D_{30}=-$; $D_{10}=-$

$C_u=-$; $C_c=-$

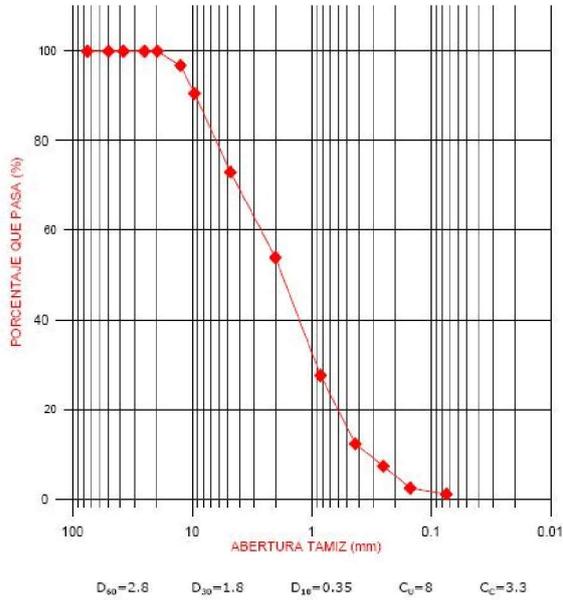
Descripción M5.2: Arena grano medio, café claro.

GRANULOMETRÍA MUESTREO N°6 (QUEBRADA LA UNION)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Coordenadas: N: 992783
E: 1106878

PROYECTO: VALLE DEL CAUCA APIQUE: 6 MUESTRA: M6.2
Prof(m): Superficial SITIO: LA UNION



Relaciones granulométricas:

$D_{60}=2.8$; $D_{30}=1.8$; $D_{10}=0.35$

$C_u=8$; $C_c=3.3$

Descripción: Arena grano medio con gravas finas de color café.

