

**ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS CONCEPTUALES DEL CONTRATO EAAB-ESP
1-02-25500-0626-2009, INCLUYENDO LA TOPOGRAFÍA DETALLE NECESARIA PARA
EL AJUSTE AL PLAN VIAL ARTERIAL VIGENTE, QUE SIRVAN DE BASE PARA
DEFINIR LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS PARA EL DESARROLLO
DE LA CIUDAD LAGOS DE TORCA**

**PRODUCTO 7. ESTUDIOS Y DISEÑOS A NIVEL DE INGENIERÍA BÁSICA
HIDRÁULICOS**

REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

CONCOL CONSULTORES S.A.S – WSP INGENIERIA COLOMBIA S.A.S.

VERSION 09

FIDEICOMISO LAGOS DE TORCA



Bogotá D.C., 22 de Septiembre de 2020

REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificación	Folios
00	2019-05-27	Versión inicial – para revisión de interventoría	52
01	2019-06-19	Atención de observaciones mediante comunicado H2O-FDLT-0001-IWSP-044	83
02	2019-06-25	Atención de la mesa de trabajo llevada a cabo el día 21 de junio de 2019	83
03	2019-07-02	Atención de observaciones mediante comunicado H2O-FDLT-0001-IWSP-050	91
04	2019-07-31	Atención de observaciones de Interventoría, mediante comunicado H2O-FDLT-0001-IWSP-058 y del Fideicomiso Lagos de Torca.	124
05	2019-09-18	Atención de observaciones de la EAAB-ESP, mediante comunicado S-2019-250002, de la interventoría mediante comunicado H2O-FDLT-0001-IWSP-072 y del Fideicomiso Lagos de Torca.	169
06	2019-10-31	Atención de observaciones mediante comunicados S-2019-301963 / 3010001-2019-1657 apoyo Técnico y 25510-2019-02937 de la Dirección Red Troncal.	182
07	2020-02-28	Atención de observaciones mediante comunicados S-2020-032138 / 3010001-2020-0118 de la Empresa de Acueducto de Bogotá.	182
08	2020-06-25	Atención de observaciones mediante comunicados 25510-2020-01051, 2620001-2020-DIE-185 de la EAAB	292
09	2020-09-22	Atención de observaciones mediante comunicado 3010001-S-2020-213614 de la Empresa de Acueducto de Bogotá.	332

FIDEICOMISO LAGOS DE TORCA

Validado por	Revisado por	Aprobado por
Mildred Jiménez Especialista Consultoría		
Fabián Cerón Especialista Consultoría	Rodrigo Antonio Ballén Coordinador de proyecto Consultoría	Danilo Arturo Rodríguez C. Director de proyecto Consultoría

Revisión y aprobación Interventoría	
Versión	
Fecha	
Firma	William Nivaldo Uscategui Ciendúa Director de la Interventoría

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 ANTECEDENTES.....	14
2 INTRODUCCION.....	15
3 OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4 METODOLOGÍA.....	23
4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	24
4.1.1 Trazabilidad Concepto CAR (Reserva Thomas Van Der Hammen).....	25
4.2 INFORMACIÓN PRIMARIA.....	28
4.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	29
4.3.1 Delimitación de cuencas.....	29
4.3.2 Determinación de caudales de diseño.....	30
4.3.3 Período de Retorno de diseño.....	31
4.4 HIDROGRAFÍA.....	31
5 PARAMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO.....	35
5.1 GENERALIDADES.....	35
5.2 PARAMETROS DE LA ADECUACION HIDROGEOMORFOLOGICA.....	35
5.2.1 Antecedentes.....	35
5.2.2 Criterios geomorfológicos.....	36
5.2.3 Criterios hidrológicos.....	65
5.3 PARAMETROS DE DRENAJE PLUVIAL.....	73
5.3.1 Metodología de cálculo de caudales.....	73
5.3.2 Criterios para el trazado de la red de colectores.....	77
5.3.3 Capacidad hidráulica de colectores.....	78
5.3.4 Condición de frontera en las descargas.....	79
5.3.5 Modelamiento hidrológico del Humedal.....	80
5.4 PARAMETROS ECOSISTÉMICOS.....	82
5.4.1 Criterios de adecuación ecosistémica de quebradas.....	82
5.4.2 Criterios ecosistémicos de adecuación del Humedal.....	84
5.4.3 Criterio ecosistémico de adecuación del Canal Guaymaral.....	88
6 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS.....	89
6.1 GENERALIDADES.....	89
6.2 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO SECTOR OCCIDENTAL.....	89
6.3 RESTRICCIONES DE MANEJO PLUVIAL.....	90

6.4	DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS	125
6.4.1	Función Objetivo	125
6.4.2	Planteamiento de Alternativas.....	128
6.4.3	Alternativa 1	130
6.4.4	Alternativa 2.....	197
6.4.5	Alternativa 3A.....	223
6.4.6	Alternativa 3B.....	245
6.4.7	Evaluación de la amortiguación del Humedal.....	266
6.5	OTRAS OBRAS DE DRENAJE	275
6.5.1	Propuestas de solución para cruce de la Autopista Norte	275
6.5.2	Estructura de salida del Humedal.....	279
6.5.3	Sistema de vallados	281
6.5.4	Manejo de SUDS	282
6.5.5	Otras áreas de importancia amortiguadora en el Humedal.....	282
6.6	COSTOS Y PRESUPUESTOS APROXIMADO DE ALTERNATIVAS.....	285
6.7	ANALISIS DE TIPOS DE TUBERIAS PARA ALCANTARILLADO	289
6.7.1	Materiales Aceptados por la EAAB-ESP.	289
6.7.2	Requisitos para las Tuberías.....	289
6.8	PARÁMETROS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DEL MATERIAL DE TUBERÍA	294
6.9	SELECCIÓN DE MATERIAL DE TUBERÍA RARA REDES DE TUBERÍAS A FLUJO LIBRE 294	
6.10	COTAS MINIMAS DE URBANISMO.....	295
6.11	EVALUACION ECONOMICA.....	295
6.12	EVALUACIÓN DE MATRIZ MULTICRITERIO	295
6.12.1	Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM)	295
6.12.2	Métodos Basados en la Teoría del Valor.....	296
6.12.3	Métodos de Selección de Criterios y Asignación de Porcentajes	296
6.12.4	Selección de Componentes	297
6.12.5	Selección de Criterios de Evaluación	300
6.12.6	Determinación y Asignación de Porcentajes	305
7	ALTERNATIVA SUGERIDA UNIFICADA.....	312
7.1.1	Adecuación Geomorfológica de Humedales y Canales.....	313
7.1.2	Sistema de colectores costado occidental.....	315
7.2	DESARROLLO DE UNIDADES FUNCIONALES Y/O ETAPAS DE DESARROLLO – DRENAJE OCCIDENTAL	318
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	323

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 área colindante y aportante San José de Bavaria	30
Figura 2 Diagrama de cuencas de drenaje del sistema Torca-Guaymaral	33
Figura 3 Detalle de áreas de aporte del sistema hídrico Torca-Guaymaral	34
Figura 4 Mapa geomorfológico del área de estudio.....	38
Figura 5 Análisis multitemporal año 1956.....	41
Figura 6 Análisis multitemporal año 1960.....	42
Figura 7 Análisis multitemporal año 2007.....	43
Figura 8 Análisis multitemporal año 2010.....	44
Figura 9 Análisis multitemporal año 2014.....	45
Figura 10 Análisis multitemporal año 2016.....	46
Figura 11 Análisis multitemporal año 2019.....	47
Figura 12. Quebrada Aguas Calientes, cambios morfológicos	49
Figura 13. Quebrada Patiño, cambios morfológicos	50
Figura 14. Cambios morfológicos, quebrada San Juan	51
Figura 15. Cambios morfológicos, quebrada La Floresta	52
Figura 16. Cambios morfológicos, quebrada Torca.....	53
Figura 17. Cambios morfológicos, quebrada Canal Tibabita	54
Figura 18. Cambios morfológicos, quebrada Novita	55
Figura 19. Cambios morfológicos, quebrada Cañiza.....	56
Figura 20. Cambios Morfológicos, quebrada Pilas	57
Figura 21 Límite geomorfológico de la quebrada Aguas Calientes.....	59
Figura 22 Límite geomorfológico de la quebrada Cañiza	60
Figura 23 Límite geomorfológico de la quebrada La Floresta.....	60
Figura 24 Límite geomorfológico de la quebrada Novita.	61
Figura 25 Límite geomorfológico de la quebrada Patiño.	61
Figura 26 Límite geomorfológico de la quebrada Pilas.....	62
Figura 27 Límite geomorfológico de la quebrada San Juan.	62
Figura 28 Límite geomorfológico de la quebrada Torca.	63
Figura 29 Límite geomorfológico de la quebrada Tibabita.....	63
Figura 30 Método de control sedimentos extensivo a lo largo del cauce de las quebradas.....	65
Figura 31 Distribución temporal de las tormentas. Duración 6 horas.....	70
Figura 32 Detalle de la definición de las condiciones hidráulicas de descarga de colectores en cuerpos de agua	79
Figura 33 Modelo hidrológico conceptual para modelamiento del Humedal	81
Figura 34 Sección típica de restauración de quebradas.....	84
Figura 35 Perfil de los tipos estructurales de vegetación asociadas al humedal de planicie inundable en la Sabana de Bogotá	86
Figura 36. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas (Poff et al., (1997).....	87
Figura 37. Vistas del Canal Guaymaral, cuenca baja (izq.) y cuenca media (der.)	88
Figura 38 Mapa de restricciones para manejo pluvial	91
Figura 39 Mapa de delimitación de la Reserva Van der Hammen.....	92
Figura 40 Parque Metropolitano Guaymaral.....	93
Figura 41 Delimitación de ZMPA y Corredores ecológicos según Decreto 088 de 2017	95
Figura 42 Sección hidráulica actual, futura y nivel de agua del Río Bogotá, sitio de descarga del Canal Guaymaral.....	98
Figura 43 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura	99

Figura 44 Perfil longitudinal de inundaciones Sistema Torca – Guaymaral – Situación actual	100
Figura 45. Comparación de áreas inundables y el límite legal del Humedal.....	105
Figura 46. Curva de regresión para volúmenes de almacenamiento y períodos de retorno en el humedal Torca-Guaymaral.....	106
Figura 47. Área de inundación al inicio de desborde del humedal, sector Torca	107
Figura 48. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector sur Torca	107
Figura 49. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector centro Torca.....	108
Figura 50. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector norte Torca	108
Figura 51. Área de inundación al inicio de desborde del humedal, sector Guaymaral.....	109
Figura 52. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector Guaymaral	110
Figura 53 Hidrograma de caudales del Humedal Torca – Condición actual	111
Figura 54 Hidrograma de caudales en el Humedal Guaymaral – Condición actual	111
Figura 55 Curva de capacidad actual del Humedal Torca	112
Figura 56 Curva de capacidad actual del Humedal Guaymaral.....	113
Figura 57 Hidrograma de caudales en la desembocadura al Río Bogotá – Condición actual ..	113
Figura 58. Áreas preseleccionadas para adecuación hidrogeomorfológica del Humedal Torca-Guaymaral	114
Figura 59 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Torca (Torca_1)	115
Figura 60 Coberturas de suelo en el Humedal, Sectores Guaymaral_1 y Guaymaral_2	116
Figura 61 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Guaymaral_3	116
Figura 62 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Guaymaral_4	117
Figura 63 Coberturas de suelo en el Humedal, Sector Guaymaral_5.....	117
Figura 64 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Canal Guaymaral, Tramo K0+000 – K0+980 (Col. San Viator).....	119
Figura 65 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Humedal, sector Guaymaral_4.	120
Figura 66 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Humedal, sectores Torca (cabecera norte) y Guaymaral_3.....	121
Figura 67 Esquema de Drenaje San José de Bavaria, Proyecto 32462	123
Figura 68 Curva IDF general para la zona de estudio - SJB.....	124
Figura 69 Caudal descarga final TR5.....	124
Figura 70 Caudal descarga final TR10.....	125
Figura 71 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 1.	131
Figura 72 Vista en planta de cuerpos de agua a reconfigurar y colectores Alternativa 1	132
Figura 73 Perfil hidráulico reconfiguración Alternativa 1.....	133
Figura 74 Configuración de la zona inundable con la implementación de la Alternativa 1	134
Figura 75 Comparación de niveles del sistema hídrico Torca Guaymaral, Alternativa 1 y Alternativa 1 Modificada.....	137
Figura 76 Áreas aferentes de las cuencas de las quebradas – Condición futura de proyecto .	140
Figura 77. Curvas (IDF) para las cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral	142
Figura 78. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Aguas Calientes	143
Figura 79. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada La Floresta.....	144
Figura 80. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Novita	144
Figura 81. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Patiño	145
Figura 82. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Pilas.....	145
Figura 83. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada San Juan	146
Figura 84. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Tibabita.....	146
Figura 85. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Torca	147
Figura 86. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Cañiza	147
Figura 87. Perfil de reconfiguración hidrogeomorfológica de quebradas.....	150

Figura 88. Velocidad permisible para suelos cohesivos	151
Figura 89. Detalle del resalto a la salida de control geomorfológico	155
Figura 90. Esquema de funcionamiento del lecho dissipador de energía en un canal	156
Figura 91. Detalle de procesos ecohidráulicos de cauces	159
Figura 92. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Tibabita	162
Figura 93. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Tibabita.....	162
Figura 94. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Aguas Calientes	163
Figura 95. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Aguas Calientes	164
Figura 96. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Patiño.....	165
Figura 97. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Patiño	165
Figura 98. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada San Juan.....	166
Figura 99. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. San Juan	167
Figura 100. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Las Pilas	168
Figura 101. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Las Pilas	168
Figura 102. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada La Floresta	169
Figura 103. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. La Floresta.....	170
Figura 104. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Cañiza.....	171
Figura 105. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Cañiza	171
Figura 106. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Novita.....	172
Figura 107. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Novita	173
Figura 108. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Torca.....	174
Figura 109. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Torca	174
Figura 110 Sección típica de restauración hidráulica, geomorfológica y ecosistémica para las quebradas del sistema hídrico Torca – Guaymaral.	176
Figura 111 Planta general de restauración propuesta para las quebradas del sistema hídrico Torca - Guaymaral.	176
Figura 112 Detalle preliminar de la sección de modelamiento para adecuación del canal Guaymaral (Tramo C.C. Bima – Río Bogotá).	179
Figura 113 Detalle de la adecuación del canal de aguas medias y geomorfológica del Humedal, sector Guaymaral_2.....	180
Figura 114 Cuencas de Drenaje Alternativa 1	182
Figura 115 Esquema de áreas de drenaje de la Alternativa 1	183
Figura 116 Hidrograma Pondajes Existentes	184
Figura 117 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 1	186
Figura 118 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 1	187
Figura 119 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)	187
Figura 120 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15.....	188
Figura 121 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo 39 a DES3 (Canal Guaymaral)	188
Figura 122 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)	189
Figura 123 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 103 a DES4 (Canal Guaymaral)	189
Figura 124 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 138 a DES5 (Humedal Guaymaral)	190
Figura 125 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)	190
Figura 126 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 154 a DES6 (Humedal Guaymaral)	191
Figura 127 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 176 a DES7 (Canal Guaymaral)	191
Figura 128 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 1.....	192
Figura 129 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 2	198
Figura 130 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 2.	199
Figura 131 Perfiles hidráulicos Sistema Torca-Guaymaral- Escenarios de desvío de caudal..	200
Figura 132 Curva de sensibilidad a la inundación según caudal de desvío del Canal Torca ...	201

Figura 133 Hidrogramas de caudal al interior de la conducción de derivación por la Avenida Arrayanes	202
Figura 134 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 1.....	203
Figura 135 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 2.....	203
Figura 136 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 3.....	203
Figura 137 Perfil hidráulico del Interceptor de la Alternativa 2.....	204
Figura 138 Hidrograma de crecientes en el Interceptor de la Alternativa 2.....	204
Figura 139 Curva de Capacidad de almacenamiento en el pondaje del Río Bogotá	205
Figura 140 Esquema del pondaje del Río Bogotá	206
Figura 141 Esquema de un sistema de bombas tipo Tornillo de Arquímedes	207
Figura 142 Tránsito de hidrogramas en el Pondaje del Río Bogotá – Alternativa 2	208
Figura 143 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Alternativa 2	209
Figura 144 Perfil hidráulico reconformación Alternativa 2.....	210
Figura 145 Cuencas de Drenaje Alternativa 2.....	213
Figura 146 Esquema de áreas de drenaje de la Alternativa 2	214
Figura 147 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 2.....	215
Figura 148 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 2.....	215
Figura 149 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 50 a 73 Box Culvert.....	216
Figura 150 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo 1 a 90 Box Culvert.....	216
Figura 151 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)	217
Figura 152 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 138 a DES5 (Humedal Guaymaral)	217
Figura 153 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)	218
Figura 154 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 154 a DES6 (Humedal Guaymaral)	218
Figura 155 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 176 a DES7 (Canal Guaymaral)	219
Figura 156 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 2.....	220
Figura 157 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 3A.....	224
Figura 158 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 3A...225	225
Figura 159 Perfil hidráulicos del Sistema Torca-Guaymaral- Escenario de Adecuación geomorfológica Alternativa 3A	226
Figura 160 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Adecuación Geomorfológica.....	227
Figura 161 Hidrograma Pondajes Existentes	229
Figura 162 Cuencas de Drenaje de la Alternativa 3A.....	231
Figura 163 Esquema Áreas de drenaje de la Alternativa 3A	232
Figura 164 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 3A	233
Figura 165 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 3A	233
Figura 166 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)	234
Figura 167 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15.....	234
Figura 168 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo T1 a DES3 (Canal Guaymaral).....	235
Figura 169 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)	235
Figura 170 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)	236
Figura 171 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 182 a DES5 (Humedal Guaymaral)	236
Figura 172 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)	237
Figura 173 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 190 a DES6 (Humedal Guaymaral)	237
Figura 174 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 201 a DES7A (Canal Guaymaral).....	238
Figura 175 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 226 a DES7B (Canal Guaymaral).....	238
Figura 176 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 70 a DES8 (Río Bogotá).....	239
Figura 177 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3A	240
Figura 178 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 3B.....	246

Figura 179 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 3B...	247
Figura 180 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Alternativa 3A y 3B.....	248
Figura 181 Perfil hidráulico reconformación Alternativa 3B	249
Figura 182 Hidrograma Pondajes Existentes	251
Figura 183 Cuencas de Drenaje de la Alternativa 3B.....	253
Figura 184 Esquema Áreas de drenaje de la Alternativa 3B	254
Figura 185 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 3B	255
Figura 186 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 3B	256
Figura 187 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)	256
Figura 188 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15.....	257
Figura 189 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo T1 a DES3 (Canal Guaymaral).....	257
Figura 190 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)	258
Figura 191 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)	258
Figura 192 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 182 a DES5 (Humedal Guaymaral)	259
Figura 193 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)	259
Figura 194 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 190 a DES6 (Humedal Guaymaral)	260
Figura 195 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 201 a DES7A (Canal Guaymaral).....	260
Figura 196 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 226 a DES7B (Canal Guaymaral).....	261
Figura 197 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 70 a DES9 (Río Bogotá).....	261
Figura 198 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 120 a DES8 (Río Bogotá).....	262
Figura 199 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3B	263
Figura 200 Curva de capacidad del Humedal, sector Torca.....	267
Figura 201 Curva de capacidad del Humedal, sector Guaymaral.....	267
Figura 202 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 1.....	268
Figura 203 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 2.....	268
Figura 204 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 3.....	269
Figura 205 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 1.	269
Figura 206 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 2.	270
Figura 207 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 3.	270
Figura 208 Hidrograma de caudales en la desembocadura al Río Bogotá - Reconformación .	274
Figura 209 Sección transversal Cruce No. 1	275
Figura 210 Sección transversal Cruce No. 2	276
Figura 211 Sección transversal Cruce No. 3	276
Figura 212 Resultados de modelamiento hidráulico de reconformación, con la elevación de la Autopista Norte en el MDT.....	278
Figura 213 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 1	279
Figura 214 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 2	280
Figura 215 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 3	280
Figura 216 Perfil de la Avenida Arrayanes – Vallado principal Arrayanes	281
Figura 217. Áreas potenciales para la ampliación del PEDH Torca Guaymaral	284
Figura 218 Adecuación de Humedales Alternativa 3A.....	288
Figura 219. Cobertura Componente Ambiental Vs Alternativa 3A Alcantarillado Pluvial.....	303
Figura 220. Alternativa Sugerida – Alcantarillado Pluvial	313



Figura 221 Perfil hidráulico reconfiguración Alternativa Sugerida	314
Figura 222 Hidrograma Ponderaciones Existentes	316
Figura 223 Desarrollo Planes Parciales Lagos de Torca.....	318
Figura 224 Desarrollo Unidad Funcional 2 o Etapas de desarrollo inmediata.....	319
Figura 225 Desarrollo Unidad Funcional 3 o Etapas de desarrollo inmediato.....	320
Figura 226 Desarrollo de etapas a mediano plazo Plan Parcial No. 20 “El Coral”.	321
Figura 227 Desarrollo de etapas a mediano plazo Plan Parcial No. 29 “Múdela del Río”.	322

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Números de curva CN recomendados – zonas urbanas	67
Tabla 2 Grupos hidrológicos del suelo - método de infiltración del Soil Conservation Service...68	68
Tabla 3 Curvas IDF para cálculo de drenaje pluvial	72
Tabla 4 Metodologías de cálculo de caudales de diseño para alcantarillado pluvial.....73	73
Tabla 5 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad.....74	74
Tabla 6 Relación máxima de tubo y/D para sistemas pluviales y sanitarios	78
Tabla 7 Distribución de las acciones de Carga general y su Operación	96
Tabla 8. Perfil hidráulico del Sistema Torca – Guaymaral – Condición diagnóstica..... 101	101
Tabla 9. Volumen por almacenar en los humedales..... 104	104
Tabla 10. Volumen Almacenamiento ZMPA y Desbordamiento	106
Tabla 11 Estimación de volúmenes disponibles - adecuación geomorfológica de Humedales 118	118
Tabla 12 Parámetros de ajuste IDF para diferentes periodos de retorno-SJB..... 123	123
Tabla 13 Descripción de las Alternativas de Drenaje Pluvial	129
Tabla 14. Coordenadas del centroide de cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral..... 138	138
Tabla 15. Curvas IDF para cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral	141
Tabla 16. Caudales máximos en las cuencas de la zona de estudio, para diferentes Tr..... 143	143
Tabla 17. Comparación de los caudales máximos (m ³ /s) en las etapas del estudio	148
Tabla 18. Estimación de la pendiente de equilibrio para la adecuación de cauces de quebradas	151
Tabla 19. Predimensionamiento de la adecuación de cauces de quebradas	154
Tabla 20. Dimensionamiento de cuencos de disipación en los cauces de quebradas..... 158	158
Tabla 21. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Tibabita..... 161	161
Tabla 22. Resumen de resultados de modelamiento hidráulico de la Q. Aguas Calientes 163	163
Tabla 23. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Patiño	164
Tabla 24. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. San Juan	166
Tabla 25. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Las Pilas	167
Tabla 26. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. La Floresta..... 168	168
Tabla 27. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Cañiza	170
Tabla 28. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Novita	172
Tabla 29. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Torca	173
Tabla 30. Características geométricas de diseño del canal Guaymaral	178
Tabla 31. Características geométricas de diseño del cauce de aguas medias y mínimas..... 178	178
Tabla 32. Obras de drenaje para cruce de vías en el canal Guaymaral	181
Tabla 33. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 1..... 191	191
Tabla 34 Obras propuestas reconfiguración Humedales en la Alternativa 1	193
Tabla 35 Obras propuestas reconfiguración Canal Guaymaral en la Alternativa 1	193
Tabla 36 Obras propuestas para la adecuación geomorfológica, restauración ecológica y paisajística de quebradas (Todas las Alternativas)	194
Tabla 37 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 1	195
Tabla 38 Dimensionamiento de la geometría de la disposición de la bomba de tornillo	207
Tabla 39. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 2..... 219	219
Tabla 40 Obras propuestas reconfiguración Humedales en la alternativa 2..... 220	220
Tabla 41 Obras propuestas reconfiguración Canal en la alternativa 2	221
Tabla 42 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 2..... 221	221
Tabla 43. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3A	239
Tabla 44 Obras propuestas reconfiguración Humedales en la alternativa 3A	241
Tabla 45 Obras propuestas reconfiguración Canal en la alternativa 3A	241

Tabla 46 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 3A	241
Tabla 47. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3B	262
Tabla 48 Obras propuestas reconformación Humedales en la Alternativa 3B	263
Tabla 49 Obras propuestas reconformación Canal en la Alternativa 3B.....	264
Tabla 50 Obras propuestas longitudes de Tubería en la Alternativa 3B	264
Tabla 51 Niveles de inundación y volumen de almacenamiento en el Humedal.....	270
Tabla 52 Caudales aferentes al río Bogotá por Alternativa	272
Tabla 53 Presupuesto de Redes de Alcantarillado Pluvial	285
Tabla 54 Presupuesto de reconformación de Humedales	285
Tabla 55 Presupuesto de reconformación del canal Guaymaral	286
Tabla 56 presupuesto de la adecuación de las Quebradas	286
Tabla 57 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 1	287
Tabla 58 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 2	287
Tabla 59 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 3	287
Tabla 60 Clasificación de los métodos multicriterio.	296
Tabla 61 Métodos de Selección de Criterios y Asignación de Porcentajes.....	297
Tabla 62 Definición Escala Definida de Importancia Relativa.....	306
Tabla 63 Evaluación Matriz Multicriterio	307
Tabla 64 Resumen obras adecuación de Humedales - Alternativa Sugerida	314
Tabla 65 Resumen obras adecuación de Quebradas - Alternativa Sugerida.....	314
Tabla 66 Resumen obras adecuación del Canal Guaymaral - Alternativa Sugerida.....	315



LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 Memorias de cálculo
- Anexo 2 Presupuesto
- Anexo 3 Modelo Hidráulico
- Anexo 4 Planos
- Anexo 5 Interferencias

1 ANTECEDENTES

El Decreto No. 088 del 3 de marzo de 2017 “por medio del cual se establecen las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte “Ciudad Lagos de Torca” y se dictan otras disposiciones”, es el instrumento de planeación a través del cual se definen y se precisan las condiciones de ordenamiento, las infraestructuras, el sistema general de espacio público y equipamientos colectivos, los criterios para armonizar usos y tratamientos urbanísticos asignados en el área, los criterios para la precisión o ajuste de la normativa urbanística, así como la delimitación y criterios para la gestión de planes parciales en el marco de la estrategia de ordenamiento territorial, del área de la Ciudad Lagos de Torca.

El 25 de enero de 2018, la sociedad Fiduciaria Bogotá S.A., suscribió Contrato de Fiducia Mercantil Irrevocable con Antonio Sefair Saab, Eagle S.A.S., Constructora Fernando Mazuera S.A., Mazuera Villegas y CIA S.A., Malibú S.A. en reorganización, El Olivo S.A., El Roble Universal S.A., Promotora de Proyectos Andalucía S.A., Constructora Hayuelos Colombia S.A.S, Multiparque Creativo S.A.S., Tierradentro INC, Constructora Colpatría S.A., Urbanizadora Santa Fe de Bogotá Urbansa S.A., Jardines de Paz S.A., Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario Bogotá, Easton S.A.S., Inversiones Barantes S.A.S., Inversiones Baroja S.A.S., Gloria Maria Pardo Barrera, Maria Fernando Roa Rozo, Carlos Ernesto Roa Rozo, Arraya S.A.S., Erglo S.A.S., Blancol S.A.S., Global FRB S.A.S., South River Partners LLC, Bohemia Investment S.A. Sucursal Colombia, Ludwig Frederick Haderer Villamizar y la sociedad Fiduciaria Bogotá S.A. en su calidad de vocera de los Fideicomisos El Otoño Fidubogota, Construnova Fidubogotá, Hayuelos Colombia 3 Fidubogotá, Hayuelos Colombia 4 Fidubogotá, El Otoño 2 Fidubogotá, cuyo objeto es la constitución de un vehículo fiduciario denominado “Fideicomiso Lagos de Torca”, a través del cual los Fideicomitentes, en coordinación con los Beneficiarios Futuros, planifiquen, desarrollen, ejecuten y entreguen unas, algunas o todas las obras correspondientes a las Cargas Generales de Ciudad Lagos de Torca, de acuerdo con la priorización establecida para el efecto en el Artículo 169 del Decreto, para garantizar el reparto equitativo de las cargas y los beneficios derivados de las decisiones que se adoptan en el marco del POZ norte, así como la asignación de los beneficios adicionales sujetos al pago o a la asunción voluntaria de cargas urbanísticas y todas aquellas finalidades directamente relacionadas con la principal.

En desarrollo del anterior contrato y lo establecido en el numeral 7º del artículo 203 del Decreto, para efectos de la contratación y ejecución de las obras de carga general a las que se refiere el artículo 168 del Decreto, será el Comité Fiduciario el encargado de definir las condiciones que deban cumplirse para el efecto, respetando en todo caso, el orden de operación definido en el artículo 169 “Implementación de las obras de carga general” y observando los principios de selección objetiva, distribución de riesgos y desarrollando contrataciones a costo fijo global.

En razón a lo anterior, el Fideicomiso Lagos de Torca contrató a WSP Colombia para llevar a cabo la consultoría para realizar los diseños técnicos que sirvan para la construcción de las obras de carga general del proyecto Lagos de Torca acogido mediante el Decreto 088 de 2017, y su modificación contenida en el Decreto 049 de 2018, que tienen por objeto establecer las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - POZ Norte.

2 INTRODUCCION

El estudio que a continuación se presenta es el resultado de la actualización de varios estudios que durante los últimos 20 años ha adelantado la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la zona norte de la ciudad, especialmente, para definir las condiciones de servicio de Acueducto y Alcantarillado del actual proyecto de Ciudad Lagos de Torca.

La condición fundamental del presente estudio, parte de la premisa de la elaboración de los levantamientos topográficos detallados del área comprendida dentro del ámbito del plan zonal Lagos de Torca, aprobado mediante decreto 088 del 3 de marzo de 2017.

El presente estudio tiene por objeto en su Fase II, adelantar los diseños detallados de carga general para el plan zonal Lagos de Torca y dentro de la fase I debe actualizar el estudio conceptual que hizo la empresa a través del contrato 1-02-25500-0626-2009 en donde se definieron unos diseños de redes y vías proyectadas a nivel de Ingeniería Conceptual, los cuales fueron base para la elaboración de los términos de referencia para la contratación del presente estudio.

El proyecto se desarrolla a través del Fideicomiso Lagos de Torca, quien a través de la Fiduciaria Bogotá ha contratado a las firmas HMV INGENIEROS LTDA, y WSP para el desarrollo de los estudios y diseños técnicos para el proyecto Ciudad Lagos de Torca el cual comprende el desarrollo de los productos requeridos para actualizar los estudios que fueron elaborados previamente por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. De esta forma se tienen los siguientes contratos:

Contrato No. FB-D-0001/2018 firmado el 03 de diciembre de 2018 entre HMV INGENIEROS LTDA y FIDUCIARIA BOGOTÁ S.A como vocera y administradora del FIDEICOMISO LAGOS DE TORCA, con el objeto de realizar los estudios y diseños técnicos del costado oriental de la Autopista Norte para el proyecto Ciudad Lagos de Torca, el cual se desarrolla en las siguientes Fases:

FASE I: comprende la actualización de los estudios conceptuales del Contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía de detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca. Se debe considerar la topografía de detalle del desarrollo vial de carga general correspondiente al alcance del presente contrato.

En esta fase se entregarán los siguientes productos:

- Actualización de los estudios conceptuales Contrato EAAB – ESP 1-02-25500-0626-2009: Estudios generales.
 - Antecedentes: Recopilación y análisis de información del proyecto. Corresponde al Producto 1 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
 - Topografía detallada y levantamiento de redes existentes – Vías y Espacio Público. Corresponde al Producto 2 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.

- Estudios Geológicos y Geomorfológicos con información secundaria. Corresponde al Producto 3 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
- Estudio de tipologías SUDS (específica para la alternativa conceptual que se decida). Corresponde al Producto 6 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
- Actualización de los estudios a nivel de ingeniería básica y desarrollo de la alternativa definida a nivel de ingeniería conceptual contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009: Tres alternativas técnicas valoradas que deberán contener:
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica hidráulicos (con su correspondiente memoria de cálculo e implantados en los planos de predios disponibles que, para el momento, tendrá el Fideicomiso Lagos de Torca. Corresponde al Producto 7 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica geotécnicos (con su correspondiente memoria de cálculo). Corresponde al Producto 8 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica estructurales (con su correspondiente memoria de cálculo). Corresponde al Producto 9 de los estudios para el costado Oriental de la Autopista.
 - Especificaciones técnicas particulares para la contratación de las actividades de la Fase 2 y la construcción de los diseños. Corresponde al Producto 10 de los estudios.
 - Descripción del proceso constructivo sugerido con su respectivo cronograma de ejecución. Corresponde al Producto 11 de los estudios del costado Oriental de la Autopista.
 - Presupuesto a nivel de actividades (actividad, unidad, cantidad, valor unitario, valor total) con sus respectivos Análisis de Precios Unitarios – Plan de Operación y mantenimiento. Corresponde al Producto 12 de los estudios del costado Oriental de la Autopista.
 - Comparativo técnico y económico de las tres alternativas con una recomendación justificada para cada uno de los sistemas. Corresponde al Producto 13 de los estudios del costado Oriental de la Autopista.
- Actualización de los estudios conceptuales contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009: Desarrollo a nivel de ingeniería conceptual de la alternativa definitiva, que contendrá:
 - Desarrollo a nivel de ingeniería conceptual de la alternativa definida con sus correspondientes detalles incluyendo todos los aspectos técnicos: hidráulico, geotécnico, estructural, especificaciones técnicas detalladas, soportes, memoria de cálculo, presupuesto, cronograma y plan de operación y mantenimiento.
 - Trámites de aprobación y definición de todos los permisos que deberán tramitarse en la FASE II del diseño definitivo.
 - En la actualización del diseño conceptual se tendrá especial detalle con el levantamiento de redes existentes identificando las interferencias de redes que deberán ser gestionadas en el alcance de la FASE II, con las entidades de servicios correspondientes.

- Este componente forma parte del Producto 14 de los estudios del costado Oriental de la Autopista.

FASE II: comprende realizar los diseños de detalle de los siguientes tramos de vías (Unidades Funcionales):

- Avenida Polo entre la Autopista Norte y la Avenida Santa Bárbara;
- Avenida Polo entre la Avenida Santa Bárbara y la Avenida Laureano Gómez;
- Avenida Polo entre la Avenida Laureano Gómez y la Carrera Séptima;
- Avenida Santa Bárbara entre la Avenida Polo y la Avenida Jardín;
- Avenida Santa Bárbara entre la Avenida Jardín y la Avenida Laureano Gómez;
- Avenida Laureano Gómez entre la Avenida Polo y la 193;
- Avenida Laureano Gómez entre la Avenida Santa Bárbara y la Avenida Guaymaral.

Contrato No. FB-D-0002/2018 firmado el 28 de diciembre de 2018 entre WSP y FIDUCIARIA BOGOTÁ S.A como vocera y administradora del FIDEICOMISO LAGOS DE TORCA, con el objeto de realizar los estudios y diseños técnicos del costado occidental de la Autopista Norte para el proyecto Ciudad Lagos de Torca, el cual se desarrolla en las siguientes Fases:

FASE I: comprende la actualización de los estudios conceptuales del Contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía de detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca. Se debe considerar la Topografía de detalle del desarrollo vial de carga general correspondiente al alcance del presente contrato.

En esta fase se entregarán los siguientes productos:

- Actualización de los estudios conceptuales Contrato EAAB – ESP 1-02-25500-0626-2009: Estudios generales.
 - Antecedentes: Recopilación y análisis de información del proyecto. Corresponde al Producto 1 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Topografía detallada y levantamiento de redes existentes – Vías y Espacio Público. Corresponde al Producto 2 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Estudios Geológicos y Geomorfológicos con información secundaria. Corresponde al Producto 3 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Actualización del Estudio Hidrológico del Humedal Torca Guaymaral. Corresponde al Producto 4 de los estudios para el costado Oriental y Occidental de la Autopista.
 - Estudio Ambiental. Corresponde al Producto 5 de los estudios para el costado Oriental y Occidental de la Autopista.
 - Estudio de tipologías SUDS (específica para la alternativa conceptual que se decida). Corresponde al Producto 6 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.

- Actualización de los estudios a nivel de ingeniería básica y desarrollo de la alternativa definida a nivel de ingeniería conceptual contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009: Tres alternativas técnicas valoradas que deberán contener:
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica hidráulicos (con su correspondiente memoria de cálculo e implantados en los planos de predios disponibles que, para el momento, tendrá el Fideicomiso Lagos de Torca. Corresponde al Producto 7 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica geotécnicos (con su correspondiente memoria de cálculo). Corresponde al Producto 8 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Estudios y diseños a nivel de ingeniería básica estructurales (con su correspondiente memoria de cálculo). Corresponde al Producto 9 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Especificaciones técnicas particulares para la contratación de las actividades de la Fase 2 y la construcción de los diseños. Corresponde al Producto 10 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Descripción del proceso constructivo sugerido con su respectivo cronograma de ejecución. Corresponde al Producto 11 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Presupuesto a nivel de actividades (actividad, unidad, cantidad, valor unitario, valor total) con sus respectivos Análisis de Precios Unitarios – Plan de Operación y mantenimiento. Corresponde al Producto 12 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.
 - Comparativo técnico y económico de las tres alternativas con una recomendación justificada para cada uno de los sistemas. Corresponde al Producto 13 de los estudios para el costado Occidental de la Autopista.

- Actualización de los estudios conceptuales contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009: Desarrollo a nivel de ingeniería conceptual de la alternativa definitiva, que contendrá:
 - Desarrollo a nivel de ingeniería conceptual de la alternativa definida con sus correspondientes detalles incluyendo todos los aspectos técnicos: hidráulico, geotécnico, estructural, especificaciones técnicas detalladas, soportes, memoria de cálculo, presupuesto, cronograma y plan de operación y mantenimiento.
 - Trámites de aprobación y definición de todos los permisos que deberán tramitarse en la FASE II del diseño definitivo.
 - En la actualización del diseño conceptual se tendrá especial detalle con el levantamiento de redes existentes identificando las interferencias de redes que deberán ser gestionadas en el alcance de la FASE II, con las entidades de servicios correspondientes.

Este componente forma parte del Producto 14 de los estudios del costado Occidental de la Autopista.

Se contempla dentro de la fase 1 realizar el diseño, planos y detalles de la estación de bombeo de aguas residuales para el sector de El Bosque, San Simón y Mudela del Río.

FASE II: comprende realizar los diseños de detalle de los siguientes tramos de vías (Unidades Funcionales):

- Avenida Polo entre la Avenida Boyacá y la Autopista Norte;
- Avenida Las Villas de la Avenida Polo a la Avenida Tibabita;
- Avenida Las Villas de la Avenida Tibabita a la Avenida San Antonio;
- Avenida Tibabita de la Avenida Boyacá a la Avenida Las Villas;
- Avenida Tibabita de la Autopista Norte a la Avenida Las Villas;

Como se concluye de la lectura anterior los dos consultores desarrollaron sus contratos a partir de los compromisos y obligaciones adquiridas en la **FASE I** correspondiente a la actualización de los estudios conceptuales del Contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, cada uno con un objeto particular, HMV sobre el costado oriental de la Autopista Norte y WSP sobre el costado occidental, pero con un acento particular y le correspondió dentro del producto 4 de la FASE I la Actualización del Estudio Hidrológico del Humedal Torca Guaymaral, para el costado Oriental y Occidental de la Autopista, al igual que la Plan de Manejo Ambiental de dichos humedales y la restauración de las quebradas, incluyendo el área completa del Proyecto.

El Producto 4 elaborado por WSP es el resultado del estudio hidrológico para las condiciones de lluvia máxima determinadas por el consultor para un periodo de retorno de 100 años de acuerdo con la normatividad actual de la EAAB. Las condiciones de lluvia máxima fueron aplicadas en toda la zona de estudio del plan zonal, teniendo en cuenta el modelo digital topográfico generado a partir de los levantamientos detallados de topografía y las modificaciones geomorfológicas que se presentan entre las condiciones actuales y las debidas a la implantación de los 34 planes parciales que hacen parte del plan zonal.

A su vez se realizó el estudio hidrodinámico de las condiciones de drenaje causadas por la tormenta de diseño para los 100 años de periodo de retorno y aplicada sobre la totalidad del área del plan zonal, para las condiciones más desfavorables determinadas en el capítulo de hidrología en todos los causes y cuerpos de agua. Para las condiciones definidas en la hidrología y con la ayuda de software especializado, se estableció la huella de la lámina de agua de la inundación y el perfil hidráulico para los periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Hay que indicar que se evaluó detenidamente el efecto generado por el tránsito de la creciente en los cauces naturales al oriente de la Autopista norte, verificando en todo momento que las condiciones de tránsito se desplazaran por los accidentes topográficos que conforman cada cauce.

Especial atención mereció el estudio de todos los controles hidráulicos en el tránsito de la creciente, en los cruces de los cauces naturales, en el cruce del humedal Torca con la Autopista Norte, en los cruces del canal Guaymaral con las diferentes vías y finalmente la

entrega del sistema al Rio Bogotá para la condición de la lámina de agua de 100 años en el Rio.

Con todos los elementos y la información anteriormente indicada se elaboraron planos de lámina de agua, perfiles hidráulicos, huellas en los cauces naturales, comportamiento hidráulico de los cruces y cotas de inundación.

A partir de esta información el consultor elaboró un diagnóstico detallado de la situación indicando todas las limitaciones actuales en el funcionamiento de cada componente del drenaje pluvial del plan zonal y la forma como este se afecta cuando estén desarrollados todos los planes parciales. Tomando todos los elementos del diagnóstico y al análisis de cada componente se estudiaron y definieron las diferentes alternativas de solución y que son presentadas detalladamente en el Producto 7 del presente estudio.

El eje articulador del drenaje natural del plan zonal es el humedal Torca Guaymaral y su drenaje hacia el Rio Bogotá se lleva a cabo a través del Canal Guaymaral. La pendiente topográfica natural de este eje se desarrolla en sentido sur - norte y es el punto más bajo de todo el plan zonal, debido a lo anterior, la totalidad de los drenajes naturales desde el oriente y el occidente drenan hacia este sistema. Es importante entender su conformación natural porque para estudiar en detalle las alternativas de diseño se debe en la medida de lo posible seguir esta condición.

Las alternativas de diseño fueron estudiadas teniendo en cuenta esta conformación natural, es así como el costado oriental del sistema fue estudiado en detalle por el consultor HVM y el costado occidental fue desarrollado por WSP. Las alternativas que se estudiaron partieron de la situación definida en el producto 4, es decir con la lámina de agua y las cotas definidas a partir del tránsito de la creciente de los 100 años y con las condiciones geomorfológicas de los planes parciales ya desarrollados.

Cada alternativa estudiada contemplo la adecuación hidráulica de las diferentes quebradas para garantizar que los colectores que entreguen a cada una de ellas lo puedan hacer libremente o con el menor remanso en los colectores. De igual forma se evaluó la adecuación hidro morfológica de los humedales para garantizar el almacenamiento y amortiguación de la creciente. Así mismo las alternativas también tuvieron en cuenta el desarrollo de las unidades funcionales del plan zonal y la entrada de los diferentes planes parciales.

Es importante indicar que dentro del estudio de las alternativas, se llevó cabo el análisis de llevar una fracción importante de ingreso del caudal al humedal Torca y conducirla directamente al Rio Bogotá, con el propósito de disminuir de manera importante el tránsito de la creciente a lo largo del sistema Torca Guaymaral; sin embargo para poder entregar este caudal al Rio Bogotá, se requiere de un infraestructura demasiado costosa, ya se necesita un pondaje de amortiguación de caudales y una estación elevadora que disponga las aguas en el rio.

La escogencia de la alternativa seleccionada se hizo a través de una matriz de decisión que evaluó parámetros técnicos, operativos, de costo y finalmente de funcionalidad a partir de la entrada de los diferentes planes parciales y el desarrollo de las unidades funcionales.



En el producto 7 se presenta de manera detallada el soporte técnico, de la valoración de cada alternativa y su evaluación hasta obtener la mejor de las tres, a nivel técnico, económico y de operación.

En el producto 14 del presente estudio se presentará la alternativa seleccionada con su diseño a nivel de ingeniería básica, incluidos memoria detallada, planos con todos sus detalles y presupuesto.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El producto tiene como propósito la presentación de las alternativas de drenaje pluvial de la zona del proyecto con sus correspondientes análisis hidráulicos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Validar y actualizar las alternativas de drenaje pluvial evaluadas en el marco del contrato de consultoría 1-02-25500-0626-2009 de la EAAB-ESP.
- Plantear alternativas de distribución de redes de alcantarillado pluvial que se ajusten a las fases en las que se tiene previsto desarrollar el POZ Norte.
- Realizar la estimación preliminar de los costos de implementación de cada Alternativa de drenaje.
- Realizar la selección de alternativas mediante un proceso de Matriz Multicriterio que permita, desde varios puntos de vista, recomendar la mejor opción al sistema de drenaje de esta zona de la ciudad.
- Presentar la propuesta de cotas mínimas urbanizables de los desarrollos urbanos del Proyecto Lagos de Torca, bajo las condicionantes de drenaje posible del sistema hídrico Torca – Guaymaral.
- Presentar conclusiones y recomendar la alternativa que se considere más viable desde los puntos de vista técnico y económico.

4 METODOLOGÍA

La metodología empleada en el estudio se basa en los procedimientos necesarios para el estudio de las alternativas del sistema de alcantarillado pluvial como parte del cumplimiento de las condiciones previstas en el Plan Zonal Ciudad Lagos de Torca. El estudio está basado en la información primaria y secundaria como lo son trabajos de topografía y campo, documentos de estudios previos e insumos complementarios como son la información cartográfica temática.

El planteamiento de las alternativas debe tener en cuenta todas las restricciones presentes en el proyecto de tipo físico como son: la hidrodinámica de los cuerpos de agua existentes, el relieve o topografía de la zona, los caudales de escorrentía producidos por las áreas de drenaje pluvial aferentes, franjas de protección ambiental como es el caso de la reserva Tomas Van Der Hammen; deben considerarse también aspectos de tipo ambiental para evaluar el impacto sobre los ecosistemas de fauna y flora presentes en la zona del proyecto, y plantear alternativas económicamente viables, con base al cálculo de los presupuestos de las obras que se contemplen en cada una de las alternativas; los costos de las obras deben contemplar, además de los costos iniciales de inversión, la operación y el mantenimiento del sistema pluvial.

Siendo tan importante el entendimiento de la hidrodinámica del sistema de humedales, quebradas y canales, que se reflejan en los resultados obtenidos en el Producto 4 “Actualización Estudio Hidrológico del Humedal Torca Guaymaral”, es necesario que las alternativas sean evaluadas desde el punto de vista hidráulico, incluyendo las cotas de inundación obtenidas en el estudio de hidrología en los sitios de descarga de los colectores pluviales.

Por otra parte, todas las alternativas deben garantizar la conducción y adecuada disposición de los caudales de aguas lluvia, de modo que se garantice el correcto funcionamiento hidráulico, permitiendo los futuros desarrollos de la zona. Las alternativas deben ser vistas de manera integral para lograr la prestación del servicio a todos los beneficiarios de la zona. Cabe decir que todas las alternativas planteadas en el sistema de redes están enmarcadas dentro de la norma NS-085 de la EAAB-ESP.

En general se plantean tres alternativas viables que serán evaluadas desde el punto de vista técnico, social, ambiental, económico, predial, a partir de la elaboración de una matriz multicriterio.

El procedimiento para la definición de las alternativas de drenaje siguió una serie de pasos consecutivos o consideraciones que se tuvieron en cuenta a modo de flujograma como se describe a continuación.

- Recopilación y análisis de información secundaria.
 - Estudios previos.
 - Información cartográfica base y temática.
- Limitantes o restricciones
- Parámetros de Diseño

- Modelación Hidráulica
- Definición de Alternativas
- Selección de Alternativa
- Recomendaciones finales

A continuación, se presenta en mayor detalle la metodología general empleada.

4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La recopilación de información secundaria inicia a partir de la consulta de estudios previos y lectura de informes de caracterización ambiental que permitan establecer los anteriores planteamientos al drenaje de la zona.

- Estudio Hidrológico de Carácter Regional de la “Factibilidad para el Desarrollo de la Infraestructura de Acueducto y Alcantarillado Sanitario y Sistema de Drenaje Pluvial del Borde Norte de la Ciudad de Bogotá” del Plan Zonal de Bogotá (POZ), 2010.

En este estudio se evaluaron tres alternativas de drenaje así: La primera alternativa correspondió a un canal que llevará las aguas provenientes de la cuenca del canal Torca de forma directa, es decir, sin pasar por el sistema de humedales. Esta alternativa básicamente corresponde a la prolongación del canal Torca, y evacuará el flujo conducido por dicho canal rápidamente hacia el río Bogotá.

La segunda alternativa se fundamenta en la utilización del sistema de humedales Torca y Guaymaral en su máxima capacidad, de forma que estos elementos que son el eje articulador del drenaje del sector actúen cumpliendo su funcionalidad para la mitigación de las crecientes. La alternativa 3, como variante de la alternativa 1, propuso que para el transporte del caudal de 40 m³/s, hacia el río Bogotá, se empleen elementos de tuberías enterradas que minimicen los impactos ambientales y visuales que generaría un canal. Esta alternativa difiere entonces de la alternativa 1, por el elemento estructural por medio del cual se transporta el caudal regulado, es decir, en la alternativa 1 es por medio de un canal abierto, en tanque que para esa alternativa es por medio de un sistema de conductos circulares o tuberías a flujo libre.

- Informe de Consultoría para la Elaboración de los Diseños Detallados para la Adecuación Hidráulica y Restauración Ecológica del Humedal Torca (Romero, 2002). Este documento planteó, en el análisis hidrológico, que el área de drenaje de la cuenca del humedal Torca corresponde a una superficie de 3227 Ha, la cual fue dividida en un total de 34 subcuencas. Para las obras de restauración del humedal, se estimó que el volumen necesario para amortiguar la creciente con periodo de retorno de 100 años sería de 893.830 m³. Así mismo, de acuerdo con esos análisis, el humedal contaba con una capacidad de 558.881 m³. De lo anterior se concluye que para poder amortiguar una creciente en el humedal, sería necesario realizar un dragado correspondiente a la diferencia de los dos valores mencionados, es decir, un volumen a dragar en el humedal igual a 334.949 m³.

4.1.1 Trazabilidad Concepto CAR (Reserva Thomas Van Der Hammen)

Algunas de las alternativas técnicas definidas en el marco de la ejecución de los contratos suscritos por el Fideicomiso con las firmas CONCOL CONSULTORES S.A.S. - WSP INGENIERIA COLOMBIA S.A.S.¹, y HMV INGENIEROS LTDA², implican la conducción de redes de acueducto y alcantarillado sobre algunos tramos de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas Van der Hammen”.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 169 del Decreto Distrital 088 de 2017, las obras de carga general de la Avenida Boyacá, corresponde a la “*Construcción de la Avenida Boyacá*”. *Vía sobre la cual está prevista la expansión de redes de servicios públicos para el POZ NORTE*.

Según lo señala el citado artículo, las obras se realizarán de manera gradual, teniendo en cuenta la habilitación general del suelo sometido al tratamiento de desarrollo dentro del ámbito del mismo.

De igual manera, la norma citada precisa que las obras que hacen parte de los trazados de la Avenida Boyacá se encuentran fuera del ámbito de Ciudad Lagos de Torca, pero son necesarios para la continuidad de dicha vía, por lo que se realizará con aportes de carga general de Ciudad Lagos de Torca.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario indicar que la construcción de las vías dentro del área de influencia de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas Van der Hammen”, en este caso de la Avenida Boyacá, son obras que se encuentran restringidas bajo el Plan de Manejo Actual (Acuerdo No. 021 de 2014) y que para su desarrollo se requiere la obtención de la respectiva sustracción conforme a los requisitos y procedimientos establecidos en la Resolución No. 1526 de 2012 proferida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Así lo establece el artículo 21 del actual Plan de Manejo Actual, el cual señala lo siguiente:

“Artículo 21. Construcción de nuevas vías. Según el régimen de usos establecido para cada una de las zonas en los artículos anteriores, la construcción de nuevas vías vehiculares dentro de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, D. C. “Thomas Van der Hammen”, **se encuentra prohibida**. Bajo esta perspectiva, y en concordancia con el precepto anterior, **la construcción de nueva infraestructura de este tipo se sujetará a la previa sustracción del área respectiva por parte del Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)**; y a la autorización de la ejecución de las obras, previa imposición de las medidas de compensación respectivas, por parte de la administración de la CAR. La autorización emanada de la CAR busca garantizar la mitigación de los impactos sobre la reserva forestal, para lo cual, en la formulación y construcción de tales vías, se deberán definir, además de los sistemas tradicionales, alternativas que eviten el fraccionamiento de los ecosistemas” (Subrayado y resaltado fuera de texto)

¹ Contrato de consultoría No. FB-D-0002 / 2018

² Contrato de consultoría No. FB-D-0001 / 2018

De acuerdo con la Resolución No. 1526, el trámite de sustracción de una reserva podría tardarse aproximadamente ciento veinte días (120) hábiles, es decir, un estimado de seis (6) meses. En todo caso, en la práctica, este tipo de trámites tarda mucho más del tiempo establecido.

En ese sentido, a la fecha, existe un trámite de sustracción vigente ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, que se habría iniciado con base en la solicitud de Recategorización, Realinderación y Sustracción de la Reserva presentada por el Distrito Capital el dos (2) de abril de 2018 mediante el radicado No. 20181113481, cuyo avance describimos a continuación:

- El tres (3) de septiembre de 2018 el Distrito Capital completa los documentos requeridos por la CAR.
- El dieciocho (18) de septiembre de 2018, la CAR profiere el Auto No. 20, por medio de cual da inicio únicamente al trámite de sustracción.

Según el auto mencionado, la CAR da inicio únicamente al trámite de sustracción y no al de realineación y rede limitación en la medida en que de acuerdo con los términos de referencia adoptados por la Resolución No. 264 del 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los estudios que sustentan los procesos de recategorización, integración y realineación de las reservas forestales deben ser elaborados directamente por las Corporaciones en el marco de sus funciones, y no por un particular.

Por lo anterior, no consideró procedente adelantar dicha solicitud; sino que manifestó, sería necesario iniciar de oficio evaluar la procedencia de la realineación y recategorización.

- El diez (10) de octubre de 2018, a través de auto proferido por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca - Sección Cuarta, en el marco de la verificación del cumplimiento de las órdenes impartidas por el Consejo de Estado³ sobre conectividad de cerros orientales – Lagos de Torca, Reserva Thomas Van Der Hammen – Humedal La Conejera y El Conejito – Quebrada Salitrosa – Cerro del Maguey – Páramo de Guerreo, entró a revisar la propuesta del Distrito Capital y ordenó a la CAR que acogiera la misma mediante un Acuerdo el cual debería ser proyectado por su Consejo Directivo, en un término específico de ciento veinte (120) días hábiles.
- El veintidós (22) de octubre de 2018, el Tribunal Administrativo de Cundinamarca - Sección Cuarta, dejó sin efectos la orden proferida el diez (10) de octubre, teniendo en cuenta que la Magistrada Ponente da validez a los argumentos del apoderado de la CAR, según el cual, toda sustracción de reserva forestal debe cumplir con los requisitos y procedimiento establecidos en la Resolución No. 1526 del 2012, por lo que se debían primero agotar todas las etapas establecidas para el trámite, y así poder decidir, y en el

³ Sentencia proferida el veintiocho (28) de marzo de 2014, dentro del expediente identificado con el radicado AP-25000-23-27-000-2001-00479-01

evento en que no fuere aprobada la Propuesta del Distrito Capital, se tendría que aplicar el Plan de Manejo Actual (Acuerdo No. 021 de 2014).

- El veintidós (22) de enero de 2019, la CAR mediante Auto No. 001, requiere al Distrito Capital información adicional.
- El primero (1°) de febrero de 2019, el Distrito Capital completa los documentos requeridos por la CAR.
- El dieciséis (16) de abril de 2019, la CAR publica aviso de convocatoria para llevar a cabo audiencia y reunión preparatoria de la misma.
- El dos (2) de mayo de 2019 fue llevada a cabo la reunión informativa donde el Distrito Capital presentó los estudios de soporte requeridos para la solicitud de sustracción.
- El dieciséis (16) de mayo de 2019 fue llevada a cabo la Audiencia Pública con la intervención de la ciudadanía.
- El veintinueve (29) de agosto de 2019, el Distrito Capital modificó la solicitud de sustracción inicialmente radicada ante la CAR, manteniendo el área requerida correspondiente a la Avenida Boyacá.
- El veintidós (22) de noviembre de 2019, la Fiduciaria Bogotá S.A. le solicita a la Corporación Autónoma Regional CAR otorgar concepto favorable para la construcción de las redes matrices de acueducto y alcantarillado por la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. – “THOMAS VAN DER HAMMEN”, necesarias para extender la prestación de dichos servicios públicos para el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte “Ciudad Lagos de Torca”.
- El treintauno (31) de diciembre de 2019, la CAR da respuesta mediante el comunicado 20192189172, en donde indica lo siguiente: la Fiduciaria Bogotá S.A. le solicita a la Corporación Autónoma Regional CAR otorgar concepto favorable para la construcción de las redes matrices de acueducto y alcantarillado por la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. – “THOMAS VAN DER HAMMEN”, necesarias para extender la prestación de dichos servicios públicos para el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte “Ciudad Lagos de Torca”.

“El Artículo 8 del referido Acuerdo CAR 21 de 2014, define lo relacionado con la Zona de Preservación estableciendo como Uso Condicionado, lo siguiente:

La infraestructura de servicios públicos domiciliarios únicamente se permitirá para el desarrollo de los usos principales y compatibles previstos en el presente plan”.

“Por otra parte, el mencionado Plan de Manejo Ambiental, en su Artículo 9º precisa lo relacionado con la Zona de Restauración, señalando como Uso Condicionado lo siguiente:

La infraestructura de servicios públicos domiciliarios únicamente se permitirá para el desarrollo de los usos principales y compatibles previstos en el presente plan”.

Hasta aquí, tenemos que de conformidad con la solicitud que hace la Fiduciaria Bogotá S.A., para la construcción de las redes matrices de acueducto y alcantarillado por la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., necesarias para extender la prestación de dichos servicios públicos para el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte “Ciudad Lagos de Torca”, se ajusta a la zonificación y régimen de usos establecido para aquellas, previo cumplimiento de los requisitos que se exigen en la referida determinante”

“Actividades De Bajo Impacto Ecológico, Ambiental Y De Beneficio Social. De conformidad con lo establecido en el artículo 2 de la Resolución 1527 del tres (3) de septiembre de 2012, emanada del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, modificada por la Resolución No. 1274 de 2014, las actividades que se señalan a continuación, al considerarse de bajo impacto y que además generan beneficio social, se pueden desarrollar en la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas Van der Hammen”, sin necesidad de efectuar la sustracción del área:

“En consecuencia, desde el punto de vista jurídico, es viable la posibilidad de adelantar la extensión de infraestructura de servicios públicos dentro de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas van der Hammen” sin que deba mediar la sustracción previa del área a intervenir de conformidad con el cumplimiento previo de requisitos que contempla el Plan de manejo Ambiental – Acuerdo CAR No. 21 de 2014”.

El oficio de la CAR se encuentra en el anexo 1.7 “Oficio CAR RTVDH” del presente informe.

4.2 INFORMACIÓN PRIMARIA

Durante la visita de campo se realiza el recorrido de la zona, permitió reconocer el sistema hídrico existente, así como las características morfológicas de los cauces (humedales, quebradas y vallados), tipos de revestimiento, estructuras de drenaje (pontones, box culverts y alcantarillas), realizando el inventario y catastro de cada elemento como condicionantes del flujo. Con el objeto de obtener información complementaria a la visual, se llevó a cabo un levantamiento topográfico de tipo convencional para cauces de drenajes y batimetrías en el caso de los cuerpos de agua y humedales.

4.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

En primer lugar, se procesa la información morfométrica a partir de la cartografía base y el MDT, realizando una primera delimitación de cuencas y microcuencas. Este proceso se realiza utilizando un procesador de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS y QGIS), que permite mediante diferentes módulos obtener parámetros como tamaño de áreas, pendientes y perímetros de cuenca, así como realizar los cruces necesarios para extraer información de conductividad hidrológica de diversos tipos de suelos y coberturas.

4.3.1 Delimitación de cuencas

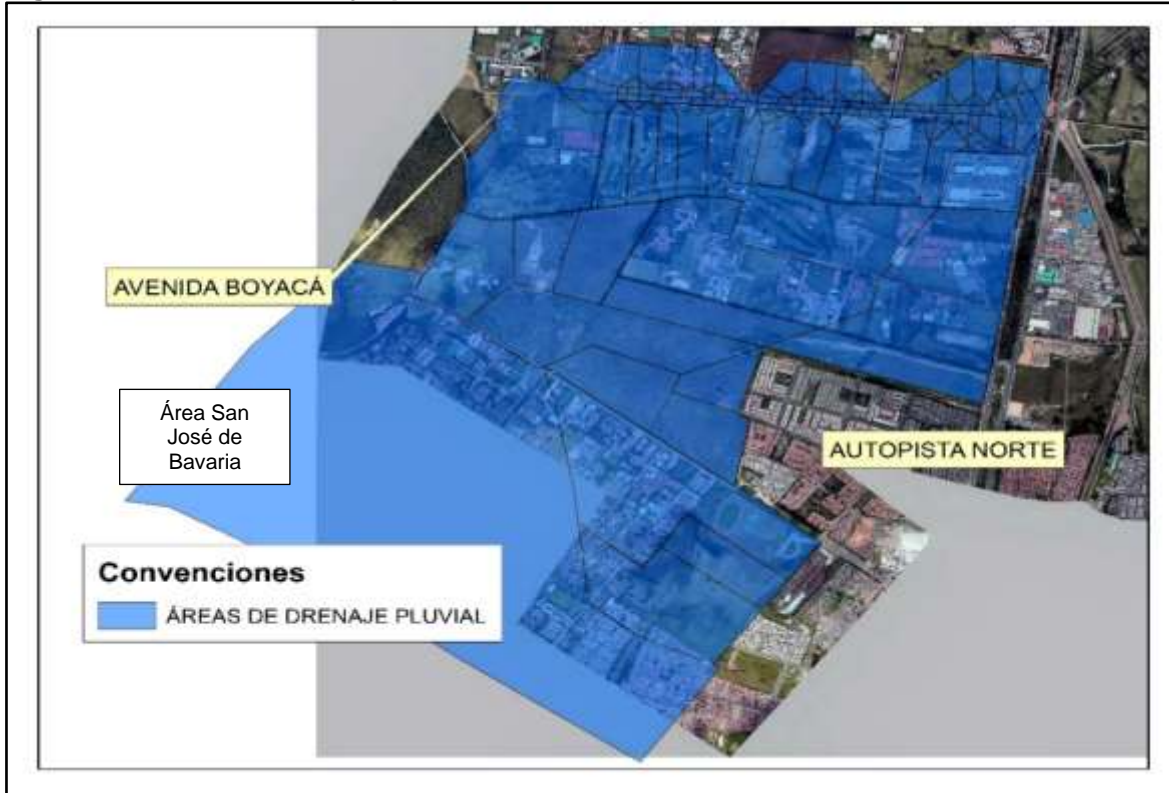
Se realiza en primer lugar a partir del procesamiento en ArcGIS del MDT, mediante el módulo Arc Hydro Tools, que permite definir áreas y corrientes de los sistemas de drenaje en cuencas hidrográficas, a través del análisis de la dirección y acumulación de flujo por diferencia de elevaciones. Esta primera delimitación de cuencas se refinó a partir de la interpretación cartográfica y de imágenes satelitales disponibles a través de la identificación de límites de cuencas urbanas representados por vías, canales y colectores de la red de alcantarillado pluvial de Bogotá, esta última obtenida del Servicio Web geográfico Alcantarillado Pluvial de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB).

Asimismo, a partir de la información de la visita a campo se pudo establecer las direcciones de ciertos canales y cunetas cuya interpretación resultara compleja a partir de cartografía o la misma ortofoto del proyecto.

Las áreas aferentes de drenaje tienen en cuenta además aquellas cuencas que se encuentran por fuera del perímetro del proyecto ciudad Lagos de Torca, pero que se contempla entreguen sus aguas a los colectores proyectados en el proyecto, tal es el caso del área aportante de San José de Bavaria que se presenta en la Figura 1. Estos aportes se prevén sean captados por colectores que inician su recorrido por la Av. Boyacá. En el anexo de Planos se encuentra incorporados los polígonos aferentes a cada uno de los colectores, incluido el polígono de aporte de San José Bavaria para las 3 alternativas de soluciones que se plantean.

Los polígonos presentados en los planos de áreas se encuentran relacionados en las memorias. Es importante tener en cuenta que existentes pozos que poseen más de un polígono de aferencia, razón por la cual se incorpora el valor de la suma del área de estos polígonos en la memoria de los cálculos hidráulicos.

Figura 1 área colindante y aportante San José de Bavaria



Fuente: WSP; 2020

4.3.2 Determinación de caudales de diseño

Los caudales de diseño son los resultantes de aplicar las máximas lluvias, para cada periodo de retorno aplicable, según el procedimiento del hidrograma unitario. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el producto 4 “Actualización Estudio Hidrológico del Humedal Torca Guaymaral” tiene como objetivo principal estimar la hidrodinámica del sistema complejo de canales, quebradas, humedales y estructuras, el área de extensión del sistema hidrológico de cuerpos de agua es de gran magnitud, por lo que cobra importancia la variación espacial de la lluvia obtenida a partir de los análisis de las tormentas registradas en las estaciones meteorológicas de la zona.

Para el caso del dimensionamiento de los colectores debe tenerse en cuenta que se tiene un fenómeno de tipo local (puntual) que puede abordarse a partir del enfoque se curvas IDF y de los resultados obtenidos en el estudio de tormentas INGETEC.S. A en 2015. El tamaño de las cuencas aferentes a los colectores es pequeño por lo que no es indispensable utilizar los resultados de los análisis de la precipitación del Producto 4 toda vez que dichos análisis están encaminados al entendimiento completo de la hidrodinámica de los cuerpos de agua de Lagos de Torca y no como tal a un fenómeno local.

Por lo anterior se decide trabajar con la metodología sugerida en la norma NS 085 de la EAAB a partir de curvas IDF, aplicando bien sea, El método Racional o el Método del Hidrograma Unitario del SCS, teniendo en cuenta que el enfoque de diseño de tuberías

obedece más a un análisis de tipo local, logrando obtener resultados razonables en la definición de los caudales máximos para el dimensionamiento de los colectores del sistema pluvial.

4.3.3 Período de Retorno de diseño

Para la definición del período de retorno de diseño se han tenido en cuenta diversos criterios establecidos en la normatividad vigente al respecto así:

- Norma NS-163 (EAAB)
- Norma NS-085 (EAAB)
- Decreto 2245 de diciembre 2017

En las dos normativas se expresa que para cuerpos de agua que han sido intervenidos y que su dinámica fluvial se ha visto alterada, principalmente en tramos donde en sus márgenes ya hay asentamientos urbanos consolidados, debe contemplarse las nuevas condiciones de acuerdo con el criterio hidráulico definido como el cauce por el cual puedan discurrir sin inconvenientes los caudales con período de retorno de 100 años sin que se produzca desbordamientos (Resolución 2245 de 2017).

En cuerpos de agua que han tenido modificaciones considerables en su morfología y donde no se han dejado posibilidades para el almacenamiento temporal de agua y sedimentos (llanura inundable ocupada), el componente hidrológico de la ronda hídrica se debe definir por el espacio que requiere el flujo en un evento de mayor importancia y al menos con 100 años de período de retorno (Decreto 1807 de 2014).

4.4 HIDROGRAFÍA

El proyecto se sitúa dentro de la cuenca del Río Bogotá, al borde de los cerros orientales al norte de Bogotá desde la calle 193 hasta la calle 245 y la desembocadura en el Río Bogotá, recibiendo las aguas de escorrentía de los cerros.

Desde el punto de vista de la jerarquía de cuencas, atendiendo a la nomenclatura del IDEAM, el área de influencia se encuentra en el Área Hidrográfica 2, del Magdalena-Cauca, Subzona Hidrográfica 21, del Alto Magdalena, en la Subzona Hidrográfica 2120, del Río Bogotá.

La zona de estudio incluye dos áreas de drenaje que corresponden al humedal de Torca-Guaymaral en el nororiental (Cuenca Torca), cuyo sistema hídrico está conformado por una serie de drenajes que fluyen a través del Canal Torca que, en la zona urbana, se inicia hacia la Calle 134 (Lago del Country) en la localidad de Usaquén, corre en sentido sur norte, contrario al río Bogotá hasta desembocar en éste.

El territorio del área de drenaje Torca-Guaymaral pertenece a las localidades de Suba y Usaquén y se caracteriza por un paisaje de modelado fluvio-lacustre con materiales aluviales duros y blandos e intermedios de depósitos de arcilla. El humedal fue fraccionado por la construcción de la Autopista Norte en 1952; la fracción más grande, ubicada al occidente, se denominada Guaymaral, mientras que la ubicada en el fragmento oriental recibe el nombre de Torca.

El humedal de Torca está alimentado directamente por tres quebradas que descienden de los Cerros Orientales: las quebradas Patiño, San Juan y Aguas Calientes, además del canal urbano Torca, en el que a su vez hace su entrega la quebrada Tibabita. En el humedal Guaymaral, lo alimenta las aguas del humedal de Torca a través de obras de drenaje que atraviesan la Autopista Norte y la quebrada del Guaco, la cual es represada antes para alimentar algunos cultivos. En el transcurso entre la salida del humedal Guaymaral hasta el río Bogotá, hacen la entrega las quebradas La Floresta, Las Pilas, Nóvita y Torca. Estas quebradas y canales que alimentan el complejo principalmente llevan aguas lluvias y negras de conexiones erradas del área cercana al complejo hídrico (CAR y Planeación Ecológica Ltda., 2006).

Esta área de drenaje tiene una extensión de 1.182 ha, con alturas máximas de 3200 msnm y mínimas de 2642 msnm. El canal Torca tiene una longitud de 4,24 kilómetros, nace en los Cerros Orientales, y desemboca al sistema Humedal Torca-Guaymaral. La cuenca que drena a dicha corriente tiene un área de aproximadamente 2.078 hectáreas, con una precipitación media de 982 mm/año. Esta subcuenca se caracteriza por recibir descargas de residuos provenientes de actividades agropecuarias (EAAB, 2007).

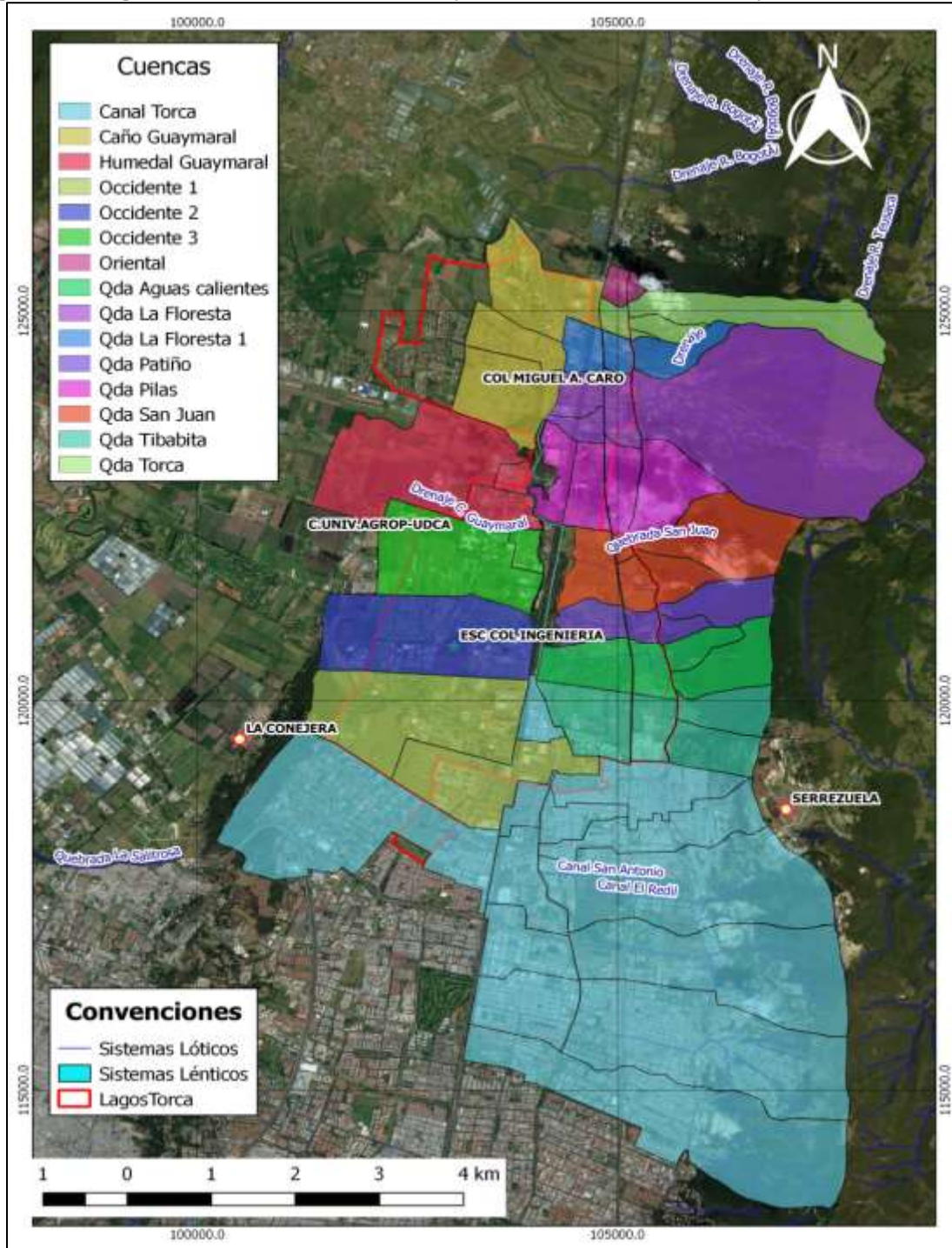
El alcantarillado ha sido proyectado como un sistema separado, que descarga las aguas lluvias al canal Torca (o alguno de sus afluentes), y las aguas residuales son transportadas por la red de interceptores hacia la PTAR Salitre. El principal interceptor de la cuenca se denomina el Interceptor del río Bogotá Torca-Salitre, más conocido como IRB. De acuerdo con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV, EAAB, 2007), el IRB drena las aguas residuales producidas en la cuenca hacia la PTAR Salitre. Por lo tanto, los problemas de calidad del agua en el canal Torca se deben principalmente a conexiones erradas a los colectores del alcantarillado pluvial y otro tanto al vertimiento tratado o no que hacen los desarrollos urbanos aislados que se encuentran en el sector, hacia el sistema de vallados y/o canales antrópicos, que descargan finalmente al sistema Torca – Guaymaral.

El proyecto se desarrolla sobre la terraza aluvial del Río Bogotá. Las aguas de escorrentía que llegan desde los cerros bajan en régimen torrencial hasta la Carrera Séptima, a partir de la cual las pendientes se suavizan y los cauces se dividen en canales, conductos, cunetas y cauces menores. Esta zona con drenajes artificiales entre la Séptima y la Autopista se encuentra fuertemente intervenida, con presencia de zonas urbanizadas residenciales o industriales, potreros y áreas recreativas.

Hacia el costado occidental de la Autopista Norte, el sistema de drenaje es típico de las zonas llanas de la Sabana, y se compone de vallados o canales relictos del gran sistema hídrico de humedales, los cuales han sido reconfigurados o realineados por la presión sobre la tierra en la zona. De estos sistemas se pueden destacar el existente sobre la Calle 200 o Avenida El Polo, la Calle 209 o Avenida Arrayanes, la Calle 222, la Calle 234 o Avenida Guaymaral, y otros menores que drenan solamente grandes predios. Todos estos sistemas hacen su entrega directa al canal o Humedal Guaymaral.

En la Figura 2 se presenta la delimitación de cuencas prevista para la cuenca Torca-Guaymaral, sistema cuya morfometría y características hidrológicas se describieron en el Informe de Hidrología (Producto 4) de esta Consultoría.

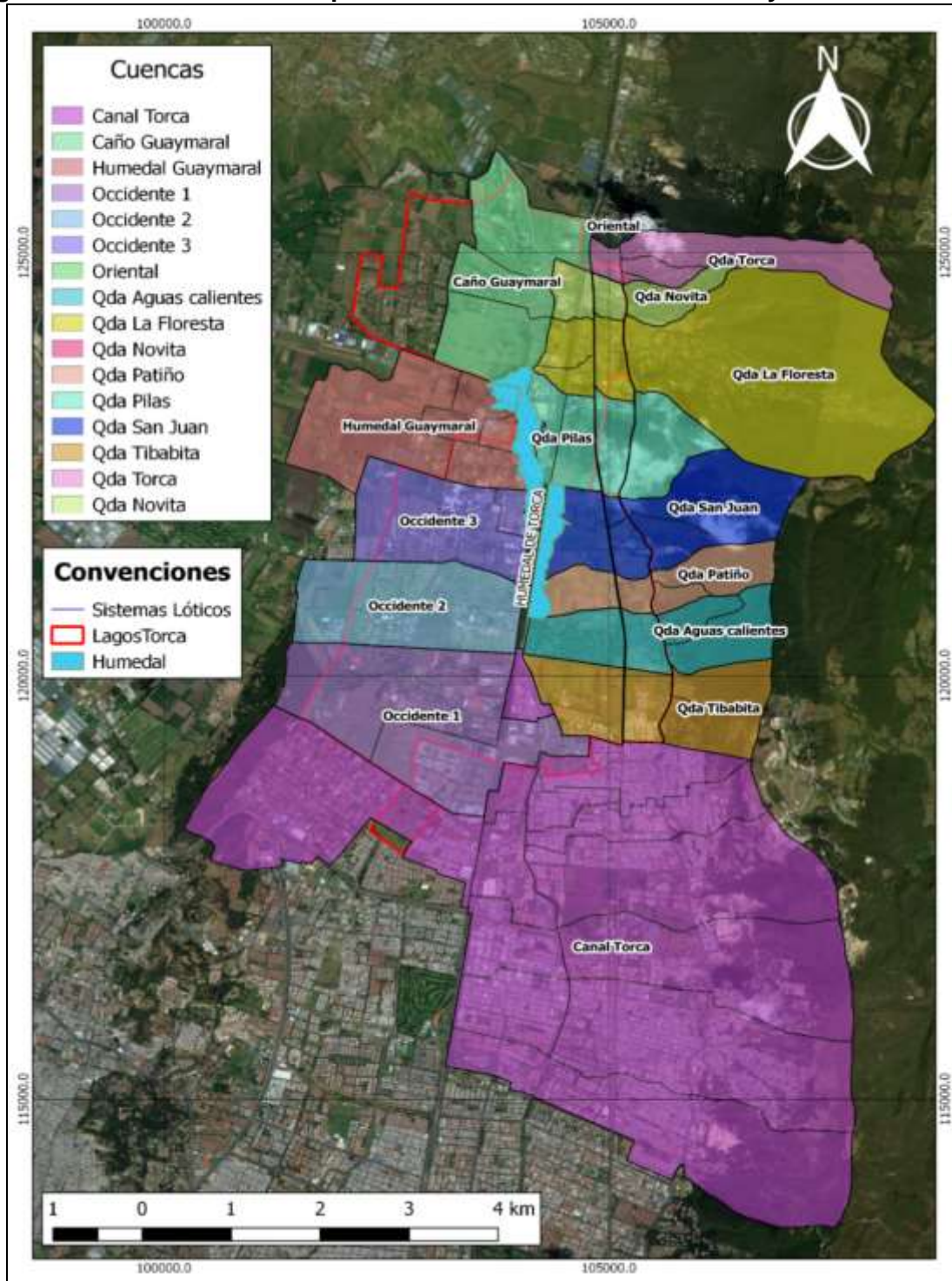
Figura 2 Diagrama de cuencas de drenaje del sistema Torca-Guaymaral



Fuente: WSP; 2020

A partir de los estudios de Hidrología (Producto 4), los aportes de caudal y áreas aferentes son los que se representan en la Figura 3.

Figura 3 Detalle de áreas de aporte del sistema hídrico Torca-Guaymaral



Fuente: WSP; 2020

5 PARAMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO

5.1 GENERALIDADES

El sistema de drenaje actual del sector del Borde Norte de Bogotá, está conformado por varios elementos dentro de los cuales se destaca el sistema Torca – Guaymaral, conformado por los canales y humedales que llevan los mismos nombres (canal Torca, humedal Torca- Guaymaral, canal Guaymaral), sistema que es el eje central de drenaje, no solo del Borde Norte, sino también de la cuenca del Canal río Torca, cuenca que drena de sur a norte y cuya área aproximada es superior a los 5000 Ha.

Del sistema Torca – Guaymaral, el primer elemento es el humedal en el sector Torca, que recibe el aporte de caudal proveniente de la cuenca del río Torca (canal Torca) el cual discurre de sur a norte a través de un canal de forma trapezoidal con recubrimiento y que desemboca hasta el sitio donde intercepta al humedal a la altura del Cementerio Jardines de Paz. Adicionalmente, este humedal, recibe los aportes directos de las quebradas Aguas Calientes, Patiño y San Juan, las cuales drenan las aguas provenientes de las laderas de los cerros orientales.

El segundo elemento es el humedal en el sector Guaymaral, el cual se conecta con el humedal sector Torca, a través de unas alcantarillas tipo cajón que atraviesan la Autopista Norte. Este humedal recibe el aporte de cuatro subcuencas del costado oriental: cuencas de las quebradas La Floresta, Novita, Las Pilas, Cañiza y quebrada Torca. Adicionalmente, recibe el aporte de cuatro cuencas localizadas al costado occidental de la Autopista Norte, denominadas Guaymaral 1, Guaymaral 2, Guaymaral 3 y Guaymaral, de acuerdo con lo análisis Hidrológico regional del Producto 4.

Visto de esta forma, es claro que el drenaje del sector debe aprovechar estos sistemas como sistemas de recolección de aguas lluvias que permitan conducir el flujo hacia un eje central articulador, es decir, hacia un elemento que drene el caudal total de la cuenca del sistema Torca – Guaymaral hacia el río Bogotá.

De acuerdo con lo anterior, en esta sección se presentan los criterios de análisis para la definición de las Alternativas de drenaje pluvial del Plan Zona del Norte, referidas en la primera parte, al manejo del sistema hídrico natural (Humedal y quebradas) para el manejo de todo el flujo de agua por escorrentía que fluye hacia el eje articulador del drenaje pluvial, y el segundo que tiene que ver con las particularidades de los sistemas de recolección y conducción de la escorrentía, a través de los colectores que se requieren en el sector trazados por vías principales.

5.2 PARAMETROS DE LA ADECUACION HIDROGEOMORFOLOGICA

5.2.1 Antecedentes

En lo que respecta a las quebradas la delimitación o el acotamiento de las rondas hídricas deberá seguir los procedimientos establecidos en el Decreto 2245 de 2017, donde se establece que esta demarcación, no solamente tiene en cuenta el criterio hidrológico, si no que el criterio se orientará basándose en los atributos de funcionalidad de la corriente.

Los criterios parten de una consideración inicial de tipo geomorfológico en la cual se hace relevante la estructura del sistema fluvial, referidas a las dimensiones y forma del cauce, la forma y vegetación de las orillas y las riberas, el tipo de material en cauce y riberas, la tipología de flora y fauna acuática.

La definición del límite físico de la ronda hídrica se soportará en las variables que expresan su funcionalidad. Dentro de los atributos de la funcionalidad están los procesos geomorfológicos y fluviales, de los cuales hay tres componentes físico-bióticos determinantes e interdependientes entre ellos: las geoformas y procesos morfodinámicos; los flujos de agua, sedimentos y nutrientes que se producen, transportan y almacenan dentro de la red de drenaje en la cuenca hidrográfica y en sus llanuras inundables o sistemas lénticos; la flora y fauna que se establecen por la interacción con los anteriores procesos. Tales atributos en adelante se denominarán componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico de la ronda hídrica.

Teniendo en cuenta las relaciones intrínsecas que existen entre los tres componentes mencionados, se establecen posteriormente las actividades para integrarlos y definir el límite físico de la ronda hídrica, cuyos resultados son la base para la definición de las estrategias para su manejo ambiental.

5.2.2 Criterios geomorfológicos

La geomorfología explica y describe la evolución del paisaje terrestre a partir de los factores y procesos modeladores de la superficie. La caracterización geomorfológica del área de se realiza a través de las unidades geomorfológicas por los diferentes ambientes en los que estos fueron originados.

La descripción de los tipos de relieve que se encuentran dentro del área del proyecto, se hace de acuerdo al punto de vista de evolución geológica, en donde los procesos endógenos como la orogénesis (procesos con los cuales se originan las cordilleras), fragmentación y deriva continental (tectónica de placas), expansión del suelo oceánico, vulcanismo (principal proceso formador de las rocas y sus relieves específicos), eventos sísmicos, metamorfismo de las rocas, y procesos exógenos como el agua, hielo, viento, gravedad, corrientes fluviales y marítimas, actividad biológica y antrópica, son los agentes modeladores de la superficie.

El análisis de las condiciones geomorfológicas de los cauces de las quebradas con el objeto de establecer su evolución y la influencia en las consideraciones para la adecuación del Humedal Torca-Guaymaral y de las quebradas afluentes, que incluye la comparación de las quebradas entre la década de 1960 y la actualidad; lo anterior, con énfasis en cambios antrópicos; adicionalmente, se incluye un análisis de sedimentos. Es de anotar que los registros aerofotográficos más antiguos corresponden a los del año 1956, fecha a partir de la cual se hace el análisis evolutivo.

5.2.2.1 Geomorfología del Humedal Torca Guaymaral

El altiplano de la Sabana de Bogotá y sectores aledaños se localiza sobre la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia y se ubica a una altura promedio de 2600 m.

Constituye una provincia Geomorfológica en la cual se pueden observar dos áreas bien definidas la parte montañosa y la planicie de acumulación.

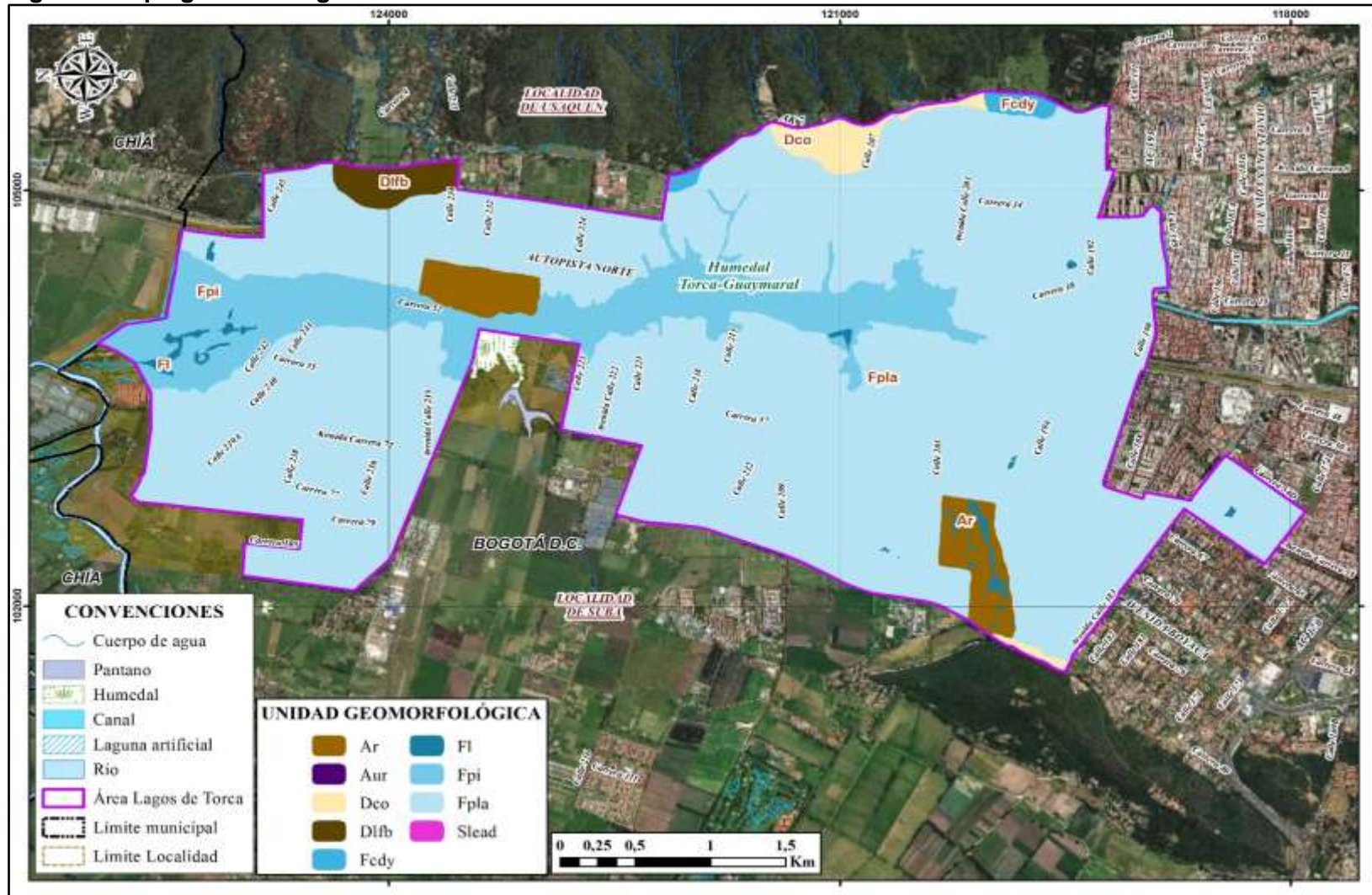
Actualmente en la sabana de Bogotá se encuentra el área donde se ubica el proyecto; esta zona ha sufrido por la intervención antrópica en los últimos 100 años cambiando significativamente los cursos de quebradas, geoformas y áreas inundables del humedal.

El área de estudio no presenta actividad neotectónica asociada, los pliegues y fallas se encuentran limitados por el Cerro de la Conejera y la cordillera Oriental, por lo cual no hay evidencia estructural que nos indique algún cambio en el área del proyecto, siendo esta un área de alta estabilidad, sin presencia de fenómenos de remoción en masa, diaclasamiento o fallas activas.

El ambiente morfogenético encontrado debajo de los humedales es el ambiente fluvial (F); esto nos indica que las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas, bajo las cuales se generaron fueron por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas respectivamente (INGEOMINAS, 2010). Se describe a nivel general como un sistema agradacional producto de la sedimentación que ocurren en la parte baja de esta cuenca, estos sedimentos son degradados en su mayor parte en la cordillera oriental (Grupo Guadalupe), posteriormente son transportados por las diferentes quebradas encontradas en el sector oriental del humedal San Juan, Patiño y finalmente depositados en el humedal.

A nivel de unidad geomorfológica el humedal Torca-Guaymaral se encuentra ubicado en las planicies de inundación como se puede observar en Figura 4. Esta unidad geomorfológica se genera por la depositación y divagación de los principales drenajes del área de estudio asociados al humedal Torca-Guaymaral. Se describe como una franja de terreno plana a ondulada, inundable, se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por pequeños escarpes. Se constituye de 3 - 5 m de arcillas y limos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial (INGEOMINAS, 2004). En esta área de estudio no hay evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), debido a que no indicios de actividad neotectónica asociada a esta morfología.

Figura 4 Mapa geomorfológico del área de estudio



Fuente: WSP, 2019.

Adicional a estas unidades geomorfológicas se puede observar como desarrollo urbanístico de Bogotá, en el norte de la ciudad ha afectado varias zonas del humedal en los últimos años. En el año de 1960 al sur del cementerio Jardines de Paz se puede ver que el humedal se extendía, en la actualidad la parte sur del humedal está limitada por el cementerio en esta área se encuentran rellenos que limitan actualmente los bajos inundables del humedal.

Anteriormente se podía observar en el sector occidental del humedal un brazo que se extendía desde el humedal con dirección SWW cruzando el cementerio jardines del Recuerdo, actualmente este brazo del humedal ha dejado de existir se observan pequeñas lagunas producto de relictos de este brazo.

Durante estos últimos años también se puede observar en el sector occidental varias construcciones de tipo educativo, industrial y comercial que se encuentran sobre lo que era parte del humedal en años anteriores.

El área del humedal ha disminuido notablemente en los últimos años por la acción antrópica, las quebradas que alimentan este humedal también han sido afectadas producto de rellenos y canalizaciones que han afectado el ciclo hidrológico, su límite geomorfológico que modifica su función de transporte y almacenamiento temporal de agua y sedimentos.

5.2.2.1.1 Análisis de dinámica fluvial multitemporal del Humedal

Año 1956 Y 1960

En la imagen del año 1956 y 1960 (Figura 5 y Figura 6) se puede observar la extensión del humedal en la parte sur y occidental de la autopista, en la imagen se ve que los cauces alrededor del humedal no estaban afectados, la quebrada aguas calientes mostraba tres brazos que daban aguas en el costado occidental, actualmente estos brazos no se encuentran debido a que en esta área se encuentra el cementerio Jardines de Paz. La quebrada Patiño en esta época tenía su curso natural, actualmente esta quebrada se encuentra canalizada y los sedimentos que transporta son de tamaño arena fina.

Entre la quebrada San Juan y la quebrada La Floresta se pueden observar en el sector oriental del humedal ocho (8) lechos de quebradas que actualmente no se encuentran en el área, estos cuerpos de agua dejaron de existir debido a la urbanización que se ha llevado a cabo durante los últimos años. Igualmente, en el sector occidental se pueden ver 3 brazos de agua que actualmente no existen.

La quebrada Floresta para esta época se encontraba en su curso natural desde el piedemonte de los cerros orientales hasta el Humedal de Torca, actualmente por la construcción del Bima este cauce se encuentra canalizado en el sector occidental de la autopista norte.

En el sector suroccidental se puede observar un brazo del humedal, en la actualidad este brazo fue relleno, y quedan partes del antiguo humedal formando una serie de lagunas con dirección E-W.

Año 2007

En la Figura 7 se incluye el análisis realizado; para el año 2007, a diferencia del año 2004, se puede observar una construcción antrópica en el costado occidental de la avenida paseo los libertadores, ocupando parte del Humedal Guaymaral para relleno, se puede observar en el área el crecimiento urbano para viviendas en la parte norte del Humedal. Las principales quebradas del área de estudio no tuvieron ninguna afectación en el lapso entre 2004 y 2007, esto debido a que gran parte de estas quebradas se encuentran canalizadas por lo cual su cauce y rumbo están controlados por estas construcciones, tales como la quebrada Aguas Calientes, quebrada Patiño, Quebrada La Floresta, Quebrada la Novita y Quebrada Torca. También se puede observar la quebrada San Juan que a pesar de no estar canalizada no sufrió de ningún cambio notorio en este tiempo, debido a que su curso se encuentra limitado por una topografía plana y no tiene que atravesar ninguna clase de obstáculo para desembocar en el canal de Torca.

Año 2010

Para el año 2010, se puede observar el crecimiento de infraestructura dentro del humedal Guaymaral, en el costado occidental de la avenida paseo de los libertadores se puede observar nuevos rellenos antrópicos dentro del área del humedal; adicionalmente al costado occidental, oriental y norte del Humedal se puede evidenciar el gran crecimiento de casas, conjuntos y centros educativos en el área. Las quebradas a diferencia del año 2007 no presentan cambios significativos. Lo anteriormente descrito se muestra en la Figura 8.

Año 2014

Para el año 2014 se puede observar que el desarrollo urbano sigue incrementando, parte del humedal se ve limitado por algunos predios privados en el sector occidental, las quebradas aguas calientes, Patiño, La Floresta, Novita y Torca, siguen sus cursos canalizados por lo cual no han tenido ningún cambio y estos desembocan al canal de Guaymaral (ver Figura 9).

En el sector oriental se observa un crecimiento de infraestructura, por lo cual áreas que anteriormente eran pastos limpios ahora son rellenos antrópicos, que impermeabilizan parte del suelo lo que afecta directamente áreas de recarga natural de los cuerpos de agua.

Año 2016

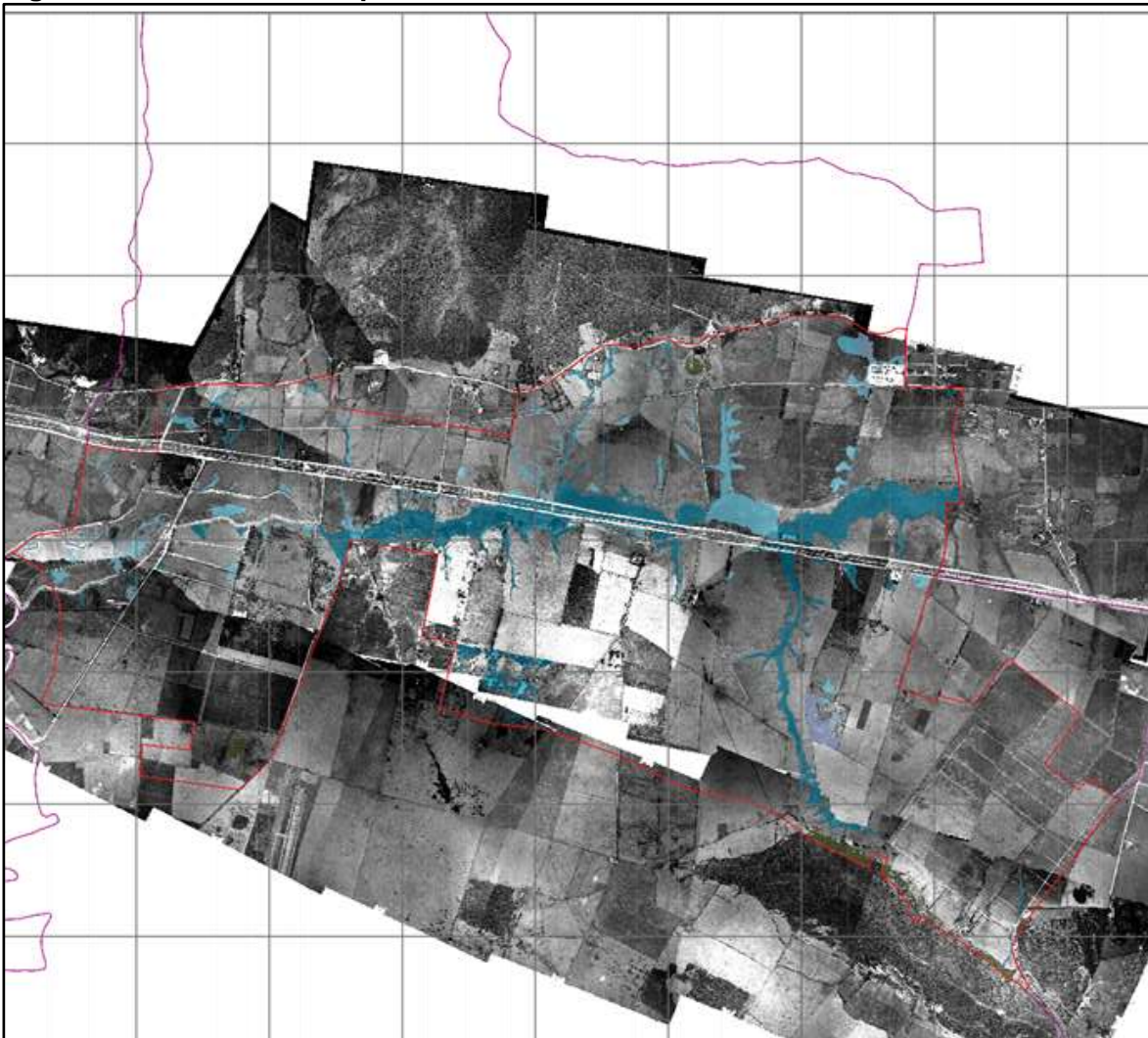
Para el año 2016, se observa que el crecimiento urbano es evidente, más áreas modifican el uso del suelo para sectores de comercio, viviendas y educación (ver). Dentro de la planicie de inundación (Fpi) perteneciente al humedal de Guaymaral se observan más construcciones que están afectando directamente este sistema. Para el año 2016 también es evidente que al sur de Bima se realizó un relleno antrópico, causando erosión antrópica en el área, dejando los suelos completamente desnudos y afectando las zonas de infiltración del humedal en esta zona. Lo anteriormente descrito se muestra en la Figura 10.

Año 2019

Para el año 2019 se puede observar que las quebradas Aguas Calientes, Patiño, La Floresta, la Novita y Torca no han sufrido alguna afectación debido a que se encuentran canalizadas antes del 2004, y su curso se ha mantenido constante a lo largo del tiempo. También se puede observar la quebrada San Juan presenta leves cambios de dirección en su curso, que hace parte del comportamiento natural de la misma (ver Figura 11).

En el sector norte del Humedal se observa un gran crecimiento urbano, muchas parcelas fueron construidas. La planicie de inundación del Humedal no ha sido afectada, manteniendo sus sectores verdes igual que el año 2016.

Figura 5 Análisis multitemporal año 1956



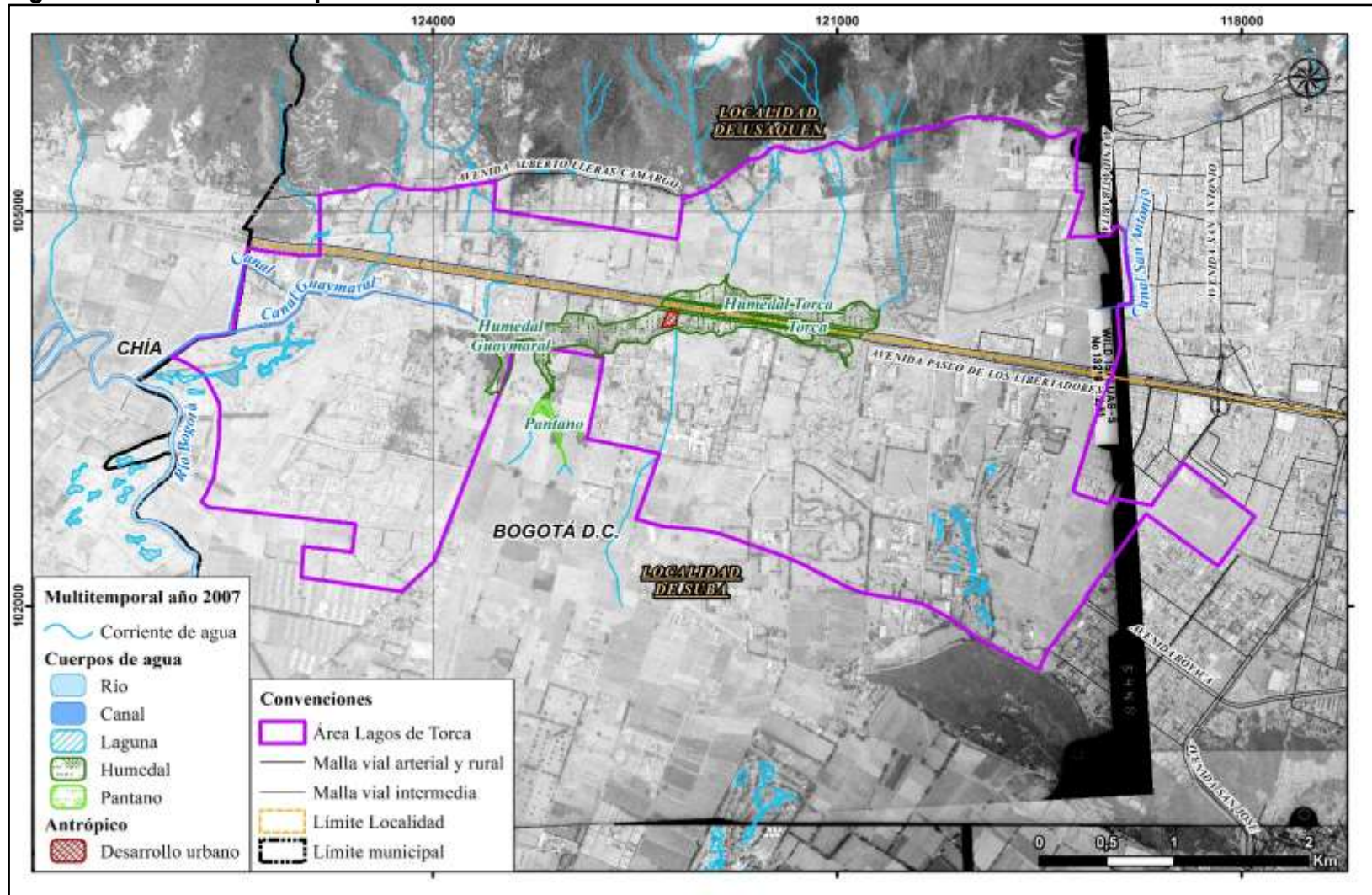
Fuente: WSP, 2019.

Figura 6 Análisis multitemporal año 1960



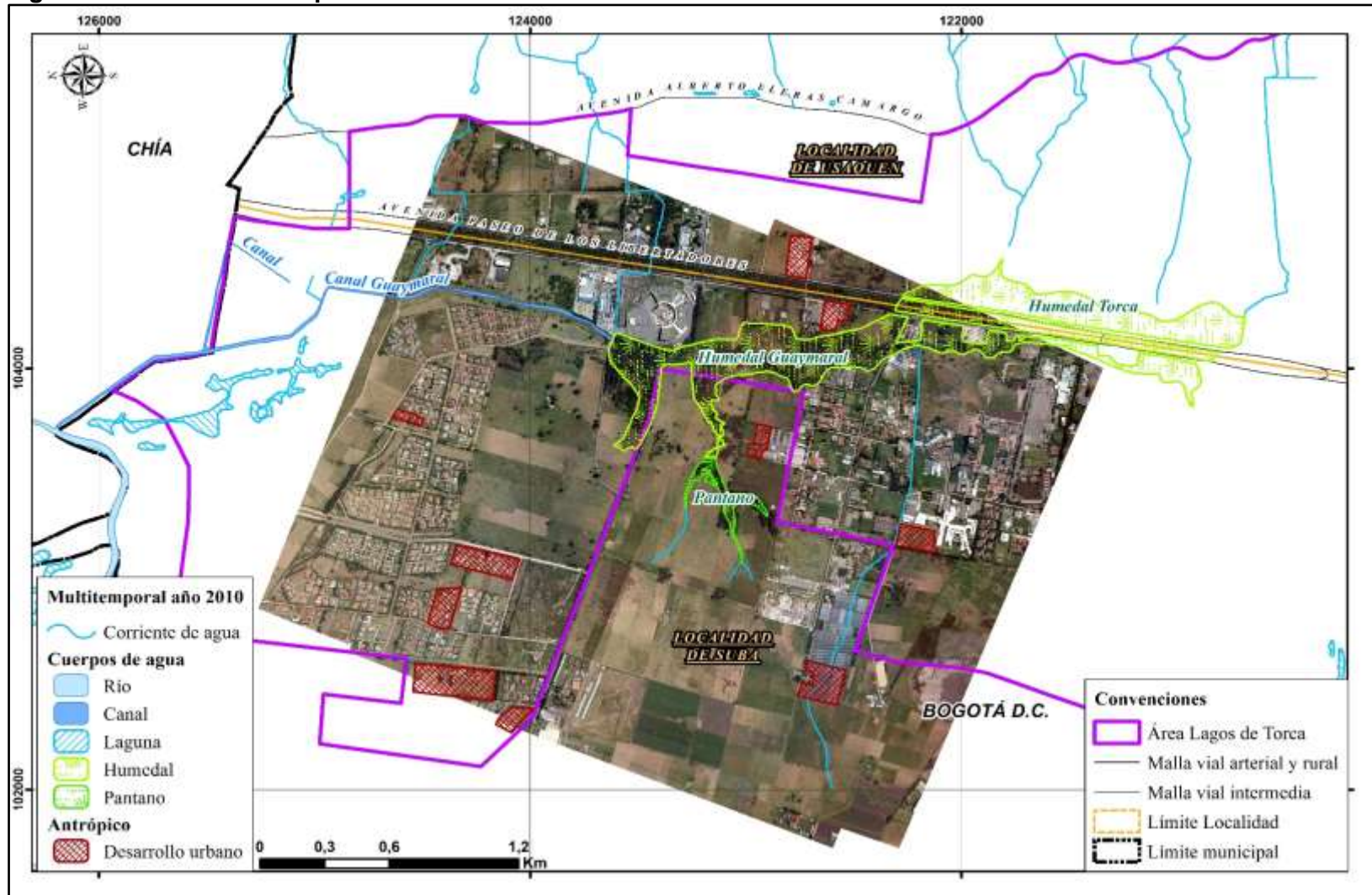
Fuente: WSP, 2019.

Figura 7 Análisis multitemporal año 2007



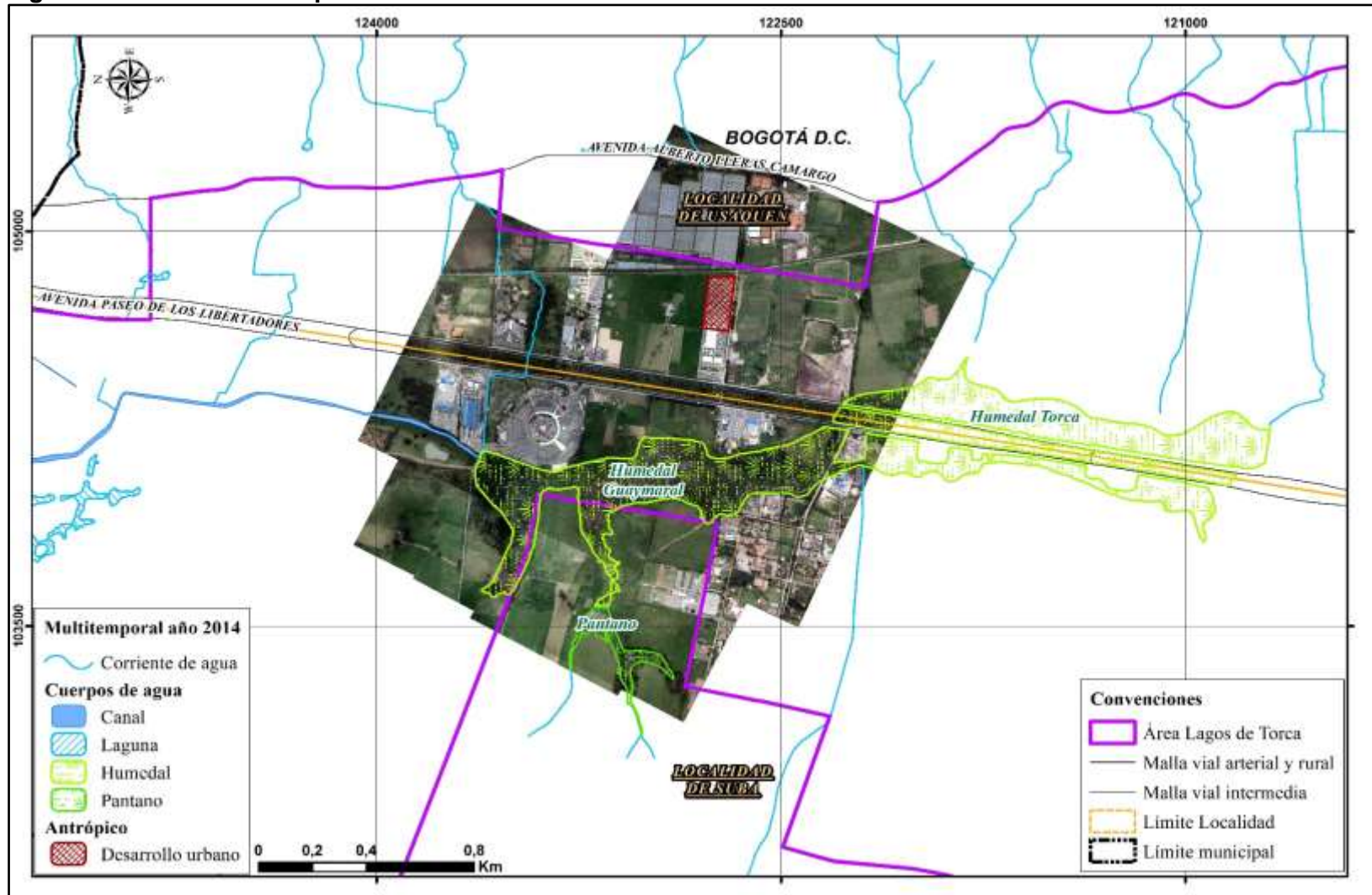
Fuente: WSP, 2019.

Figura 8 Análisis multitemporal año 2010



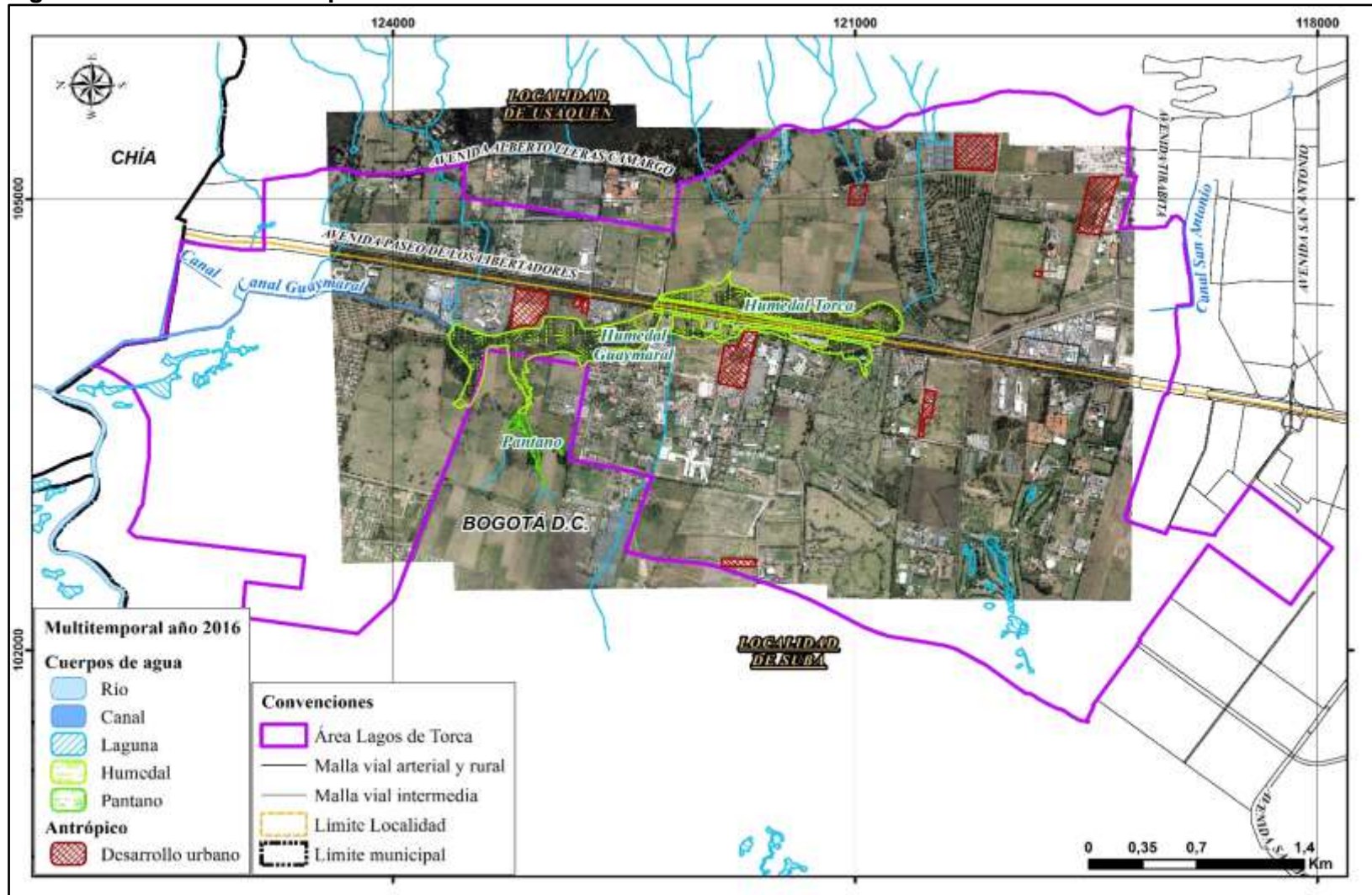
Fuente: WSP, 2019.

Figura 9 Análisis multitemporal año 2014



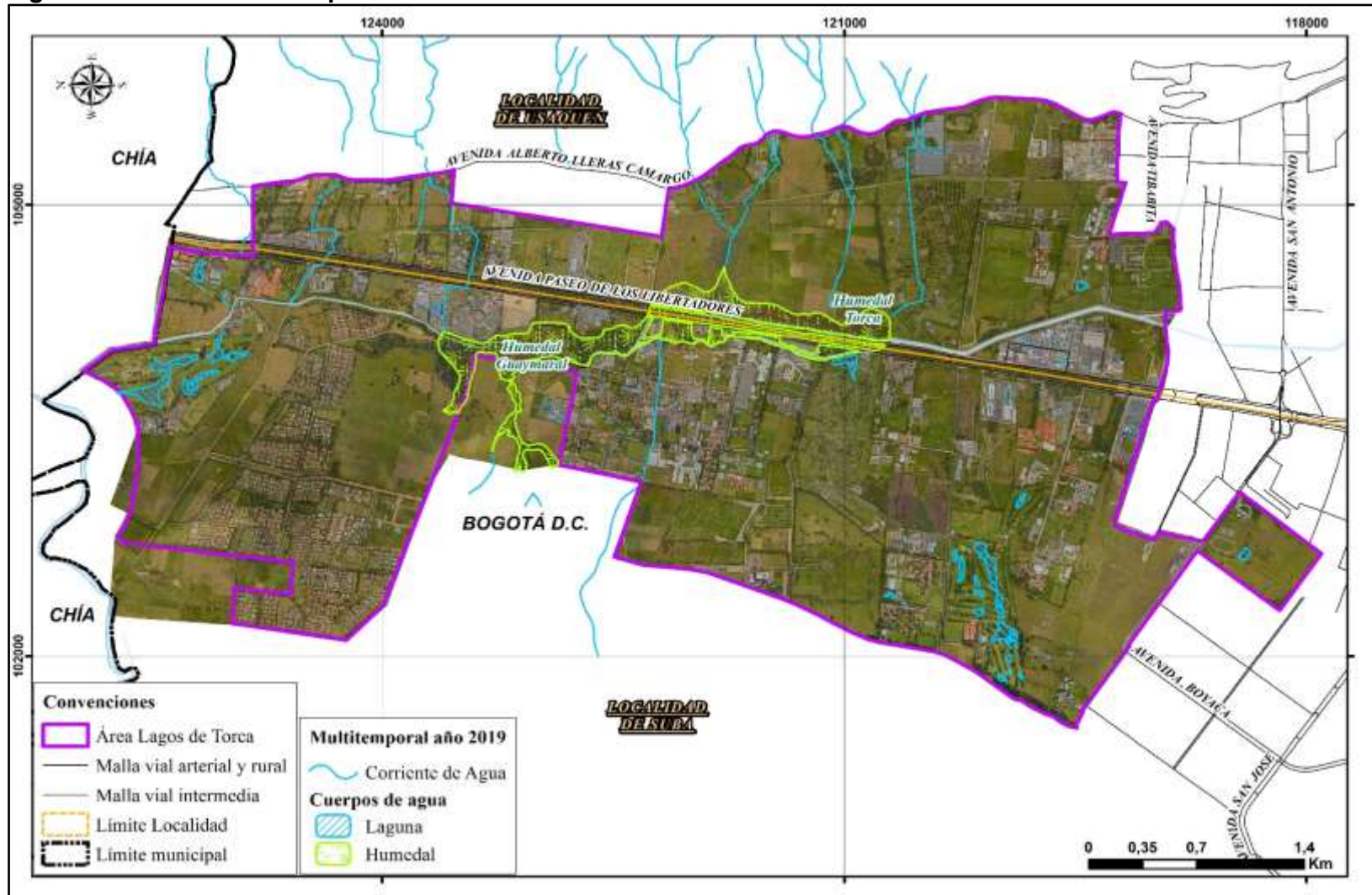
Fuente: WSP, 2019.

Figura 10 Análisis multitemporal año 2016



Fuente: WSP, 2019.

Figura 11 Análisis multitemporal año 2019



Fuente: WSP, 2019.

5.2.2.1.2 Propuesta de delimitación morfohidráulica del humedal

Para la delimitación geomorfológica del humedal se deben tener en cuenta los siguientes aspectos, el sustrato del humedal debe ser hidromórfico, este límite geomorfológico debe presentar una lámina de agua poco profunda, de forma temporal o permanente. Geomorfológicamente se puede describir como espacios de transición, de escasa profundidad y de naturaleza cambiante en tiempo y espacio. El humedal debe tener una forma alargada con dirección hacia el río Bogotá.

Para los cuerpos lénticos aislados debe entenderse su dinámica propia. El Humedal tendrá ronda dependiente de los niveles máximos de inundación los cuales se determinarán con base en las condiciones geomorfológicas del cuerpo de agua y la hidrología asociada.

Teniendo en cuenta estos aspectos se realiza la propuesta morfohidráulica, para recuperar esta forma alargada, quitar algunos rellenos antrópicos que han invadido el terreno original del humedal, y recuperar la lámina de agua que se ha perdido por canalizaciones de las quebradas y por falta de aporte de algunos afluentes.

Las intervenciones que se proponen para la recuperación de las áreas invadidas o antropizadas, especialmente por rellenos, están enmarcados físicamente dentro de los límites de la ZMPA definida por el Decreto 190 de 2004, para este cuerpo de agua y que se reglamentan de igual manera en el Plan de Acción del Decreto 088 de 2017.

5.2.2.2 Geomorfología de quebradas

En las cuencas de montaña de tipo recto cuando tienen cambios de gradiente abruptos pueden ocurrir avenidas torrenciales. En estos casos, el componente geomorfológico de la ronda hídrica deberá incluir como mínimo las geoformas definidas por los sedimentos depositados por eventos anteriores recientes, es decir, geoformas tales como abanicos o formas del terreno asociadas a movimientos en masa tipo flujo.

Para el caso de geoformas modificadas por la acción humana se deberá considerar que: i) si existen tramos donde las geoformas han sido alteradas y no son identificables (como las ocupadas por asentamientos poblacionales consolidados), en dichos tramos no se considera el componente geomorfológico, pero si deben considerarse los criterios del componente hidrológico, si la geoforma es identificable, el análisis deberá realizarse de manera integral considerando la visión jerárquica desde unidad de paisaje hasta unidad morfológica básica.

A continuación se presenta el análisis de dinámica fluvial y geomorfológico de cada uno de los cauces así como su injerencia en las propuestas de adecuación de los cauces.

5.2.2.2.1 Análisis de dinámica fluvial multitemporal de quebradas

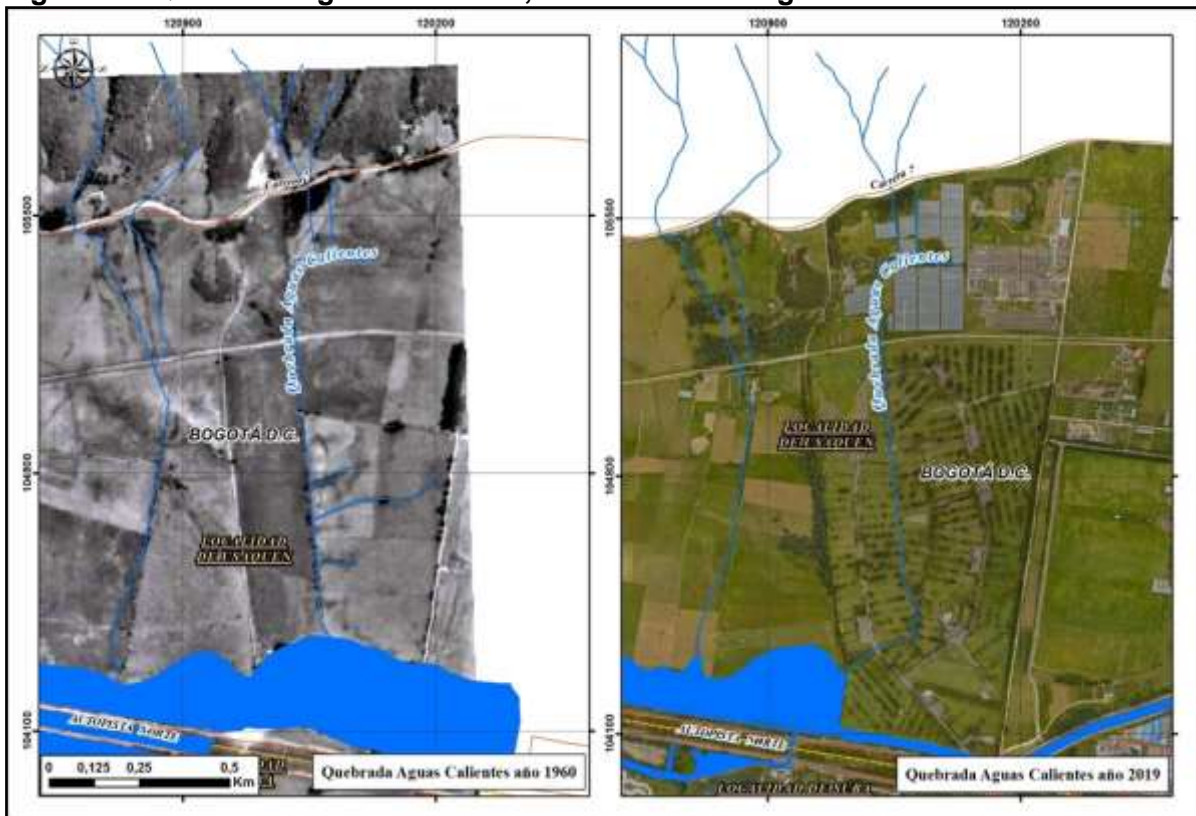
- Quebrada Aguas Calientes

La quebrada Aguas Calientes presenta sedimentos con tamaño variado desde su lecho en el sector oriental hasta desembocar en el humedal sector Torca, en el sector

occidental. Sus sedimentos provienen de la Cordillera Oriental; se observan sedimentos de diversos orígenes: rocas sedimentarias, rocas ígneas con vetilleos de 2 cm y algunas rocas máficas. El tamaño de los clastos que contiene la quebrada en un 80% se encuentra entre 2 cm y 5 cm; aunque también presenta clastos de más de 30 cm, pero son pocos; estos son subangulares a subredondeados con poca esfericidad. Estos sedimentos provienen de las formaciones sedimentarias proximales encontradas en la Cordillera Oriental, que se desprendieron y fueron transportados mediante este cauce hasta donde se depositan.

En 1960 se observa que la quebrada tenía tres afluentes naturales y se encontraba con su curso natural; para el año 2019 estos ya no existen y su cauce se encuentra canalizado dentro del Cementerio. Anteriormente el cauce presentaba una sinuosidad leve, la cual fue canalizada y controlada por obras antrópicas. En la fotografía del año 1960 muestra que la desembocadura ocurría de manera directa en el sector sur del humedal Torca, hasta donde este se extendía, posterior a lo cual, la reducción del cuerpo de agua en esta zona, hizo necesario desviar la quebrada hacia el norte, buscando el cuerpo de agua que actualmente se conoce hoy.

Figura 12. Quebrada Aguas Calientes, cambios morfológicos



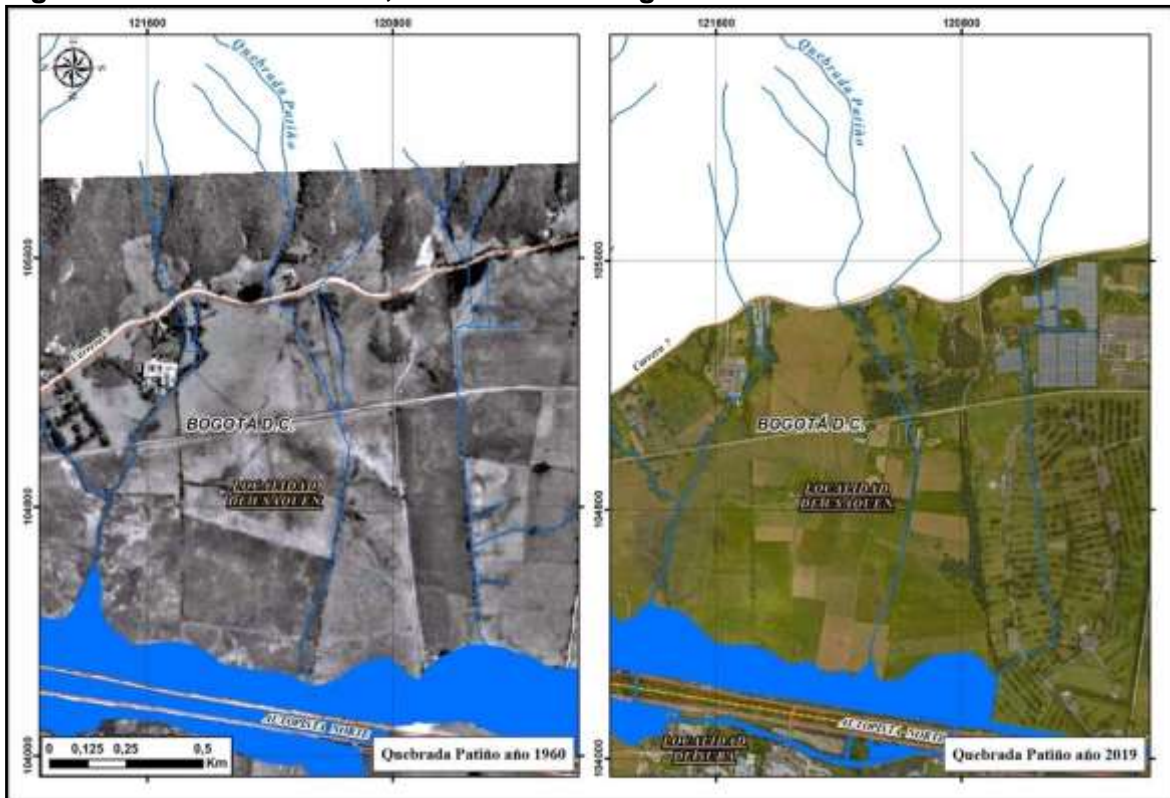
Fuente: WSP, 2020.

- Quebrada Patiño

La quebrada Patiño se encuentra en el sector oriental del humedal sector Torca. Presenta sedimentos con tamaño variado desde su lecho, y una matriz arcillosa con clastos que varían de tamaño hasta los 4 cm. El origen de sus sedimentos es variado; se observan sedimentarias e ígneas y, principalmente, areniscas compactas. También se observan algunas arcillas, pobremente seleccionadas, subredondeadas, elongadas y subesféricas, desde el inicio de la quebrada hasta su desembocadura en el humedal. Presenta una matriz arcillosa y ocasionalmente se observan clastos de más de 10 cm de ancho.

Desde 1960 hasta la fecha, la quebrada ha sufrido ligeros cambios, como se puede observar en la Figura 13. Los principales cambios en la morfología se deben a la canalización de la quebrada sobre la vía del tren y algunas construcciones urbanas que están sobre su cauce.

Figura 13. Quebrada Patiño, cambios morfológicos



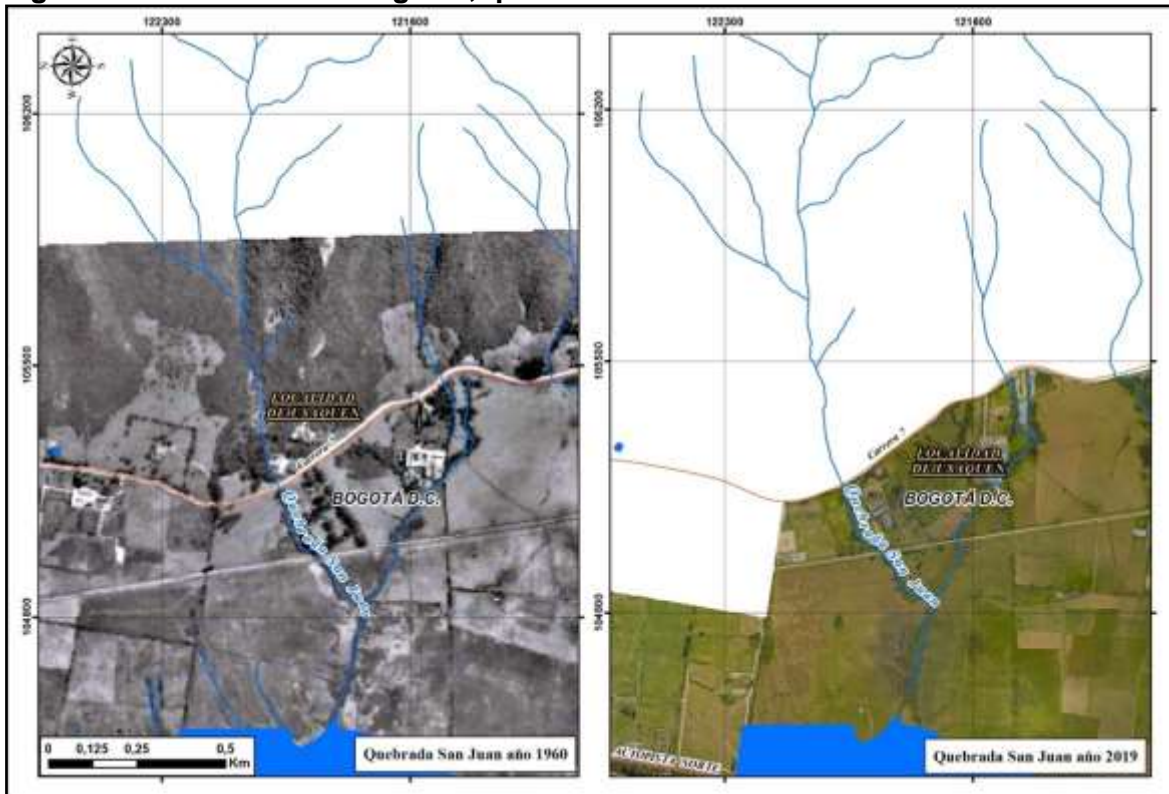
Fuente: WSP, 2020.

Es notorio que en los últimos años se presenta la generación de un delta en la desembocadura al humedal Torca, suscitado por la disminución del caudal de la corriente y su capacidad de arrastre y por ende, la acumulación de materiales en esta zona final de la quebrada.

- Quebrada San Juan

La quebrada San Juan presenta dos brazos que nacen en la Cordillera Oriental y se unen en la Sabana de Bogotá. Se pueden observar pequeños sedimentos de distinto origen que varían en tamaño hasta los 3 cm; son sedimentos pobremente seleccionados, subangulares y subredondeados que presentan una matriz arcillosa y ocasionalmente cantos de hasta 20 cm de diámetro angulares y subesféricos; su cauce no ha tenido modificaciones en los últimos años.

Figura 14. Cambios morfológicos, quebrada San Juan



Fuente: WSP, 2020.

En la Figura 14 se observan los principales cambios antropogénicos que presenta este cauce y que se dan en el cruce con la vía férrea, donde se realizaron adecuaciones civiles para el cruce del mismo.

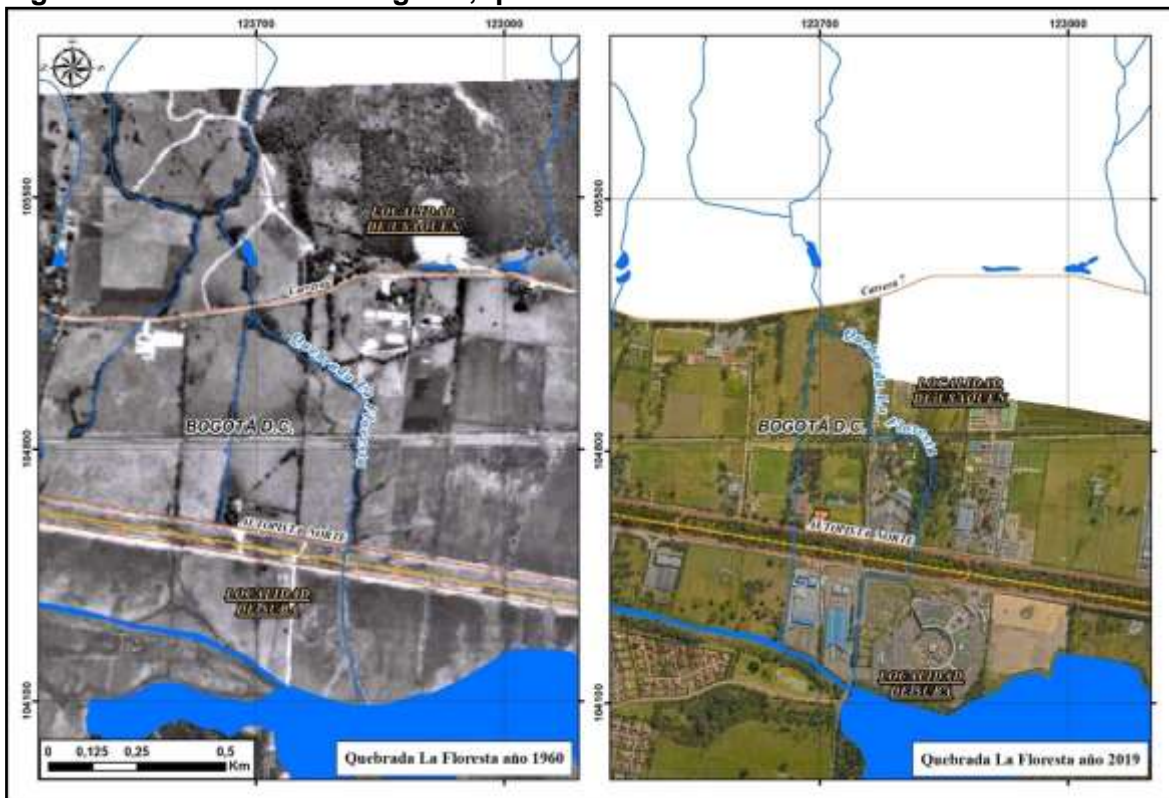
Esta quebrada es de las que mejores condiciones de conservación ha mantenido en el tiempo, a pesar de las intervenciones puntuales a las que se ha venido sometida en los predios que cruza, especialmente por la implementación de obras de drenaje.

- Quebrada La Floresta

La quebrada La Floresta presenta una pendiente baja a muy baja. Se pueden observar sedimentos entre 1 cm y 2 cm de diversos orígenes; son sedimentos subredondeados a subesféricos. También se observan areniscas cuarzosas muy compactadas y algunos clastos ígneos. Dichos clastos son poligomicticos; ocasionalmente, al costado oriental de la Autopista Norte, se pueden observar de hasta 15 cm angulares y de poco transporte, lo que indica que el material de origen se encuentra cerca (rocas del grupo Guadalupe de los Cerros Orientales). El cauce se encuentra canalizado en el sector occidental en donde es evidente la falta de sedimentos y está bordeando el sector norte del BIMA hasta llegar al humedal sector Guaymaral.

Este cauce originalmente atravesaba de oriente a occidente la ciudad, desde los Cerros Orientales hasta el humedal. En 1960 este no presentaba las canalizaciones que tiene ahora, y tenía dos afluentes en dirección SE-NW que con el paso del tiempo desaparecieron debido a construcciones.

Figura 15. Cambios morfológicos, quebrada La Floresta



Fuente: WSP, 2020.

Las fotografías aéreas muestran que en el período de análisis el cauce de la quebrada fue objeto de una gran alteración antrópica, especialmente en el sector comprendido entre la Carrera a 7ª y la vía férrea, que muestra modificación del trazado original trasladándolo a los límites prediales hasta la vía férrea, donde hace un giro a 90° hacia el sur, buscando conectar nuevamente con el cauce original, una vez se cruza la vía. Aguas debajo de la

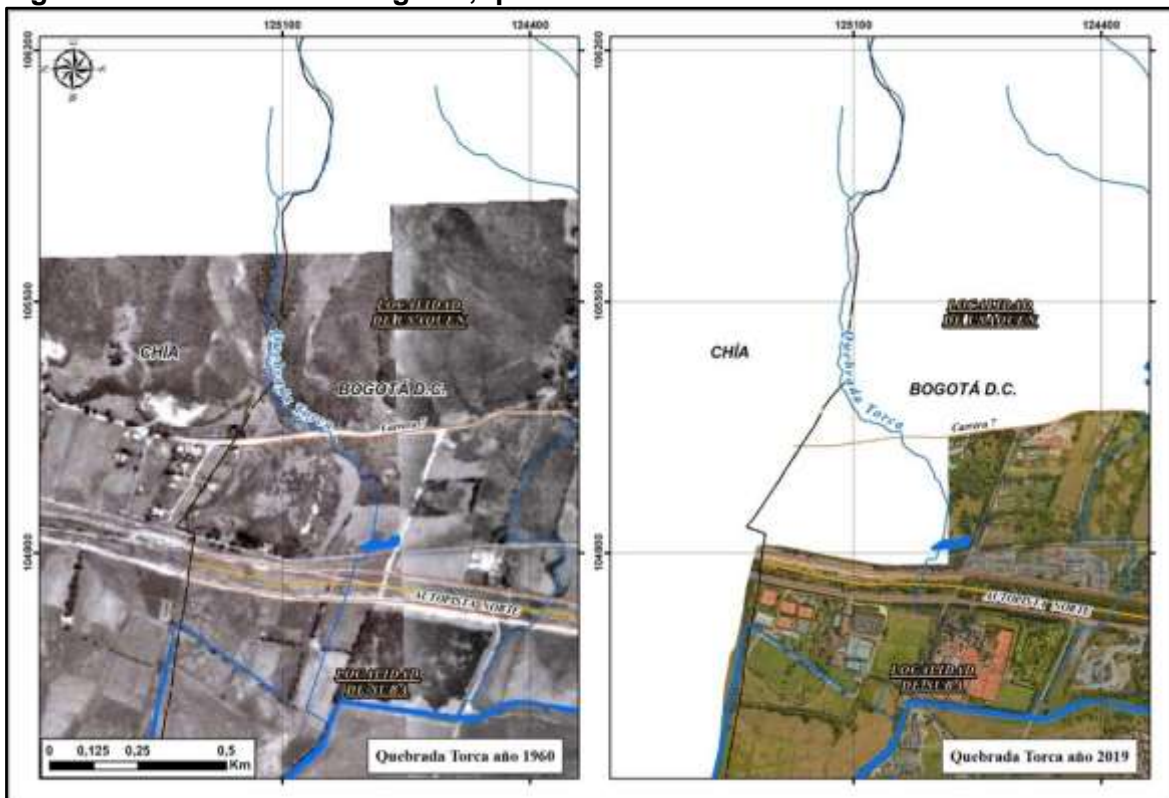
Autopista Norte, igualmente fue desviado hacia el norte, en procura de dar paso a la adecuación del predio donde actualmente se ubica el centro comercial BIMA.

- Quebrada Torca

Sobre la quebrada Torca, en el sector oriental de la Autopista Norte, se pueden observar algunos clastos de tamaños variados de hasta 3 cm de origen sedimentario; estos se encuentran sobre una matriz arcillosa y son pobremente seleccionados subesfericos y subredondeados. El cuerpo de agua se encuentra canalizado con pendientes bajas y caudales muy bajos; el ancho de esta canalización varía entre 0,5 y 1 m.

Entre 1960 y 2019 se observa que hubo un cambio en la dinámica fluvial ya que al occidente de la Autopista Norte se canalizó el cauce de la quebrada, cambiando sus propiedades iniciales y condiciones hidráulicas, y su rata de sedimentación. Además, en el sector del Club Colsubsidio se encuentra una tubería que canaliza la quebrada por debajo de una cancha de fútbol.

Figura 16. Cambios morfológicos, quebrada Torca



Fuente: WSP, 2020.

Es importante notar que el pondaje o zona de amortiguación existente antes del cruce con la vía férrea se ha logrado mantener a lo largo del tiempo, los que suscitaría acciones de recuperación como un cuerpo de agua léntico, que promuevan la conservación como cuerpo de agua ecosistémico e hidráulico, dentro de lo establecido por el Decreto 088 de 2017

- Quebrada Canal Tibabita

Esta quebrada se encuentra canalizada desde su salida en la Cordillera Oriental hasta su desembocadura en el sector occidental hacia el canal de Torca. Sus sedimentos están restringidos a la canalización del cauce; en la parte proximal de la zona montañosa se observan sedimentos que varían de tamaño entre 3 y 5 cm, son pobremente seleccionados, subangulares y subesféricos, y de origen sedimentario (Grupo Guadalupe).

En la Figura 17 se observa que entre 1956 y 2019, el cauce de la quebrada ha sido fuertemente modificado y canalizado para uso de estas áreas. En 1956, se observan que el cauce presentaba una sinuosidad leve hacia el sector occidental de la vía férrea, mientras que, al oriente esta vía, se observa el recorrido original del cauce y que desde esa fecha ya había sido objeto de afectación por una explanación para el predio donde se ubicó American Pipe. Desde la vía férrea hasta la desembocadura en el canal Torca, el cauce de la quebrada está canalizado.

Figura 17. Cambios morfológicos, quebrada Canal Tibabita



Fuente: WSP, 2020.

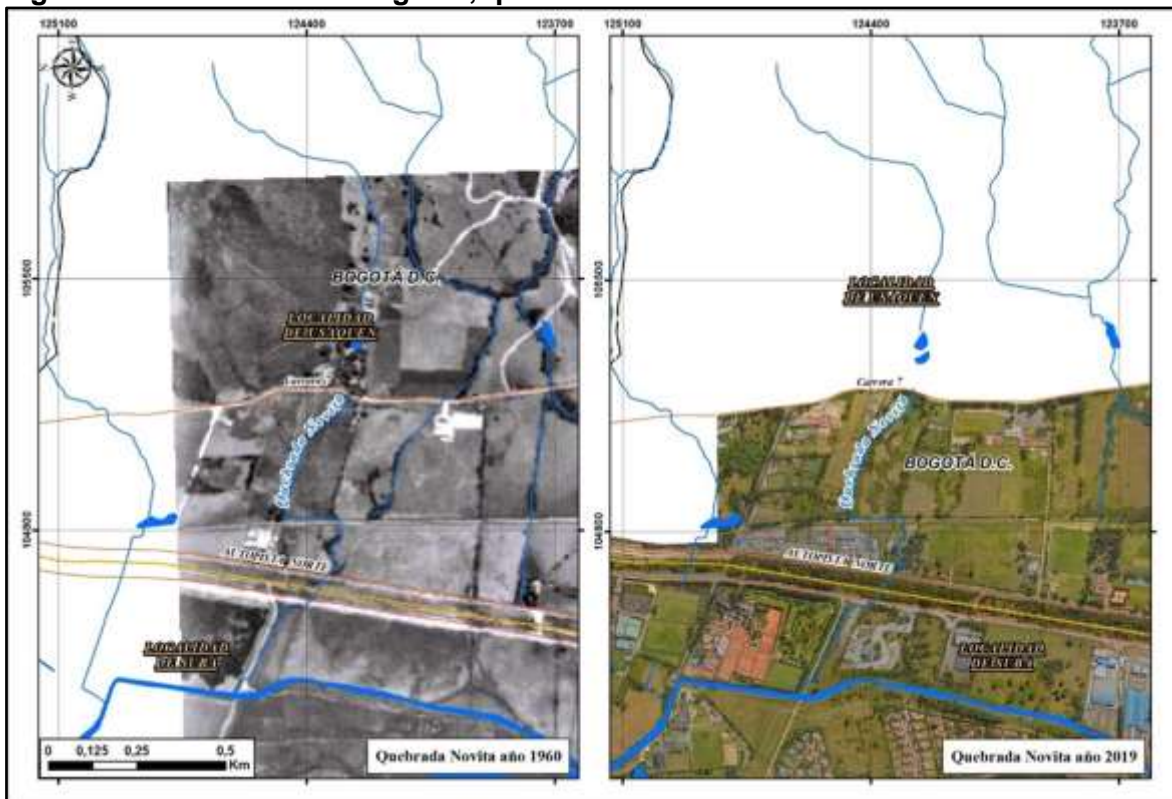
Es importante notar que tanto la quebrada Aguas Calientes como la quebrada Tibabita hacían el ingreso directo a la cola sur del humedal Torca-Guaymaral, que al día de hoy desapareció.

- Quebrada Novita

La quebrada Novita presenta sedimentos que varían de tamaño y son de origen sedimentario. Se pueden observar clastos que varían entre 1 a 2 cm aproximadamente el 60% de los mismos, y sobre el cauce clastos de 15 a 20 cm de origen sedimentario continental y marino; estos clastos se encuentran imbuidos en una matriz arcillosa.

Esta quebrada presenta varios cambios desde su origen en la Cordillera Oriental; el primero de ellos es que el cauce en la vía férrea donde se movió 10 m aproximadamente, y, el segundo, cuando se realizó una pequeña canalización a lo largo del tramo que fluye paralelo a la vía. A pesar de que estos cambios morfológicos son notorios, desde 1960 esta quebrada no ha sufrido más modificaciones.

Figura 18. Cambios morfológicos, quebrada Novita

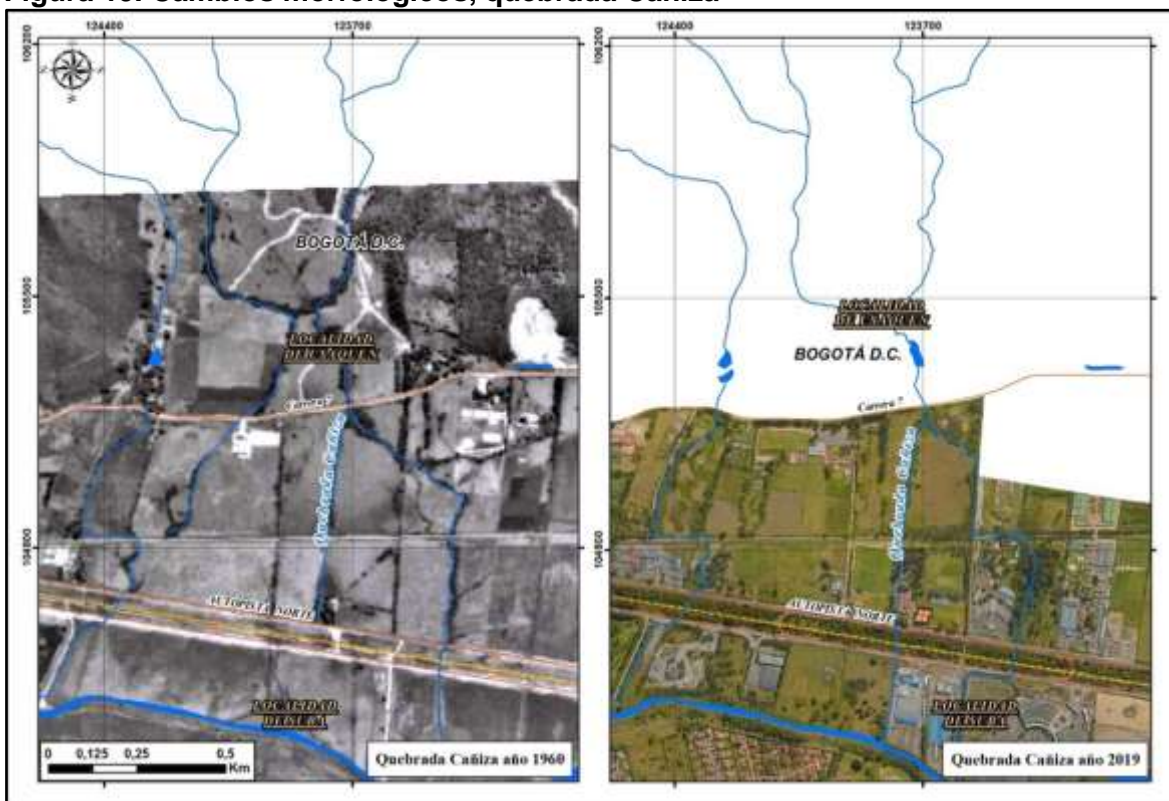


Fuente: WSP, 2020.

- Quebrada Cañiza

El cauce principal que viene de la Cordillera Oriental se divide en dos sobre la carrera Séptima, formando las quebradas Cañiza y La Floresta. La quebrada Cañiza tiene una pendiente baja y presenta sedimentos pequeños que han sufrido poco transporte, son subangulares y subredondeados entre 1 y 3 cm, y de origen continental. Esta quebrada pierde su curso después de la vía férrea, y no tiene continuidad hasta el humedal sector Torca. En la Figura 19 se observan los cambios que ha sufrido: en la década de 1960 tenía su curso completo hasta el Canal Guaymaral, pero los primeros cambios por acción antrópica se dieron con la construcción de la Autopista Norte y la vía férrea. Actualmente ésta quebrada no tiene continuidad.

Figura 19. Cambios morfológicos, quebrada Cañiza

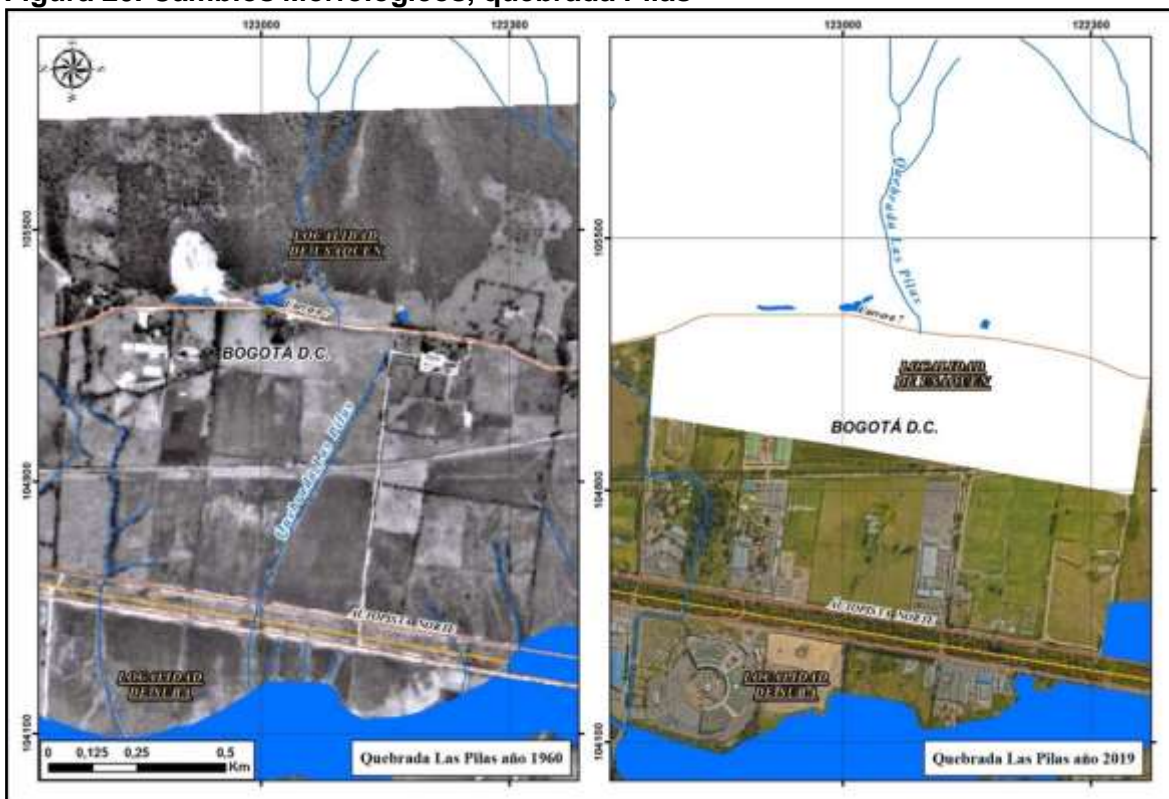


Fuente: WSP, 2020.

- Quebrada Pilas

Esta quebrada muestra sedimentos de tamaño pequeño de origen sedimentario, subangulares y subredondeados. Es una corriente con poca energía por lo cual el transporte de sedimentos no es de mucha distancia; los clastos en la parte proximal a la Cordillera son más grandes que hacia la planicie. En el sector oriental de la Autopista Norte, aunque se demarca un valle en forma de U en donde era el trazado original de la quebrada, al momento de la visita de campo se encontraba con poca agua debido al tiempo seco. Esta quebrada ha sufrido muchos cambios a nivel general: se realizaron construcciones sobre el cauce natural por debajo de la carrera Séptima, en donde está canalizada hasta la vía férrea; después de esta, siguiendo su curso, se aprecia que el aporte de sedimentos es casi nulo. Estas construcciones afectaron la quebrada de manera directa.

Figura 20. Cambios Morfológicos, quebrada Pilas



Fuente: WSP, 2020.

5.2.2.2 Propuesta de adecuación geomorfológica de quebradas

El componente geomorfológico de la ronda hídrica define el área necesaria para garantizar los procesos morfodinámicos que soportan la función de transporte y almacenamiento de agua y sedimentos. Esta función tiene una alta variabilidad temporal ya que procesos como el ajuste en la forma del cauce, su pendiente y sus patrones de alineamiento se dan a distintas escalas de tiempo. En términos geomorfológicos, la dinámica fluvial y su expresión pueden ser comprendidas como el resultado de la relación

interdependiente de cuatro variables principales: caudal, longitud, carga y la capacidad de la corriente.

Dependiendo de la zona de la cuenca y de la unidad geomorfológica, si se da un cambio de caudal por razones naturales o artificiales, la corriente tenderá a variar su longitud en zonas de planicie o a socavar o sedimentar en zonas de montaña. En las zonas de piedemonte la reacción a un cambio de caudal es la disminución de la capacidad de carga dando origen a ríos o corrientes de tipo trenzado. Cambios artificiales o naturales en la carga se pueden expresar como sedimentación e incremento de la capacidad, lo que en ocasiones tendrá expresión en la longitud. Modificaciones en la longitud pueden dar origen a incremento o disminución de la capacidad generando erosión o sedimentación según sea la ubicación geomorfológica. Los procesos más comunes son: socavación durante los eventos de crecida; sedimentación en la recesión de los eventos; ajuste de la forma de la sección; ajuste de la pendiente; estructuras de alineamiento horizontal y vertical relacionadas con la disipación de energía; sinuosidad; migración y movimiento lateral.

Las formas que se definen por los diferentes procesos morfodinámicos se pueden identificar en el terreno y son diferentes para cada tipo de corriente o tramo de la misma. Estas conforman la faja de terreno o zona del componente geomorfológico, que tiene como fin garantizar que en el cauce permanente y su ronda hídrica puedan ocurrir los procesos mencionados anteriormente. La pérdida de continuidad, ancho, estructura, naturalidad y conectividad de las riberas produce también efectos negativos sobre la geomorfología del cauce, impidiendo que cumpla con su función de transporte y almacenamiento temporal de agua y sedimentos.

La definición de la franja de terreno correspondiente al componente geomorfológico dependerá del sector de la cuenca de drenaje y del tipo particular de dinámica fluvial.

En las cuencas de montaña de tipo recto cuando tienen cambios de gradiente abruptos pueden ocurrir avenidas torrenciales. En estos casos, el componente geomorfológico de la ronda hídrica deberá incluir como mínimo las geoformas definidas por los sedimentos depositados por eventos anteriores recientes, es decir, geoformas tales como abanicos o formas del terreno asociadas a movimientos en masa tipo flujo.

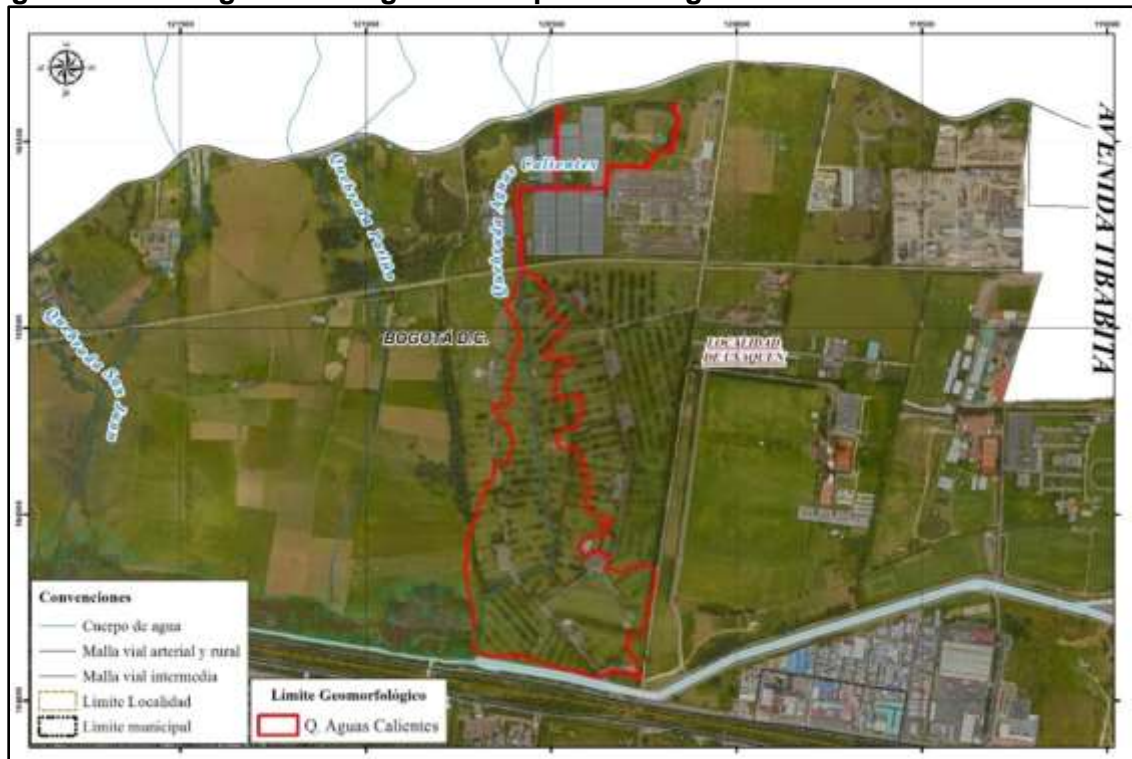
Para el caso de geoformas modificadas por la acción humana se deberá considerar que: i) si existen tramos donde las geoformas han sido alteradas y no son identificables (como las ocupadas por asentamientos poblacionales consolidados), en dichos tramos no se considera el componente geomorfológico, pero si deben considerarse los criterios del componente hidrológico, si la geoforma es identificable, el análisis se realiza de manera integral considerando la visión jerárquica desde unidad de paisaje hasta unidad morfológica básica.

En procura de establecer los límites de intervención de las quebradas como criterio para la adecuación geomorfológica, se procedió a llevar a cabo interpretación de las condiciones actuales de la morfología y dinámica fluvial de los cauces y las áreas aledañas, que permitan definir el nivel y tipo de actuación, como punto de partida para las que tienen que ver con los componentes hidrológico y ecosistémico.

El procedimiento llevado a cabo consistió en definición de transectos perpendiculares a los cauces actuales y separados una distancia aproximada de 40 metros, en todo lo largo de la zona de estudio. Se realiza la geomorfología a detalle, delimitando los sitios donde se evidencian cambios morfológicos importantes como depósitos de sedimentos, cambios de pendientes, etc.

Para cada una de las quebradas se delimitan estas franjas a partir de los transectos identificados y evaluados, generando mapas en los que se indica la delimitación de la franja, elaborada a partir de escala 1:1000, con los resultados que se presentan en la Figura 21 a la Figura 29.

Figura 21 Límite geomorfológico de la quebrada Aguas Calientes



Fuente: WSP, 2019.

La delimitación del Corredor Ecológico de onda CER para la quebrada Aguas Calientes. En el tramo del humedal a la carrera 9 (Vía Férrea) el ancho de esta franja es de 60 m que es inferior al ancho de la franja geomorfológicamente establecida para la divagación, por lo que la adecuación se limitará por lo tanto a ese ancho y el que defina la reconfiguración hidráulica y el ancho de la conectividad ecosistémica. Para el sector entre la Carrera 9 (Vía Férrea) y la Carrera 7ª, los ejes de drenaje están limitados a las intervenciones antrópicas, con lo cual la intervención de reconfiguración del canal, se limitará por el establecido en el Decreto 088 de 2017, es decir, la franja de los 60 m debe contener la franja hidráulica y la correspondiente a la rehabilitación ecosistémica.

Una situación similar ocurre para el resto de las quebradas afluentes al sistema Torca-Guaymaral, como se indica en las figuras que se indican a continuación.

Figura 22 Límite geomorfológico de la quebrada Cañiza



Fuente: WSP, 2019.

Figura 23 Límite geomorfológico de la quebrada La Floresta.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 24 Límite geomorfológico de la quebrada Novita.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 25 Límite geomorfológico de la quebrada Patiño.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 26 Límite geomorfológico de la quebrada Pilas.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 27 Límite geomorfológico de la quebrada San Juan.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 28 Límite geomorfológico de la quebrada Torca.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 29 Límite geomorfológico de la quebrada Tibabita.



Fuente: WSP, 2019.

Del análisis anterior se permite concluir que el funcionamiento del sistema fluvial Torca-Guaymaral, requiere de continuidad longitudinal y conectividad lateral entre el cauce y la ribera, y que ésta sea bañada de agua, de sedimentos y de nutrientes durante los eventos de creciente. Las condiciones actuales de inundación, generadas durante este tipo de eventos y que se detallaron en el Producto 4 de esta consultoría, muestran que la ronda hídrica varía ampliamente entre sectores y que incluso se extiende más allá de la delimitación del Corredores o ZMPA establecido por la Normativa distrital actual y cuyos desbordes son en algunos casos, consecuente con la delimitación morfológica encontrada en la condición actual de las quebradas.

Para la mayoría de los cauces la delimitación morfológica definida se encuentra confinada a un canal que el evento máximo desborda, lo que implica que las intervenciones de adecuación hidráulica, inicialmente, deben confinarse o limitarse a un cauce con la capacidad de contener la creciente hidrológica de diseño, que para todos los casos se ha definido con un período de retorno de 100 años.

Igualmente, las rondas que se propongan deben incluir el espacio necesario para garantizar las actividades culturales y económicas de una manera sostenible según proceda, sin interrumpir la dinámica natural del sistema y favoreciendo la convivencia y el bienestar de la comunidad, como lo recomienda el Decreto 088 de 2017.

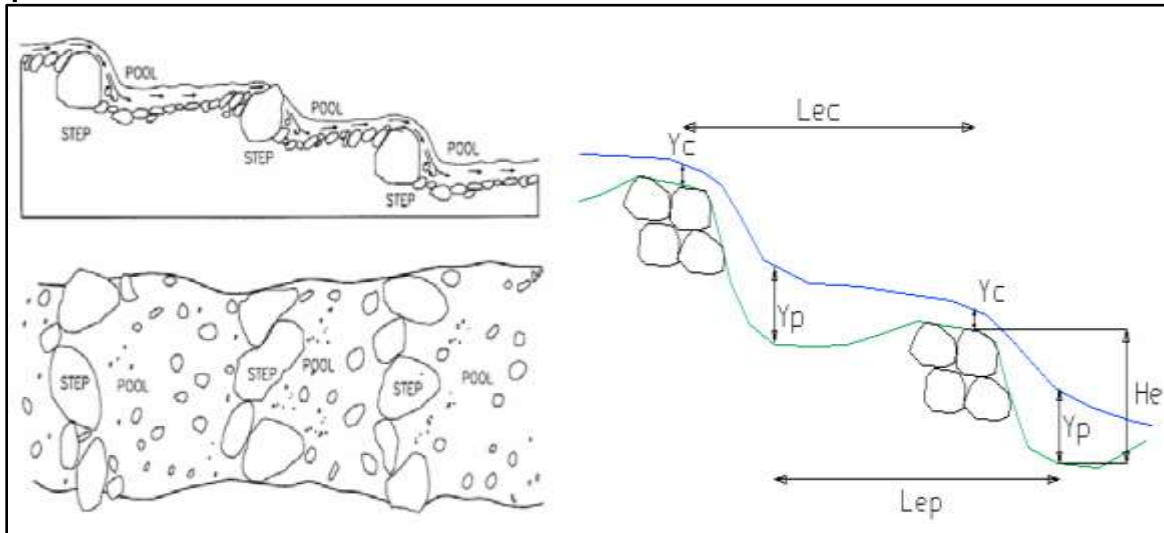
De manera particular los fenómenos de la reacción al cambio de caudal, por la concentración de este en el cauce adecuado, se pueden expresar como sedimentación e incremento de la capacidad, lo que en ocasiones tendrá expresión en la longitud. Modificaciones en la longitud pueden dar origen a incremento o disminución de la capacidad generando erosión o sedimentación según sea la ubicación geomorfológica. Es así como la propuesta de adecuación geomorfológica de las quebradas, en cuanto a la longitud y trazado, mantiene los alineamientos definidos por red oficial de drenajes del Distrito Capital establecido por la SDA.

Estos criterios, para el nivel del estudio, están relacionados con el ajuste a la forma de la sección transversal, la pendiente longitudinal y las estructuras de alineamiento vertical referidas con la disipación de energía y sedimentación, en procura de mantener una pendiente de equilibrio geomorfológico.

5.2.2.3 Control de sedimentos

Para el control de los sedimentos aferentes a los cauces de las quebradas, especialmente en la condición futura cuando se implanten los desarrollos urbanos, se propone su manejo mediante alternativas tecnológicas y de infraestructura en la red pluvial de la ciudad para armonizar la función de regulación hídrica del humedal. Se prevén dentro del diseño de reconformación y/o adecuación de quebradas, la construcción de sedimentadores que disminuyan la velocidad de flujo y retengan sólidos sedimentables y nutrientes. Estas estructuras se recomiendan en los sitios de piedemonte, antes del cruce de la Carrera 7ª. El tamaño del sedimentador dependerá de la cantidad de agua afluente y la calidad necesaria en el efluente. Para las zonas de planicie se recomienda la implementación de sistemas de barreras transversales al cauce y localizadas a lo largo del cauce, las cuales de igual manera contribuyen a garantizar el equilibrio geomorfológico de los cauces, como se muestra en la Figura 30.

Figura 30 Método de control sedimentos extensivo a lo largo del cauce de las quebradas.



Fuente: WSP, 2020

Los Planes Parciales y/o proyectos urbanísticos que se desarrollen en el ámbito de Ciudad Lagos de Torca, deberán implementar SUDS, dando aplicación al Decreto Distrital 528 de 2014, con el objeto de realizar control en calidad y cantidad de los flujos de agua de escorrentía que confluyan a las redes de alcantarillado pluvial, las cuales finalmente desembocarán en los cuerpos de agua de quebradas y/o del humedal Torca-Guaymaral.

A nivel de estos nuevos desarrollos urbanísticos, se propone la implementación de elementos de retención de sedimentos a través de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS, mediante los cuales se haga la retención primaria de los sólidos finos que puedan arrastrarse a través de los sistemas de drenaje pluvial, previo a la descarga a los sistemas hídricos naturales.

5.2.3 Criterios hidrológicos

Para la delimitación de la faja de protección se requiere una determinación del caudal de creciente para el período de retorno deseado, para lo cual se puede hacer uso de análisis hidrológicos en función de la calidad y cantidad de información existente para el sitio de interés. Si existen registros de caudal en el sitio de interés, puede llevarse a cabo un análisis de frecuencia de caudales máximos. Si no hay registros de caudal disponibles, como es el caso presente, se debe llevar a cabo un análisis de transformación de lluvia en escorrentía con el fin de determinar el caudal para el período de retorno deseado, siguiendo las metodologías definidas por las Normas NS-085 y NS-163 de la EAAB.

Cuando al punto de interés confluye una cuenca compuesta por varias subcuencas representativas se determina el hietograma de lluvia para el período de retorno deseado, se encuentra un hidrograma unitario sintético de cada subárea de la cuenca y se calcula el hidrograma de escorrentía directa de cada subcuenca. El caudal pico del hidrograma del punto localizado en el extremo aguas abajo se utiliza como el caudal de la creciente de diseño.

5.2.3.1 Método de Modelos Lluvia - Escorrentía

Este método de cálculo de la escorrentía máxima utiliza como información básica, el área de drenaje, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce, la precipitación bruta caída en la cuenca en estudio, su duración y el valor característico del suelo CN, de acuerdo con la clasificación definida por el U.S. S.C.S.

En esencia se pretende determinar un caudal pico específico o por unidad de lluvia neta (qp) en m³/s-cm de lluvia neta. Para este fin, se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario, el cual, a través de un proceso lineal como lo es la convolución⁴, se hace la transformación de lluvia efectiva a escorrentía directa por el cauce. Uno de los métodos más utilizados para cuencas con tamaños similares a la de las cuencas de la zona del proyecto, es el Hidrograma Unitario Curvilíneo, desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service.

El Tiempo al pico, se mide desde el comienzo del hidrograma unitario en horas y está dado por la siguiente expresión:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_l^5$$

Donde t_r es la duración de precipitación efectiva en horas y t_l es el tiempo de retardo que se puede expresar aproximadamente igual a $0.6T_c$.

Ahora:

El caudal unitario máximo está dado por la expresión:

$$Q_p = 0.2083A \frac{E}{T_p}^6$$

Dónde:

A: Área de la cuenca en Km²

E: Escurrimiento efectivo en mm

Tp: Tiempo al pico en horas

5.2.3.1.1 Cálculo del caudal máximo mediante modelo del SCS

Para la aplicación del modelo lluvia – escorrentía del SCS, la EAAB establece la utilización del modelo matemático de lluvia escorrentía HEC-HMS, que es un software libre que puede descargarse desde el sitio web del US Army Corps of Engineers. Para la utilización de dicho programa se deben aplicar:

⁴ Corresponde a un operador matemático que transforma dos funciones en una tercera función que representa la magnitud en la que se superpones

⁵ Ibid

⁶ (Chow, 1993)

- El módulo “SCS Número de Curva” para las pérdidas
- El módulo “SCS Hidrograma Unitario” para la transformación, es decir, para la generación de la curva de escorrentía a partir del aguacero de diseño.

En la aplicación de los módulos mencionados, el programa HEC-HMS emplea los siguientes parámetros, para cuya aplicación la EAAB provee lineamientos específicos en la norma NS-085.

- Periodo de retorno
- Tiempo de rezago
- Número de curva
- Porcentaje de área impermeable
- Volumen de la tormenta de diseño
- Distribución temporal de la tormenta de diseño

a) Periodo de retorno

En la Norma NS-085 se anotan los lineamientos generales para determinar el periodo de retorno de diseño, los cuales aplican tanto para cuando se aplique el método racional como para cuando se aplique un método lluvia-escorrentía.

b) Tiempo de rezago (lag time)

De acuerdo con la norma NS-085 de la EAAB, el tiempo de rezago (lag time) para la aplicación de modelo del HEC-HMS corresponde al 60% del tiempo de concentración.

c) Número de curva

El número de curva (CN) es una medida del potencial de producción de escorrentía del suelo en cuestión. Suelos con alto potencial de generación de escorrentía tienen valores de CN más altos. La definición de este factor está en función del tipo de suelo, la impermeabilidad de la zona y del tipo de cobertura el terreno, y en principio no varían de tormenta a tormenta. Estas características determinan la fracción de lluvia que efectivamente se convierte en escorrentía.

La norma NS-085 de la EAAB determina que los valores de CN se deben estimar a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1 Números de curva CN recomendados – zonas urbanas

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIONES HIDROLÓGICA		ÁREA IMPERMEABLE PROMEDIO	NÚMERO DE CURVA PARA CADA TIPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
Espacios abiertos	Cobertura pobre (cobertura de pastos < 50%)		68	79	86	98
	Cobertura parcial (cobertura de pastos de 50% a 75%)		49	69	79	84
	Cobertura buena (cobertura de pastos de >75%)		39	61	74	80
Áreas Impermeables	Parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otros		98	98	98	98
Calles y carreteras	Andenes pavimentados y sumideros		98	98	98	98

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIONES HIDROLÓGICA		ÁREA IMPERMEABLE PROMEDIO	NÚMERO DE CURVA PARA CADA TIPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
	Zanjas o diques pavimentados		83	89	92	93
	Zona cubierta de gravas		76	85	89	91
	Zona cubierta de arenas o polvo		72	82	87	89
Zonas Urbanas	Zonas comerciales y de negocios	85%	89	92	94	95
	Zona industrial	75%	81	88	91	93
Zonas residenciales (por tamaño del lote)	500 m2 o menos	Mínimo 70%	77	85	90	92
	Mayores a 500 m2	38%	61	75	83	87
Áreas urbanas permeables en desarrollo y sin vegetación			77	86	91	94

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

Los tipos de suelo A, B, C y D son una clasificación hidrológica basada en el potencial de escorrentía del suelo, donde típicamente los suelos tipo A presentan el potencial de escorrentía más bajo y los suelos tipo D presentan el potencial de escorrentía más alto. La definición de los tipos de suelo A, B, C y D se encuentra en el Capítulo 7 del Hydrology National Engineering Handbook del SCS, disponible en su página web. A partir de dicho documento, también el Título D del RAS provee la siguiente tabla para la definición del tipo de suelo (Tabla D.4.4 del RAS):

Tabla 2 Grupos hidrológicos del suelo - método de infiltración del Soil Conservation Service.

GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO	TEXTURA DEL SUELO
A	Arena, arena margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7,62 mm/h)
B	Limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3,81 a 7.62 mm/h)
C	Margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1,27 a 3,81 mm/h)
D	Marga arcillosa, marga arcillo limosa, arcilla arenosa, arcilla limosa o arcilla (capacidad de infiltración de 0 a 127 mm/h)

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

La estimación del CN se realizó de manera más específico en el Producto 4, razón por la cual, de los resultados de este producto, se seleccionó el CN para realizar el cálculo de caudal.

Por otra parte, la norma NS-085 determina que para áreas de drenaje que incluyan sub-áreas con números de curva diferentes, el valor de CN representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

$$C = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

Donde:

CN= Número de curva ponderado total (adimensional) [-]
Ci= Número de curva perteneciente a la sub-área “i” [-]
Ai= Área de la sub-área de drenaje “i” [Ha]

El proceso de asignación del Coeficiente CN de las cuencas del sistema de drenaje, se llevó a cabo de las estimaciones realizadas en el Producto 4, para la condición futura, es decir al momento en que ocurre la saturación de Lagos de Torca, según lo establecido en el Decreto 088 de 2017. El siguiente ejercicio consiste en ejecutar el “álgebra de mapas” que no es más que realizar una asignación espacial de los valores establecidos para cada factor determinante del CN (Producto 4), a las áreas de drenaje de cada tramo de colector, según lo establecido en la literatura y específicamente en la Norma NS-085 de la EAAB. En los anexos se presentan los shapes de las coberturas empleadas para la determinación del CN a cada tramo de la red de colectores principales de drenaje pluvial. Al momento de llevar a cabo los desarrollos urbanísticos particulares, este análisis deberá especificarse según los tipos de cobertura del suelo previstas al interior de cada agrupación o uso previsto.

d) Porcentaje de área impermeable

El área impermeable es la correspondiente a las condiciones de diseño que drenará el 100% de la escorrentía al alcantarillado pluvial. Estas áreas están asociadas a cubiertas, pavimentos y demás zonas antropogénicas. La determinación del porcentaje del área impermeable debe basarse en imágenes satelitales recientes de la cuenca de drenaje, dentro del análisis se deben considerar los usos futuros del suelo de acuerdo con lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial.

La incorporación del factor de impermeabilidad de cada cuenca dentro del modelo hidrológico (impervious), se tuvo en cuenta dentro del mismo valor del coeficiente CN que incorpora variables determinantes como la cobertura del suelo, la humedad antecedente y el tipo agrológico del suelo, especialmente para las áreas que presentan coberturas naturales. Para las áreas de futuro desarrollo el coeficiente de impermeabilización de igual manera se relaciona con el CN, asignando a las zonas con coberturas impermeables, los valores recomendados por la Norma NS-085 de la EAAB, a partir de la información de usos y cobertura proyectada por el Decreto 088 de 2017 (Plano 12/21); de esta manera el valor asignado al modelo Hec-HMS tiene un porcentaje del 0%.

e) Volumen de la tormenta de diseño

De acuerdo con la norma NS-085, la intensidad que se utilizará en los diseños se obtendrá de acuerdo a la ubicación del área estudiada, obteniendo la intensidad en el centroide del área de drenaje a partir de las curvas IDF de la ciudad, para una duración de 6 horas para el período de retorno correspondiente. Posteriormente, con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF, se recomienda calcular el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P[mm] = I[mm/h] \times Duración[h]$$

Donde:

- P= Precipitación total en un intervalo [mm]
 I= Intensidad de la precipitación [mm/h]
 Duración= Duración del intervalo para el que se calcula la precipitación [h]. La norma NS-085 prevé una duración total de 6 horas para el aguacero de diseño.

Para el caso del presente estudio y soportados en el estudio hidrológico presentado en el Producto 4, se estima una duración de tormenta de 3 horas.

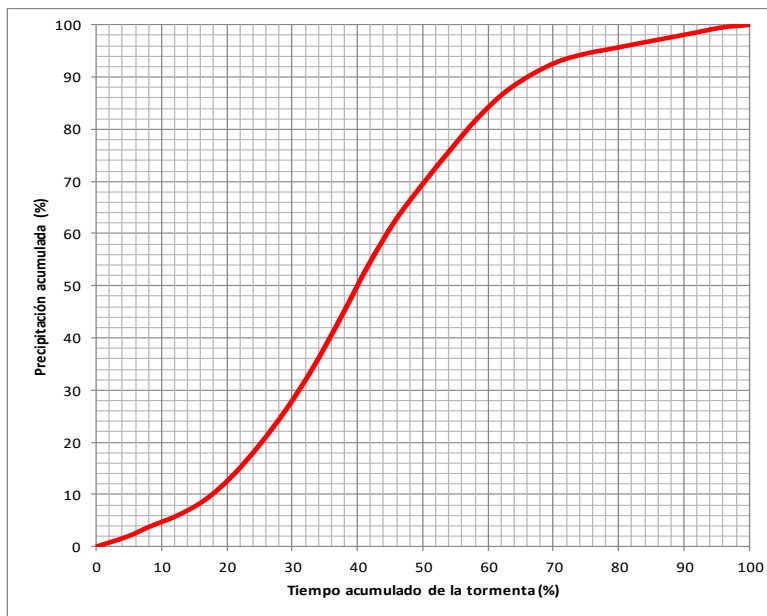
f) Distribución temporal de la tormenta de diseño (hietograma o aguacero de diseño)

La distribución temporal de la tormenta de diseño define la manera como el volumen total del aguacero cae sobre el área de drenaje del proyecto. Como se mencionó anteriormente, la norma NS-085 establece que se debe suponer que la lluvia de diseño cae efectivamente en 6 horas. El hietograma de diseño (que representa el aguacero de diseño) se obtiene a partir de la Figura 31, donde la distribución temporal fue obtenida de eventos históricos registrados en Bogotá. Esta figura presenta los valores de la misma tabulados para la duración de 6 horas cada 15 minutos. A partir de los valores porcentuales presentados en esta tabla se distribuye el volumen total del aguacero para obtener el hietograma de diseño.

En cuanto al hietograma de distribución temporal de la precipitación, se definió con un intervalo de 5 minutos. Se evaluaron los caudales generados por el modelo para diferentes escenarios modificando el intervalo de tiempo de simulación, adoptando finalmente este intervalo de tiempo.

Figura 31 Distribución temporal de las tormentas. Duración 6 horas.

TIEMPO ACUMULADO		P. ACUM. (%)
(min)	(%)	
0	0.0	0.0
15	4.7	1.9
30	8.3	3.9
45	12.5	6.0
60	16.7	9.0
75	20.8	13.5
90	25.0	19.5
105	29.2	26.5
120	33.3	34.5
135	37.5	44.0
150	41.7	54.0
165	45.8	62.5
180	50.0	69.5
195	54.2	76.0
210	58.3	82.0
225	62.5	87.0
240	66.7	90.5
255	70.8	93.0
270	75.0	94.5
285	79.2	95.5
300	83.3	96.5
315	87.5	97.5
330	91.7	98.5
345	95.8	99.5
360	100.0	100.0



DISTRIBUCIÓN TEMPORAL TORMENTA TÍPICA DE 6 HORAS (NORMA NS-085 EAB)

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

Se eligió la duración de 3 horas para la tormenta de diseño, teniendo en cuenta los resultados de estudios anteriores en el área de estudio, en los cuales se concluye que esta es la duración que produce los resultados más críticos en comparación con tormentas de duraciones mayores en términos de caudales máximos instantáneos y es la duración de tormentas típica en proyectos para la Sabana de Bogotá (Ponce de León y Asociados, 2000), (INGETEC, 2015). Como se describió previamente los estudios hidrológicos realizados por esta consultoría en el Producto 4, determinaron que la duración de la precipitación para el evento crítico era de 3 horas, razón por la cual fue la que se empleó en la estimación de la respuesta hidrológica para el dimensionamiento de los colectores.

5.2.3.2 Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Se emplearán las curvas IDF propuestas en el Estudio hidrológico Regional, desarrollado por la firma consultora INGETEC S.A., en el año (2013). Los sistemas de drenaje previstos para el sector occidental de la Autopista Norte, dentro del Proyecto Lagos de Torca, tuvieron como punto de partida la escorrentía generada a partir de la Avenida Boyacá, drenando en sentido principal desde el occidente hacia el oriente, buscando el canal y Humedal Guaymaral.

Los coeficientes de las relaciones de las Curvas IDF son las que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Curvas IDF para cálculo de drenaje pluvial

	AV. BOYACÁ CON CALLE 183			AV. BOYACÁ CON CALLE 209			AUTOPISTA NORTE CON CALLE 235			AUTOPISTA NORTE CON CALLE 246		
	COORDENADAS	101960 E	119430 N	COORDENADAS	102200 E	121400 N	COORDENADAS	104540 E	123790 N	COORDENADAS	104749 E	125225 N
TR	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2
3	3257,79701	24,8	-1,04208	3160,65099	25,6	-1,04612	3149,9818	27,1	-1,0496	2889,101	25,6	-1,04472
5	4372,92622	27,7	-1,06609	4100,06144	27,9	-1,06336	3973,04349	29,5	-1,05883	3871,233	28,2	-1,06566
10	5666,93566	30,2	-1,08177	4954,64257	29	-1,06662	4580,59565	29,3	-1,05424	4431,777	28,2	-1,05829
25	6720,01506	31,1	-1,08034	6954,15781	29,9	-1,06638	5358,1295	29,4	-1,05008	5292,716	28,4	-1,0576

Fuente: Ingetec - EAAB, 2015

5.3 PARAMETROS DE DRENAJE PLUVIAL

En lo que respecta al sistema de drenaje complementario, es decir a la red de colectores que recogen y conducen el agua de escorrentía que fluye a partir de vías, zonas verdes, zonas urbanizas, etc., y que converge al sistema hídrico principal (humedal y quebradas), a continuación se presentan los criterios y parámetros tenidos en cuenta para el planteamiento de las alternativas de drenaje pluvial.

5.3.1 Metodología de cálculo de caudales

La norma NS-085 prevé dos métodos para el cálculo de caudales de diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial en función del área, que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4 Metodologías de cálculo de caudales de diseño para alcantarillado pluvial

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	MÉTODO DE CÁLCULO DE CAUDALES
Proyectos con áreas de drenaje menores a 10 hectáreas que presentan un porcentaje de impermeabilidad mayor al 90%	<ul style="list-style-type: none"> Método racional Método lluvia escorrentía
Proyectos donde al menos uno de los tramos tenga un área de drenaje mayor o igual a 10 hectáreas	<ul style="list-style-type: none"> Método lluvia escorrentía exclusivamente.

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

5.3.1.1 Método Racional

Cuando un proyecto tiene áreas de drenaje inferiores a 10 hectáreas con porcentaje de impermeabilidad mayor al 90%, la Empresa de Acueducto de Bogotá permite la utilización del método racional para el cálculo de caudales de diseño de redes de alcantarillado pluvial.

El método racional emplea la siguiente expresión para la determinación de caudales de diseño:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Donde:

- Q = Descarga estimada en un sitio determinado (l/s)
 C= Coeficiente de escorrentía (adimensional) [-]
 I= Intensidad de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el período de retorno determinado (mm/h)
 A= Área de drenaje (Ha)

5.3.1.1.1 Coeficiente de escorrentía en el método racional.

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía.

De acuerdo con la norma NS-085, para aquellas áreas de drenaje que incluyan zonas con diferentes coeficientes de impermeabilidad, el valor del coeficiente de impermeabilidad representativo para toda el área debe calcularse como el promedio ponderado de los coeficientes de impermeabilidad individuales para cada sub-área, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

Donde:

- C = Coeficiente de escorrentía ponderado total (adimensional) [-]
 Ci= Coeficiente de escorrentía perteneciente a la sub-área “i” [-]
 Ai= Área de la sub-área de drenaje “i” (Ha)

Para la adopción del valor del coeficiente de escorrentía C, la norma NS-085 establece los valores presentados en la siguiente tabla como guía para su selección, y aclara que en caso de diferir el valor adoptado con los de dicha tabla, este deberá ser justificado.

Tabla 5 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

TIPO DE SUPERFICIE	C
ZONAS URBANIZADAS (Áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc...)	
Cubiertas	0,85
Superficies en asfalto	0,80
Superficies en concreto	0,85
Superficies adoquinadas	0,75
Vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados	0,60
ZONAS VERDES (Jardines, parques, etc...)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0,25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0,40

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

5.3.1.1.2 Intensidad de lluvias en el método racional

La intensidad de la lluvia se determinará de acuerdo a la ubicación del área estudiada, obteniendo la intensidad en el centroide del área de drenaje a partir de las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la ciudad para un periodo de retorno, frecuencia y duración de la tormenta de diseño.

Una de las expresiones más comunes para la definición de curvas IDF y el cálculo de intensidad de lluvias, que es la que se emplea en la Sabana de Bogotá, es la siguiente:

$$I = C_1(D + X_0)^{C_2}$$

Donde:

- I = Intensidad de lluvias (mm/hr/Ha)
 D= Duración de la precipitación (min)
 C, X0, C2= Constantes adimensionales correspondientes al centroide del área del proyecto o sus inmediaciones. Para el caso de la ciudad de Bogotá D.C., estas constantes provienen de del “Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá”

5.3.1.1.3 Tiempo de concentración (método racional)

El tiempo de concentración es el tiempo requerido, después del comienzo de la lluvia, para que la escorrentía superficial de toda el área aferente a un punto contribuya en el punto en consideración.

La norma NS-085 define: “El tiempo de concentración es el tiempo que le toma a una gota de escorrentía pluvial recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta el punto de análisis.” La duración es igual al tiempo de concentración de la cuenca aferente a un punto de la red pluvial analizada.

La norma NS-085 de la EAAB establece que en los pozos iniciales se debe tomar un valor de tiempo de concentración mínimo de 15 minutos. Este valor se va incrementando hacia aguas abajo, sumando el tiempo de recorrido del flujo en cada tramo.

La norma NS-085 establece que el tiempo de concentración se calcula:

$$t_{concentración} = t_{entrada} + t_{tránsito}$$

La norma NS-085 establece:

- El tiempo de entrada de una cuenca se debe tomar como mínimo igual a 8 minutos
- El tiempo de concentración mínimo en pozos iniciales será de 15 minutos.
- Para el cálculo del tiempo de entrada se empleará la siguiente ecuación:

$$t = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$$

Dónde:

- t = Tiempo de viaje o recorrido (min)
 L= Longitud de trayectoria de flujo (m)
 V= Velocidad promedio del flujo de agua (m/s)

Para el cálculo de la velocidad de recorrido en un área aferente o cuenca, se emplea las siguientes ecuaciones:

Flujo	Velocidad de Flujo (m/s)
En áreas pavimentadas	$V = 6.1960 \times S^{0.5}$

En áreas no pavimentadas

$$V = 4.9178 \times S^{0.5}$$

Donde:

V = Velocidad promedio de flujo de la escorrentía superficial en la cuenca o área de drenaje (m/s)

S= Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Para el cálculo del tiempo de tránsito del agua en un tramo, se empleará la expresión:

$$\Delta t = \frac{L}{V}$$

Donde:

Δt = Tiempo de tránsito del flujo en un tramo o conducto (s)

L= Longitud del tramo o conducto (m)

V= Velocidad del flujo en el tramo, calculada mediante flujo uniforme para el caudal de diseño [m/s], empleando la ecuación de Manning, con los siguientes parámetros:
Para conductos cerrados: 80% de profundidad máxima. Para canales abiertos: 100% de capacidad máxima

5.3.1.1.4 Áreas de drenaje

Es el área propia o aferente del tramo en consideración más el área acumulada que drena en el punto en consideración, y que llega a través de la red de tuberías aguas arriba de un punto de la red.

De acuerdo con la norma NS-085:

- La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar y/o evaluar.
- El área propia o aferente al tramo en consideración solamente se debe incluir dentro del cálculo cuando ésta aporte por escorrentía al tramo en consideración.
- Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos topográficos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.
- Para los casos de canales o quebradas naturales, se exigirá un modelo desagregado en el cual se contemple todos los aportes puntuales conocidos en el área de interés y se incluyan todos los elementos físicos existentes del sistema, definiendo mínimo una sub-cuenca por cada afluente del canal o quebrada principal modelado; donde el nivel de desagregación depende del propósito de la modelación.
- La extensión del área tributaria se expresa en hectáreas.
- Se deberá verificar la información de las áreas de aporte dadas por la Empresa en los datos Técnicos específicos del proyecto, para lo cual se debe determinar el área de drenaje con los planos de construcción del alcantarillado.
- En zonas sin alcantarillado, el área de drenaje se determina por medio de los planos topográficos correspondientes.

5.3.1.2 Método lluvia – escorrentía

El procedimiento de dimensionamiento de redes de colectores aplicado a colectores de gran tamaño o que drenan áreas extensas, sigue lo establecido por la Norma NS-085 de la EAAB y del cual se hizo una descripción detallada en una sección anterior.

5.3.2 Criterios para el trazado de la red de colectores

En el análisis los parámetros que se tienen en cuenta para el dimensionamiento de las redes son las siguientes:

- a. Variación de los diámetros y las pendientes de los conductos, hasta lograr ajustar el diseño a las condiciones de flujo uniforme sin condición crítica y en lo posible sin sedimentación o abrasión en la conducción.
- b. Se analiza las características hidráulicas y de pérdidas por unión de colectores en el régimen subcrítico y supercrítico.
- c. Para la unión de colectores se tiene en cuenta como criterio principal el empate por energía, si esto no es posible de cumplir se realiza el empate por claves. Si aún esto no es posible se realiza el empate por batea.
- d. Con los valores de caudal obtenidos se dimensionaron los colectores para asegurar:
 - i. En lo posible velocidades reales de mínimo 0.60 m/s, para garantizar el comportamiento autolimpizante.
 - ii. Números de Froude por fuera del rango 0.9 a 1.10.
 - iii. Las entregas de los colectores como mínimo a la clave del colector de salida.
 - iv. Relación Q/Q_0 de 0.70 para colectores menores de 0.50m, 0.80 para colectores entre 0.50 y 1.0m y 0.85 para colectores mayores a 1.0m
- e. Se analiza la fuerza tractiva para verificar su condición de arrastre, considerando que el valor del esfuerzo cortante medio sea mayor o igual a 1,5 N/m² (0,15 Kg/m²) para el caudal de diseño.
- f. El recubrimiento mínimo considerado es de 1.00 m.
- g. Los colectores se han proyectado en tubería de PVC en su gran mayoría.
- h. Se revisa que el sistema proyectado entregue por gravedad a los colectores existentes, adicionalmente se revisó el empate por batea en los puntos de entrega.
- i. Cuando la diferencia entre las bateas de entrada y salida es mayor a 75 cm, se proyecta cámara de caída.

Para la ubicación de los pozos de inspección, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Coeficiente de rugosidad: La NS-085 establece que, para conductos lisos, el coeficiente de rugosidad es de 0.010, en los que se incluyen las tuberías de PVC y GRP. Para conductos rugosos el n de Manning se establece igual a 0.013 (conductos en concreto prefabricado).
- Pendiente de los conductos: La pendiente de los conductos y canales se seleccionará de forma que se ajuste en lo posible a la pendiente natural del terreno y a la topografía del mismo.
- Velocidad de diseño Mínima: La velocidad mínima en los sistemas de drenaje pluvial será aquella que permita que el esfuerzo cortante sea igual o mayor a 3.0 N/m² para el caudal de diseño, y no menor a 1.5 N/m² para el 10% del caudal a tubo lleno. Se verificará que la velocidad a tubo lleno no fuese igual o menor que 1.0 m/s.

- Velocidad máxima: La velocidad máxima real para evitar la abrasión no debe ser mayor a 5.0 m/s, y dependerá del tipo de material del conducto o canal. Se adoptan los criterios de velocidad máxima de la NS-085.
- El caudal a tubo lleno en los conductos del sistema pluvial deberá ser igual o mayor que el caudal de diseño. Para los box culvert, la lámina de agua no podrá superar el 90% de la altura de la estructura.
- Dimensionamiento de la Sección: El diseño debe establecer la profundidad de flujo máxima en cada una de las tuberías, con el fin de permitir una adecuada aireación de las aguas pluviales y residuales. La tabla siguiente presenta la relación entre la profundidad de flujo y el diámetro para diferentes rangos. La relación máxima profundidad versus diámetro (y/D), se debe calcular con el caudal máximo de diseño.

Tabla 6 Relación máxima de tubo y/D para sistemas pluviales y sanitarios

DIÁMETRO REAL INTERNO (mm)	RELACIÓN MÁXIMA y/D (%)
Menor que 500	70
Entre 500 y 1000	80
Mayor que 1000	85

Fuente: Norma NS.085 V3 – EAAB.

- Diámetro interno real mínimo de la tubería igual a 12” (300 mm) de acuerdo con la NS-085.
- La pendiente del conducto se determinará en lo posible, siguiendo la topografía del terreno con el propósito de minimizar las excavaciones, respetando los rangos de velocidades mínima y máxima admisibles.
- El flujo en los conductos debe ser estable, para lo cual el Número de Froude debe ser mayor a 1.1 ó menor a 0.9.
- La definición de los criterios de materiales de los conductos se estableció desde el punto de vista del funcionamiento hidráulico de los conductos, así como de las condicionantes de borde establecidas por el escenario de inundación máxima en el sistema Torca – Guaymaral.

5.3.3 Capacidad hidráulica de colectores

Los diseños hidráulicos para el proyecto se realizarán asumiendo flujo permanente y uniforme siempre que los diámetros calculados sean menores a 900 mm. Serán utilizadas las ecuaciones de Continuidad y Manning en el dimensionamiento de colectores y canales de ser necesarios.

Ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * A * \sqrt{So}$$

Dónde:

- Q = Caudal de diseño (m³/s).
- Rh = Radio Hidráulico (m).
- A = Área de la sección mojada (m²).
- So = Pendiente de la tubería (m/m).
- N = Coeficiente de rugosidad de Manning

Ecuación de Continuidad

$$Q = A * V$$

Donde:

Q= Caudal en (m³/s)

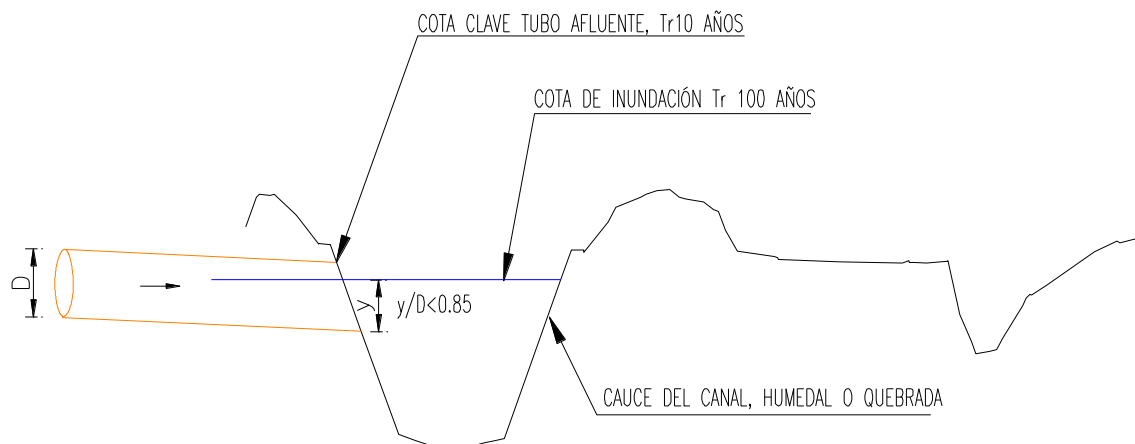
A= Área de la sección transversal de flujo (m²)

V= Velocidad de flujo dentro del conducto (m/s)

5.3.4 Condición de frontera en las descargas

Con el objeto de precisar las condicionantes de descarga de los sistemas de drenaje (colectores y Box Culverts) para las Alternativas de sistemas de alcantarillado secundarios, a los sistemas de drenaje natural del sistema hídrico de la cuenca Torca – Guaymaral, en el que se incluyen los vallados, humedales y cauces de quebradas, esta Consultoría ha considerado que el escenario de descarga, dado que no existen criterios establecidos en la Normas NS-085 o la NS-163 de la EAAB, consiste en tomar como nivel máximo en el cuerpo de agua, el definido para una creciente con período de retorno de 100 años, mientras que para los colectores de entrega, el período de retorno de diseño corresponde al de 10 años; dicho de otra manera, el nivel máximo de entrega debe ser aquel que garantice en el colector de entrega al cuerpo de agua, una relación de y/D del 85%, para un período de retorno T_r de 100 años en el cuerpo de agua y de 10 años para el conducto afluente, como se ilustra en la Figura 32.

Figura 32 Detalle de la definición de las condiciones hidráulicas de descarga de colectores en cuerpos de agua



Fuente: WSP, 2020

Los resultados del modelamiento hidráulico de colectores son los que se presentan en el Anexo 1 del presente documento.

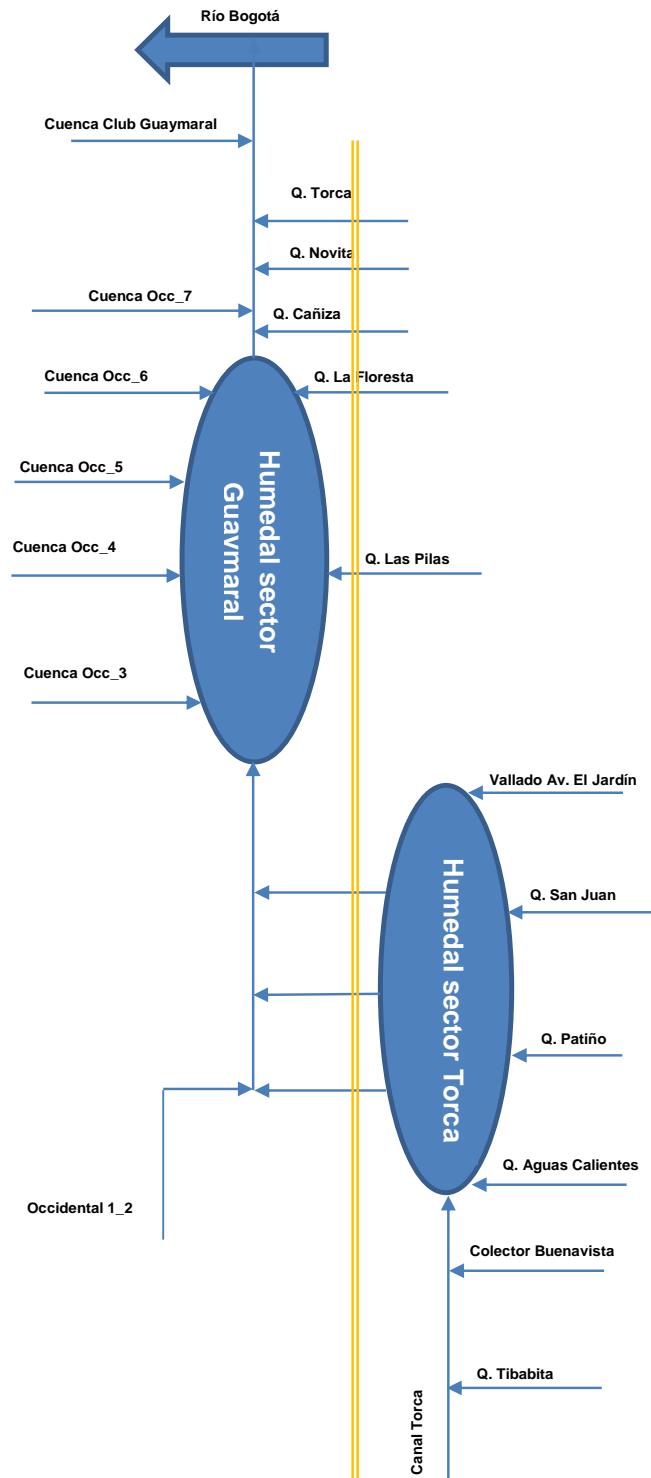
5.3.5 Modelamiento hidrológico del Humedal

Teniendo en cuenta que la evaluación de las alternativas se enfocará en la determinación de las condiciones de amortiguación e inundación generadas por los aportes de agua de las cuencas y que se detalla en la sección 6.3.1.8 Requerimientos de amortiguación de crecientes, el procedimiento de modelamiento hidráulico bidimensional del Humedal, tiene en cuenta los ingresos de hidrogramas de crecida según los resultados del análisis de la distribución espacial y temporal de la precipitación que se llevó a cabo en el Producto 4 Estudio de Hidrología, para cada una de las cuencas de aporte del sistema Torca – Guaymaral, y que incorpora las cuencas de las quebradas de la zona oriental que drenan el sistema de alcantarillado pluvial proyectado, y las cuencas de las redes de alcantarillado que se conforman en la zona occidental, a partir de la definición de los red de drenaje pluvial propuesta para la zona.

El esquema conceptual del modelo hidrológico es el que se muestra en la Figura 33. Es de notar que en la zona oriental, existen aportes diferenciados para el colector del sector de Buenavista y el colector que drenaje el sector de la avenida El Jardín, que hacen el ingreso en los extremos sur y norte del Humedal en el sector de Torca, respectivamente.

Conviene aclarar que para el modelamiento hidráulico, el ingreso de los hidrogramas de las cuencas de las quebradas se implementó en el sitio de desembocadura de cada una de estas (Humedal o Canal Guaymaral), lo que permite inferir que no se ha tenido en cuenta el efecto de tránsito generado a través de los cauces de las corrientes. Este efecto será evaluando una vez se hayan definido la alternativa de reconfiguración adoptada para el proyecto y que se presentará como un modelamiento integrado bidimensional (Humedal-Quebradas) en el Producto 14.

Figura 33 Modelo hidrológico conceptual para modelamiento del Humedal



Fuente: WSP, 2020

5.4 PARAMETROS ECOSISTÉMICOS

El análisis del componente ecosistémico atiende a la funcionalidad de los corredores biológicos, dentro de sus coberturas ecosistemas boscosos propios de la zona de vida; o se presenten ecosistemas que ofrezcan servicios ambientales importantes para las comunidades asentadas en la zona; o sean determinantes ambientales declarados.

Cuando no se presenta dentro del área un fragmento de cobertura vegetal que se aproxime a un estado boscoso ideal, como ocurre en varios de los ejes de quebradas actuales de la cuenca Torca-Guaymaral, a pesar de que existen relictos de bosque en un territorio aledaño con similitud (altitud, latitud, climatología, suelo y topografía) con el territorio objeto de estudio y que presente fragmentos de cobertura con las características requeridas.

En estos casos se procederá conforme se describe a continuación:

- Se identificará la cobertura vegetal, preferiblemente boscosa o en el mayor grado de desarrollo sucesional, asociada a la zona de vida del área de estudio, entendiéndose como Zona de Vida una unidad natural en la cual la vegetación, la actividad humana, el clima, la fisiografía, la formación geológica y el suelo, están todos interrelacionados con una combinación reconocida y única (Holdridge, 1987).
- Una vez identificada la vegetación arbórea que caracteriza la zona de vida, se calculará la altura total promedia del dosel (H) de los árboles que representan la comunidad vegetación.

El componente ecosistémico corresponderá al área definida por la distancia H medida a partir del límite del cauce permanente para cada comunidad de vegetación definida.

5.4.1 Criterios de adecuación ecosistémica de quebradas

Entre los elementos clave del funcionamiento del sistema fluvial se tiene el régimen natural de flujo, el de sedimentos, la estabilidad de las orillas y los procesos de arrastre de biota y de regeneración de la vegetación riparia, la dinámica, estructura y composición del ecosistema acuático, y en particular de las comunidades de peces que dependen de los equilibrios en las interacciones entre el cauce y la ribera. La vegetación de ribera tiene una clara relación con la dinámica geomorfológica, en la medida que las características hidromorfológicas (e.g. geoformas y profundidades de la inundación) condicionan las dinámicas sucesionales vegetales y a su vez estas estructuras vegetales tienen impactos mecánicos en las propiedades del flujo y la dinámica de sedimentos (MADS, 2018⁷).

A escala de paisaje, la restauración implica la reintegración de ecosistemas fragmentados, puesto que las funciones ecosistémicas están relacionadas con flujos de organismos, materia y energía entre las diferentes unidades del paisaje (SER, 2004). Sin embargo, para la mayoría de los escenarios transformados, es poco probable la reconstrucción histórica de sus condiciones iniciales, dado el cambio constante de los

⁷ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MDS. Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia, 2018.

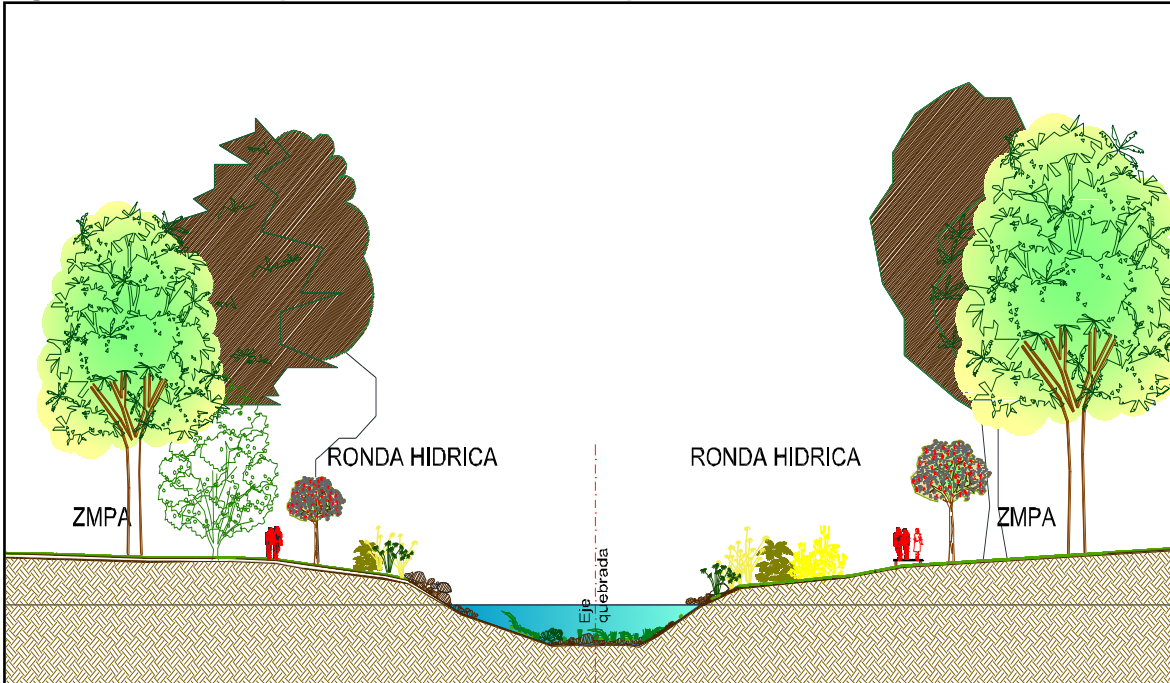
procesos que definen el desarrollo de comunidades y ecosistemas (van Diggelen et al., 2001). Por lo tanto, es importante la comprensión de la estructura del paisaje, mantener los elementos naturales y propiciar otros, tratando de mantener condiciones propias, en pro de la heterogeneidad espacial para mantener así la biodiversidad a escala regional (Ríos, 2011).

Según el diagnóstico de los corredores ecológicos de las quebradas, éstas presentan una gran alteración, en donde las modificaciones de las geoformas por suelos de rellenos, las desviaciones y canalización de los drenajes, ha generado la pérdida de los cauces y por tanto la pérdida y ocurrencia desordenada de los flujos de agua en época de invierno, aumentando así el riesgo de inundación en las áreas aledañas. Es así que el planteamiento de la reconformación hidrogeomorfológica incluye la recuperación del cauce y ronda hidráulica de las 9 quebradas afluentes del humedal, teniendo en cuenta mantener las características iniciales de los drenajes y los corredores ecológicos de los mismos, reconocidos en el Decreto 088 del 2015.

A partir de esto se proponen acciones de restauración en los corredores ecológicos riparios, estableciendo inicialmente recomendaciones a la reconformación de la ronda hidráulica o inundable, dirigidas a la generación de cauces sinuosos, con bordes heterogéneos con el fin de asemejarse a las condiciones naturales y generar mayor diversidad de microhábitats potenciales para el uso por parte de la fauna acuática. Así mismo se recomienda generar en diferentes puntos a lo largo de los cauces trampas de sedimentos con el fin de reducir el aporte de material de arrastre hacia el humedal, lo cual incentiva al mismo tiempo estos microhábitats. La reconformación considera que la parte alta de las quebradas, más cercana a los cerros, presentan mayores pendientes que la parte baja, presentando en la parte baja ensanchamiento de en el delta que forma al desembocar en el humedal, lo que implica que la ronda hidráulica debe ser más ancha en los deltas, permitiendo unos microhábitats más semejantes a las áreas pelágicas del humedal.

En las zonas de ronda terrestre de las quebradas, la restauración va dirigida a establecer bosques de galería, las cuales hacen parte de los corredores ecológicos, áreas identificadas como prioritarias de mantener en pro de la conectividad del sistema hídrico y biótico. En estas áreas se pueden establecer módulos de restauración que consideren la siembra y enriquecimiento en áreas relictuales, con especies de diversos estratos y grupos funcionales, en donde la implementación de núcleos de vegetación en áreas más abiertas, combinando éstas especies, busca establecer micrositios de vegetación, que aportan a un cambio de las condiciones microclimáticas, o que por condiciones de zoocoria de las especies permitan la afluencia de lluvia de semillas de otras especies que pueden aportar al proceso de restauración. En este caso se pueden tener en cuenta las especies propuestas por instituciones como el Jardín Botánico de Bogotá, quienes han establecido listas de especies arbóreas y arbustivas potenciales para la restauración de diversos ecosistemas del Distrito Capital. Así mismo especies recomendadas por Fundación Guaya canal (DTS Decreto 088 del 2015) para los bosques inundables y de tierra firme, especies como *Alnus acuminata*, *Vallea stipularis*, *Miconia squamulosa*, *Cestrum mutisii*, *Viburnum triphyllum*, *Budleja americana*, *Escallonia paniculata*, *Myrsine guianensis*, entre otras.

Figura 34 Sección típica de restauración de quebradas



Fuente: WSP, 2020

De igual manera el análisis se complementa con el apoyo del análisis de crecientes transitadas para el cauce de restauración propuesto, con base en el criterio del rasgo denominado "ancho a banca llena" que sería el espacio del cauce permanente y las zonas que se definirán como las áreas pelágicas o de eventual inundación confinada en el ancho de sección establecida en la actualidad por la SDA.

En lo que respecta al análisis del componente ecosistémico, se analiza la funcionalidad de los corredores biológicos, en función de la altura de la vegetación existente y su relación con el cauce principal y las zonas de ocupación hídrica temporal. La medición de la franja que representa el componente ecosistémico se hará desde el cauce principal de la corriente y estará relacionada con la definición de los servicios ambientales que ofrecerá hoy y en el futuro, para las comunidades que se asentarán en esta zona de desarrollo de la Ciudad; o sean determinantes ambientales declarados, como es el caso de la Estructura Ecológica Principal establecida por el Decreto 190 de 2004, a la cual pertenecen todas las quebradas del presente estudio.

5.4.2 Criterios ecosistémicos de adecuación del Humedal

Para la recuperación de la función amortiguadora de la dinámica hídrica del humedal Torca -Guaymaral, se identificó en la fase de los criterios geomorfológicos la gran necesidad de establecer la reconfiguración de áreas, que han sido transformadas mediante rellenos de suelos mixtos y heterogéneos. Estas áreas de reconfiguración toman en cuenta el diseño de diversas zonas, en pro de asegurar la reconfiguración de las características de un humedal. Es así, que se contempla aumentar el área inundable que incluye la zona del vaso del humedal con mayor profundidad, la zona pelágica con un gradiente de nivel (1:10 a 25) que va de lo profundo a lo más superficial, y la zona de

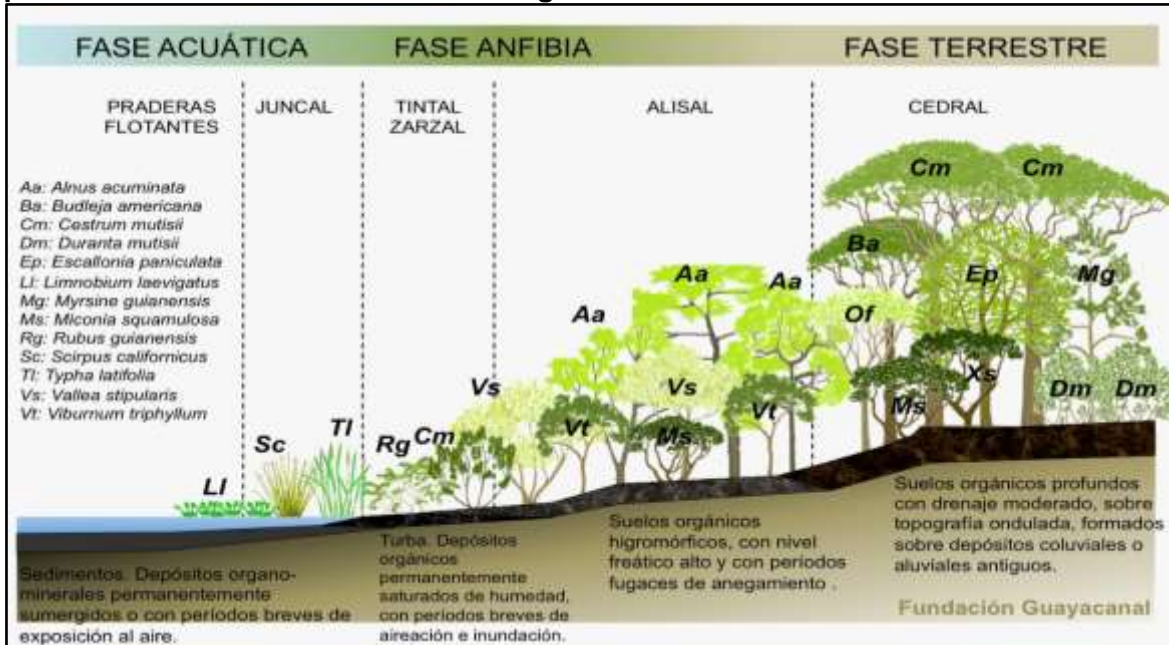
ronda que comprende un área que, aunque terrestre, puede evidenciar inundaciones estacionales, y un área con zonas de mayor elevación que asegure áreas de tierra firme.

La Restauración Ecológica de las áreas reconfiguradas, considera diversas estrategias para tener en cuenta, con el fin de mantener la diversidad geomorfológica de las zonas pelágicas y las áreas adyacentes, lo cual aseguraría el mantener mayor cantidad de micrositios de implantación de posibles hábitats para la fauna, y con esto mantener la biodiversidad que ofrece el sistema de humedal. A partir de esto la implementación de especies nativas en las diversas zonas inundables o terrestres, deben considerar el gradiente determinado por el nivel freático que puedan resistir según sus atributos de historia de vida.

Luego de la reconfiguración geomorfológica de las áreas seleccionadas descritas previamente, se establecen recomendaciones asociadas al diseño de las diferentes zonas de las áreas de reconfiguración, en las cuales algunas presentan requerimientos de diseño específicos en pro de acercarse a las condiciones naturales del Humedal Torca-Guaymaral, teniendo en cuenta los diversos patrones estructurales de la vegetación asociada al humedal de planicie inundable altoandina (Figura 35) y generar diversidad de micrositios de implantación de hábitats potenciales para la fauna asociada. Dentro de estas áreas, el área más profunda o vaso de humedal permite mantener una columna de agua permanente en donde se puedan establecer especies acuáticas flotantes o praderas sumergidas, dentro de las cuales se puede incluir o trasladar especies como *Limnobium laevigatum*, *Azolla filiculoides*, *Bidens laevis*, *Lemna gibba* entre otras. Así mismo, se establece un área pelágica o litoral, dada por la reconfiguración de diversos niveles de profundidad que generan un gradiente hasta las zonas inundables más superficiales, zonas que presentan mayor dinámica estacional, y permiten la implementación de diversidad de especies enraizadas emergentes, entre las cuales se cuenta con especies gramíneas como el *Juncus bogotensis*, *Thypha latifolia*, especies de *Cyperaceas* entre otras. Es de tener en cuenta que se debe hacer un manejo frecuente en pro de evitar la excesiva extensión de la vegetación acuática.

La ronda hídrica es conocida a nivel internacional como zona riparia o ribereña, región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático, es decir son las franjas contiguas a los cuerpos de agua continentales, sean naturales o artificiales, estén en movimiento (ríos, quebradas, arroyos) o relativamente estancados (lagos, lagunas, pantanos, esteros), sean efímeros (intermitentes) o continuos (perennes). Dichas zonas se convierten en unas de las porciones más dinámicas del paisaje (Swanson et al., 1988), lugar de máxima interacción entre los medios terrestre y acuático, y convirtiéndose en un corredor a través de regiones (Malanson, 1993). En dichas zonas se dan transferencias de agua, nutrientes, sedimentos, materia orgánica y organismos (Gregory et al., 1991), siendo uno de los hábitats biofísicos más diversos, dinámicos y complejos en la capa terrestre de La Tierra (Naiman et al., 1993). Igualmente, estas zonas están entre las de mayor valor en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos y como soporte de la biodiversidad (Opperman et al., 2009).

Figura 35 Perfil de los tipos estructurales de vegetación asociadas al humedal de planicie inundable en la Sabana de Bogotá



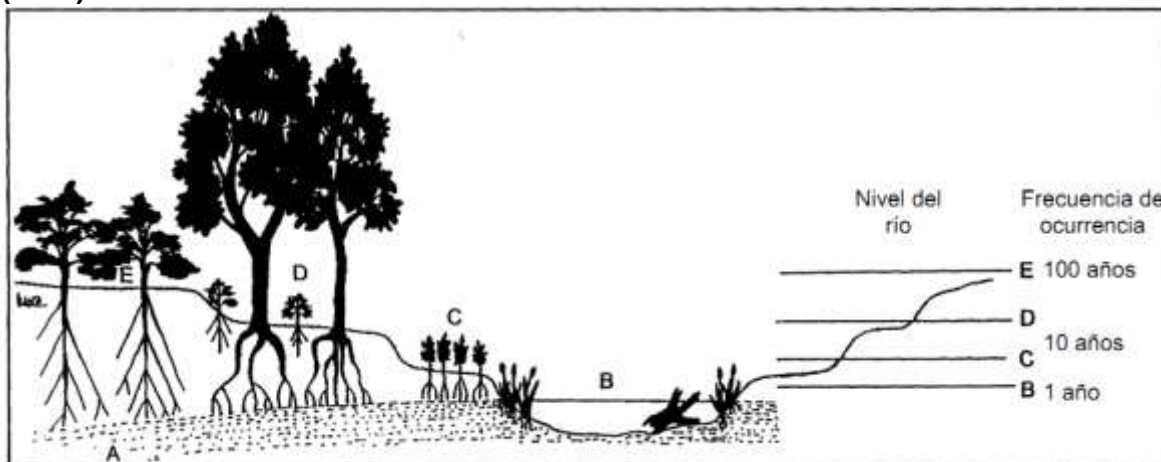
Fuente: Fundación Guayaacanal, DTS Decreto 088 2015.

La zona de ronda de tierra firme se recomienda diseñarlos en áreas más altas, a manera de montículos generados a partir del material extraído en la reconformación, en donde se establezcan terrenos con mejor drenaje y se dirija la restauración a establecer bosques en donde dominen especies menos tolerantes a niveles freáticos altos, como son *Buddleja americana*, *Escallonia paniculata*, *Myrsine guianensis* entre otras, como lo sugieren algunos estudios (Fundación Guayaacanal DTS Decreto 088 del 2015). En el diseño de las zonas de ronda de tierra firme, se recomienda generar bordes con salientes y entrantes hacia la zona inundable, con el fin de aumentar la diversidad del contorno limítrofe entre lo acuático y lo terrestre, que aumente micrositios de implantación de vegetación y con esto hábitats para la fauna asociada.

Como un resultado de las propiedades dinámicas de estas zonas de transición, cada zona de ribera (ronda hídrica) tiene unas características propias y una capacidad de soportar niveles de estrés naturales o antropogénicos (Buckhouse y Elmore, 1993). La distribución general y el establecimiento de comunidades de fauna y flora es un reflejo de los procesos dinámicos. Las inundaciones, en particular, tienen resultados no sólo en el arrastre de biota establecida, sino también en la acumulación de sustratos donde la colonización y sucesión de especies vegetales empieza de nuevo. A través del tiempo, estos eventos crean complejos patrones de suelo y dinámicas del agua subterránea que direccionan el desarrollo de vegetación de ribera y comunidades animales especializadas. Como fue señalado por Junk et al. (1989), en climas tropicales y templados, el pulso de las inundaciones es la principal causa responsable de la existencia, productividad e interacciones de la biota en los sistemas fluviales. En tal sentido, el pulso de las inundaciones contribuye a mejorar la productividad biológica y mantener la diversidad en el sistema, donde los principales agentes son las plantas, nutrientes, detritos y sedimentos (Bayley, 1995). El régimen natural de flujo, el cual está fuertemente correlacionado con muchas características físico-químicas tales como temperatura,

geomorfología del cauce y diversidad de hábitats, puede ser considerado como la "variable maestra" que limita la distribución y abundancia de especies y regula la integridad ecológica en los sistemas fluviales (Poff et al., 1997). Un resumen gráfico de ello puede verse en la **Figura 36**.⁸

Figura 36. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas (Poff et al., (1997).



Fuente: Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. Decreto 2245 de 2017.

En la **Figura 36** se aprecia que tanto la vegetación riparia como el flujo base son alimentados por los niveles freáticos (A). Crecientes de diferente magnitud y frecuencia mantienen diversidad de la vegetación riparia y el hábitat acuático: pequeñas crecidas que transportan sedimentos finos mantienen la alta productividad bentónica y posibilitan hábitat para peces (B); crecientes intermedias inundan las terrazas bajas permitiendo el establecimiento de especies pioneras, además de acumular materia orgánica dentro del cauce ayudando a mantener su forma (C); grandes crecidas inundan terrazas aluviales permitiendo el establecimiento de especies de sucesión (D); inundaciones raras arrastran material que puede permitir el establecimiento de hábitat para muchas especies (E).

Según la zonificación de áreas potenciales a Restaurar en el área de estudio, se establecen zonas de reconfiguración hidro-geomorfológica, zonas de restauración de rondas inundables y terrestres asociadas al humedal, zonas de control y manejo de vegetación asociadas a los espejos de agua y zonas de restauración de rondas de las quebradas y canales asociados (Ver capítulo 6 de Zonificación Ambiental, Producto 5).

El Humedal Torca - Guaymaral, adicionalmente a lo descrito en la sección anterior, afronta una serie de problemas relacionados con: la fragmentación, por lo cual se disminuyó el tamaño del cuerpo de agua y su profundidad. Adicionalmente, gran parte del fragmento de Guaymaral fue rellenado o desecado por los procesos urbanísticos que se adelantaron en terrenos aledaños a la Autopista Norte; la sedimentación proveniente de la amplia cuenca de drenaje y las áreas abiertas adyacentes a los humedales con poca cobertura vegetal, hacen que los humedales estén en un proceso activo de colmatación,

⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia (Decreto 2245 de 2017. - Bogotá, Mayo de 2017.

que continúa reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua y de control de crecientes, aunado esto a la inapropiada disposición de residuos sólidos en sus zonas de ronda.

5.4.3 Criterio ecosistémico de adecuación del Canal Guaymaral

Este elemento hídrico del sistema Torca-Guaymaral, contiene en las zonas ribereñas, un ecosistema dependiente del curso de agua con una matriz variable de vegetación, inmersos dentro de la cuenca hidrográfica. Esta zona cumple funciones esenciales para la preservación de ecosistemas y sus relaciones territoriales, influyendo en el paisaje en términos de riqueza y belleza natural, a la vez que suministran bienes y servicios para la biota y el bienestar humano (**Figura 37**).

Figura 37. Vistas del Canal Guaymaral, cuenca baja (izq.) y cuenca media (der.)



Los análisis bióticos determinaron la calidad e importancia de los ecosistemas ribereños del canal, como elemento conector de todo el sistema Río Bogotá – Humedal – Quebradas – Cerros Orientales, ya que constituye una fuente de servicios ecosistémicos. No obstante, la evaluación del estado de conservación de este sistema hídrico lineal en su función conectora, implica recabar aquellos aspectos que permitan la ejecución de actividades bajo la normativa ambiental vigente, garantizando el resguardo de estos sistemas en una perspectiva a largo plazo y en conjunción con las acciones previstas para el Humedal.

Las acciones que se prevén, consideran lo establecido en el Decreto 088 de 2017, definen la restauración ecológica como elemento para ayudar al restablecimiento del ecosistema que ha sido afectado, mediante la restauración de la sucesión ecológica, que permite la diversificación de hábitats para la vida silvestre tanto terrestre como acuática, la generación de corredores para animales que dispersan semillas y un incremento de la materia orgánica sobre el sustrato. A su vez, mejora la calidad visual y las oportunidades de recreación a través del paisaje.

6 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS

6.1 GENERALIDADES

Si se divide el sector en dos grandes áreas, oriental y occidental, separadas entre sí por la Autopista Norte la zona oriental está drenada por el canal Tibabita y las quebradas (nombradas de Sur a Norte) Aguas Calientes, Patiño, San Juan, Las Pilas, La Floresta, Novita y Torca. Mientras la zona occidental es drenada por un sistema conformado por tres importantes vallados o canales artificiales (vallado San José, Guaymaral y Arrayanes), y una serie de zanjas artificiales conformadas generalmente a los lados de las vías del sector.

De esta manera, es evidente que el drenaje del sector debe aprovechar estos sistemas como sistemas de recolección de aguas lluvias que permitan conducir el flujo hacia un eje central articulador, es decir, hacia un elemento que drene el caudal total de la cuenca del sistema Torca – Guaymaral hacia el río Bogotá.

Según esto y siguiendo lo propuesto por el Plan Maestro del Año 2009, la presente consultoría plantea dividir el análisis en cuatro zonas: la zona oriental que compete a las quebradas que descienden desde los Cerros hacia el Humedal Torca, la Canal Torca o el Canal Guaymaral, las cuales están, paralelamente, siendo desarrolladas por un segundo consultor. La zona sur, que compete el sistema afluente del Canal Torca, el mayor aportante de escorrentía del sistema; la zona suroccidental que comprende la escorrentía generada en la zona de San José de Bavaria, y finalmente la zona occidental, que comprende la zona comprendida entre la Autopista Norte y el corredor de la Avenida Boyacá.

En esta zona, la cual actualmente se drena mediante vallados, considera que, hacia futuro, estos sistemas deberán reemplazarse por sistemas más eficientes, aunque varios de estos deberán ser objeto de relocalización sobre las nuevas vías que se proyectan (Decreto 088 de 2017), tal es el caso de los vallados de la Avenida Arrayanes, Avenida Guaymaral, Avenida Tibanica, Avenida El Jardín, y otros menores.

Otro sector, corresponden las cuencas que se encuentran hacia el costado occidental del corredor de la Avenida Boyacá, que forman parte de los afluentes directos del río Bogotá y su drenaje se ha realizado durante mucho tiempo a través de las zanjas que han construido los propietarios de los predios y que conducen las aguas lluvias de forma directa hacia el río Bogotá. Esta zona no tiene una incidencia dentro del área de influencia de transformación urbana, y sus aportes de agua, como ya se mencionó, son directos hacia el cauce del río.

6.2 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO SECTOR OCCIDENTAL

Actualmente el sistema de alcantarillado pluvial no cuenta con la estructura suficiente para conducir los caudales de escorrentía producidos por las zonas de desarrollo del proyecto, y debido a su cercanía con los cuerpos de agua actualmente se encuentran zonas de inundación, por lo que debe llevarse a cabo una reconfiguración tanto de los humedales como de los canales y quebradas, de modo que las áreas de desarrollo no queden expuestas a eventos de inundación. Por otra parte, las áreas de drenaje de la zona son

bastante extensas, luego deben proyectarse sendos colectores de diámetro importante para conducir los caudales de escorrentía. Los niveles de hidráulicos a 100 años que fueron calculados en el Producto 4, implican una condición de entrega de los colectores proyectados no tan favorable dado que las descargas no puedan llegar elevaciones muy profundas, en vista que los colectores en lo posible deben llegar por encima de los niveles de inundaciones obtenidos en el estudio de hidrología. Además de lo anterior, el relieve de la zona en donde se contempla la proyección de los colectores es bastante plana, obligando a que las redes pluviales se proyecten con pendiente muy pequeñas, lo que fuerza a incorporar diámetros grandes en el sistema.

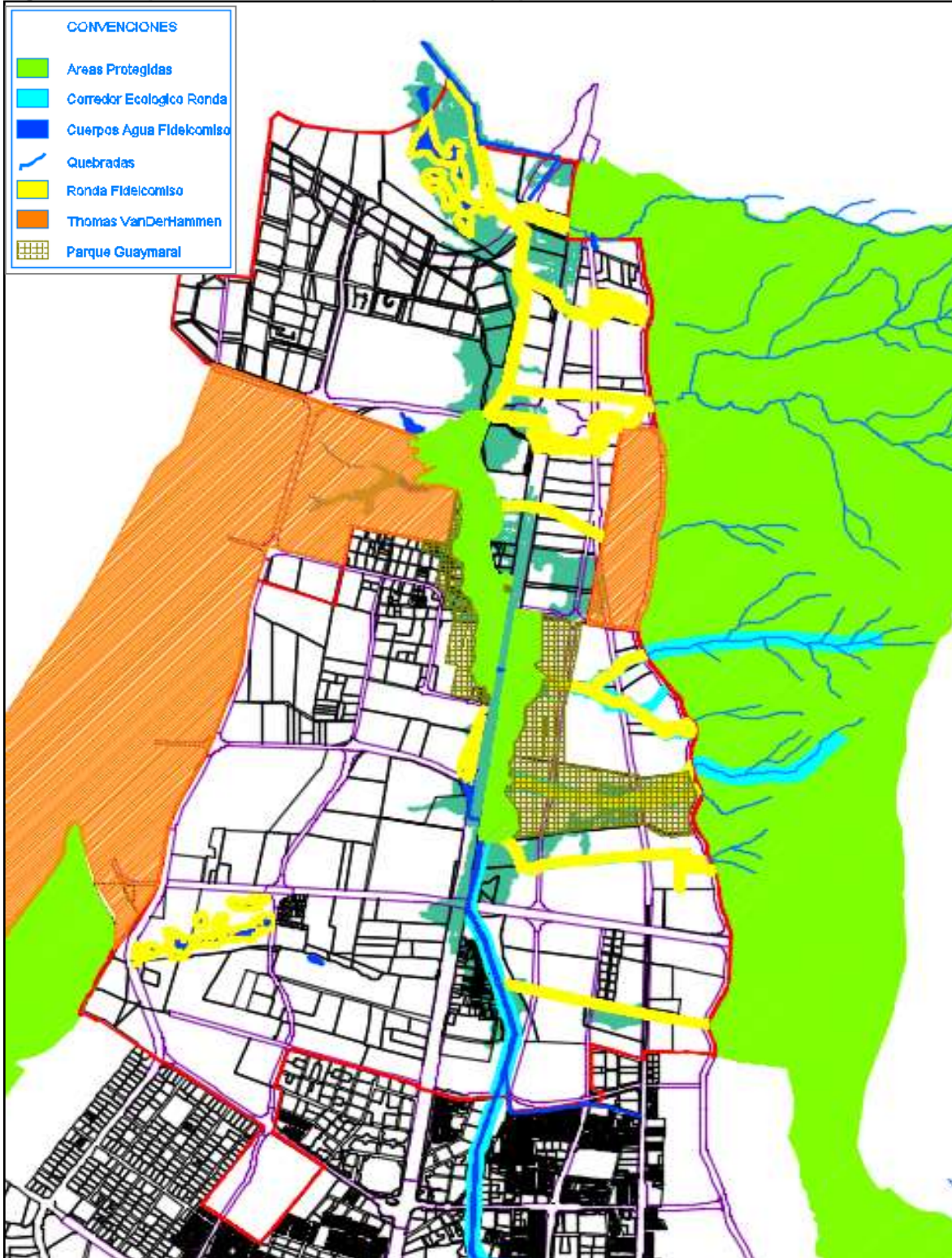
6.3 RESTRICCIONES DE MANEJO PLUVIAL

En la definición de las posibilidades de drenaje de la zona se han tenido en cuenta diversos tipos de condicionantes que proporcionan restricciones a las propuestas del manejo de la escorrentía y que han sido considerados al momento de plantear cualquiera de las Alternativas, y que se enumeran de la siguiente manera:

- Parque Metropolitano Guaymaral
- Reserva Van der Hammen
- Predios Privados de Clubes
- Delimitación de ZMPAs
- Restauración geomorfológica de Rondas
- Desarrollos Urbanos de Planes Parciales
- Control de borde del río Bogotá
- Requerimientos de volúmenes de amortiguación
- Proyectos previos

En la Figura 38 se representan las que se encuentran delimitadas por la Autoridad competente.

Figura 38 Mapa de restricciones para manejo pluvial



Fuente: SDP, Modificado WSP; 2019

6.3.1.1 Reserva Van der Hammen.

En este contexto regional, como lo indica la Figura 4.2, la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D. C. “Thomas Van der Hammen” se constituye en un elemento central articulador de los sistemas Río Bogotá y los Cerros Orientales. El efecto ambiental que tiene la reserva a nivel Distrital es conectar físicamente el humedal La Conejera, la ZMPA del río Bogotá, el cerro de La Conejera, el humedal de Guaymaral y los Cerros Orientales. Si esta conexión física se rescata a través de tratamientos de rehabilitación y recuperación ecológica, entonces se fortalecería la función ecológica de estas áreas, lo cual se convertiría en el único sector en que se unen estructuralmente los Cerros Orientales con el río Bogotá.

La conectividad actual principalmente asociada a la red hídrica del área y los relictos boscosos de cobertura riparia y vegetación secundaria, la cual establece una relación ecológica de flujos de servicios ambientales en el área. Las quebradas y vallados dentro del POZ Norte, corresponden a corredores de vital importancia para la movilidad de la fauna entre los Cerros Orientales y el Humedal de Torca - Guaymaral y desde el Occidente hacia el Humedal de Torca - Guaymaral. Cabe indicar que la conectividad desde los Humedales hacia el Río Bogotá, aun cuando no presenta altos niveles de conectividad funcional, los cuales, con esfuerzos de restauración ecológica y medidas de manejo específicas, se podría potenciar la conectividad que de manera natural se establece entre el canal de Guaymaral y los cuerpos de agua de remanentes y modificados del Humedal de Guaymaral (Decreto 088 de 2017).

En la Figura 39 se presenta la delimitación de la Reserva Van der Hammen.

Figura 39 Mapa de delimitación de la Reserva Van der Hammen



Fuente: WSP, 2019; CAR, 2014⁹

⁹ Car. Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen”. 2014.

6.3.1.2 Parque Metropolitano Guaymaral.

Lagos de Torca contempla el desarrollo del Parque Metropolitano Guaymaral, un espacio de 150 hectáreas, contando las 75 del cuerpo de agua, que brindará a las personas espacios verdes para la recreación activa y pasiva y generará conectividad entre los Cerros Orientales y el Humedal Torca – Guaymaral, adicional a las nueve quebradas que formarán parte de la Estructura Ecológica Principal para su protección y que por lo tanto no podrán ser objeto de intervenciones urbanísticas.

Figura 40 Parque Metropolitano Guaymaral



Fuente: SDP, 2019.

Tomando en cuenta lo expuesto en la restricción dada por la Reserva Van der Hammen, la conectividad ecológica a nivel del Parque Ecológico Humedales de Torca y Guaymaral se encuentra principalmente asociado a las características hídricas del área. Debido a que este se encuentra ubicado sobre un valle fluvio – lacustre, donde las quebradas

provenientes de los Cerros Orientales y los vallados que se encuentran al sector occidental del área drenan sus aguas. Así mismo, el Río Bogotá se encuentra conectado por medio del Canal de Torca con el Humedal del mismo nombre, dando así una conectividad hídrica entre los elementos de la Estructura Ecológica Principal del Distrito con el parque de análisis (Decreto 088 de 2017). Las propuestas de drenaje pluvial de la zona consideran la localización de este nuevo elemento del paisaje de la zona, sobre la que también se prevé si vinculación hidro-ecosistémica con los humedales de Torca, en el costado oriental y del humedal Guaymaral, en el costado occidental.

La proyección de este parque por parte de la Secretaria de Planeación implica unos cambios significativos en términos de áreas posibles de almacenamiento para las crecientes respecto de lo planteado en el proyecto del Consorcio Borde Norte 2009. Razón por la cual se consideran otras posibles áreas para el amortiguamiento y/o almacenamiento de las crecientes. Estas áreas se pueden consultar en el Producto 4 y en el capítulo 6.4.3.3.1 del presente informe.

6.3.1.3 Predios Privados de Clubes.

Las propuestas de drenaje tienen en cuenta la existencia de grandes predios que tienen uso recreativo, como el caso de los clubes, los que podrían convertirse en limitantes a la implementación de corredores viales sobre los que se plantea la infraestructura de drenaje pluvial y sanitario, o abastecimiento de agua.

6.3.1.4 Delimitación de ZMPAs y Corredores ecológicos de Ronda.

Desde el punto de vista ecosistémico, los cuerpos de agua léntico (humedales y lóticos (quebrada) presentan un alto potencial de restauración en el que se pueden recobrar sus estructuras y procesos ecológicos. Si bien la conexión hídrica se encuentra modificada por la construcción de la Autopista Norte, la Avenida 7a y la presencia de un canal en concreto paralelo a la vía férrea, que desvía las aguas de entrega al humedal de Torca como son las quebradas Aguas Calientes, Patiño y San Juan, entre otras alteraciones en el área; la presencia de fauna y los relictos boscosos asociados a las quebradas, establecen aun servicios ecosistémicos que deberán ser mantenidos y mejorados en el área.

Si bien es cierto que la Autopista Norte generó la fragmentación de los humedales, es importante destacar que, dentro de los separadores de la misma, se presentan corredores ecológicos debido a que se encuentran integrados por cuerpos de agua y vegetación riparia.

Cabe indicar, que los Humedales de Torca y Guaymaral han sido considerados como ecosistemas estratégicos para la ciudad y la región por mantener aún relictos de conectividad entre los Cerros orientales y el Río Bogotá. La Unidad Ecológica de estos ecosistemas se establece a partir de la presencia de un cuerpo de agua y su franja litoral con vegetación de macrófitas acuáticas emergentes. Allí se pueden realizar algunas actividades controladas, entre las cuales se encuentra la de recreación pasiva, la educación y la investigación, de igual forma se permite la construcción de infraestructuras (colectores de drenaje) que no obstaculicen o alteren el metabolismo natural del ecosistema, ligadas a la defensa y el control del sistema hídrico (EAAB-ESP, 2015).

Figura 41 Delimitación de ZMPA y Corredores ecológicos según Decreto 088 de 2017



Fuente: SDP y SDA, 2017, Modificado por WSP, 2019.

6.3.1.5 Restauración geomorfológica de Rondas.

Los drenajes provenientes de los Cerros Orientales son los principales conectores ecológicos del área. Los Cerros Orientales presentan coberturas densas que a medida que se integra con la Terraza aluvial y los Valles fluvio-lacustres cambian los estratos y la densidad de la cobertura, por cuanto los bosques riparios cumplen un papel principal para la conectividad y soporte de los requerimientos faunísticos en estos sectores, pues brindan sombra, alimento, refugio y hábitat para las especies que se mueven dentro del área.

La ronda hidráulica con vegetación terrestre por lo general de biotipo arbóreo o arbustivo, que se extiende de forma paralela a los humedales en una franja de 30 metros, con funciones de manejo hidráulico, restauración ecológica, protección y de sustentación de la heterogeneidad de hábitats y la ZMPA es una franja contigua a la ronda hidráulica, destinada a propiciar la transición entre los humedales y la ciudad.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y los datos de atropellamiento de la fauna realizados por la Fundación de los Humedales de Torca y Guaymaral, los bosques de galería y las redes viales juegan un papel determinante en la distribución de la fauna procedente entre los Cerros Orientales y Cerro de Torca hacia los humedales por el costado Oriental del POZ Norte, mediante las quebradas existentes en el área como: Aguas Calientes, Patiño, San Juan, Pilas, La Floresta, entre otras; mientras que por el

costado Occidental del área, los Vallados juegan un papel fundamental para el desplazamiento de la fauna.

6.3.1.6 Desarrollos Urbanos de Planes Parciales

Como consecuencia de la ejecución del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte – Ciudad Lagos de Torca, la Secretaría Distrital de Planeación evidenció que, para efectos de dar mayor claridad y seguridad jurídica a los interesados en la gestión y ejecución del proyecto, se debe adicionar la definición relacionada con la unidad funcional y precisar el alcance del concepto de Unidad Representativa de Aporte.

En coherencia con la incorporación de la definición de Unidad Funcional, se hace necesario, dentro de las consideraciones de drenaje, incorporar la prioridad de ejecución de las obras, garantizando que los recursos aportados por Fideicomitentes de una Unidad Funcional reciban de forma preferencial los beneficios de la utilización de los recursos para la ejecución de obras. En la Tabla 7 se presentan la distribución de las Cargas Generales que componen cada Operación de la Ciudad Lagos de Torca.

Tabla 7 Distribución de las acciones de Carga general y su Operación

OPERACIÓN	CARGAS GENERALES QUE LA COMPONEN
Operación 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudios y diseños de todas las redes de Acueducto y Alcantarillados y de las demás obras de carga general de las Operaciones 1 y 3. 2. Construcción de la Avenida Laureano Gómez entre la Avenida Santa Bárbara y la Avenida Guaymaral y entre la Avenida el Polo y la Calle 193. 3. Avenida Santa Bárbara entre la Avenida Laureano Gómez y Avenida El Polo. 4. Construcción de la Avenida el Polo entre Avenida Alberto Lleras Camargo y Avenida Boyacá. 5. Construcción de la Avenida Boyacá entre Avenida San Antonio y la Avenida Longitudinal de Occidente. 6. Construcción de la Avenida Guaymaral entre Avenida Laureano Gómez y Avenida Boyacá. 7. Construcción de la Estación de bombeo de aguas residuales para el sector de El Bosque, San Simón y Múdela del Río, en caso de que esta sea necesaria de acuerdo con los estudios y diseños definitivos 8. Adquisición de los suelos de Ronda de las Quebradas que hacen parte de las obras de la Operación 1. 9. Redes de alcantarillado sanitario de la Avenida Laureano Gómez entre la Avenida Parque Metropolitano Guaymaral y la Avenida el Polo.
Operación 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición de los suelos del CIM Norte, del equipamiento Metropolitano de Salud, del patio portal ubicado en la Avenida El Polo entre Avenidas Alberto Lleras Camargo y Laureano Gómez y de la Avenida Alberto Lleras Camargo, en caso de que estos no hayan sido aportados de manera voluntaria al Fideicomiso Lagos de Torca.
Operación 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudios y diseños de las obras de carga general de la Operación 4. 2. Construcción de la Avenida Laureano Gómez entre Avenida Santa Bárbara y Avenida El Polo 3. Construcción de la Avenida Santa Bárbara entre Avenida Tibabita y Avenida El Polo 4. Construcción de la Avenida Tibabita en el ámbito de Ciudad Lagos de Torca 5. Construcción de la Avenida Las Villas entre la Calle 176 y la Avenida Los

OPERACIÓN	CARGAS GENERALES QUE LA COMPONEN
	Arrayanes 5. Sección D del Parque Metropolitano Guaymaral 6. Adquisición de los suelos de Ronda de las Quebradas y del Parque Ecológico de Humedal Torca Guaymaral 7. Habilitación de los corredores de Ronda y ZMPA de los cuerpos hídricos
Operación 4	1. Estudios y diseños de las obras de carga general de la Operación 5. 2. Construcción de la Avenida Arrayanes entre Avenida Paseo de los Libertadores y la Avenida Boyacá. 3. Secciones B y C del parque metropolitano Guaymaral. 4. Restauración del Humedal Torca Guaymaral. 5. Construcción de la Avenida Carrera 52 entre la Avenida Calle 215 y Avenida el Jardín. 6. Construcción de la Avenidas Boyacá entre la Avenida Longitudinal de Occidente y el límite norte de Ciudad Lagos de Torca. 7. Construcción de la Avenida Jorge Uribe Botero en todo el ámbito del Plan Zonal del Norte. 8. Construcción de la Avenida Guaymaral entre la Avenida Laureano Gómez y la Avenida Alberto Lleras Camargo.
Operación 5	1. Construcción de la Avenida Las Villas entre Avenida Los Arrayanes y la Avenida El Jardín. 2. Construcción de la Avenida El Jardín de la Carrera 52 hasta el límite occidental del ámbito de Ciudad Lagos de Torca. 3. Construcción de la Avenida Calle 215 entre la Avenida Paseo de los Libertadores y la Avenida Las Villas. 4. Construcción de la Avenida Calle 245. 5. Sección A del parque Metropolitano Guaymaral.

Fuente: Decreto 088 de 1027, modificado por el artículo 22 del Decreto 049 de 2018.

En lo que respecta al proceso de implementación de los Planes Parciales, el desarrollo de los sistemas de drenaje pluvial ha tenido en cuenta

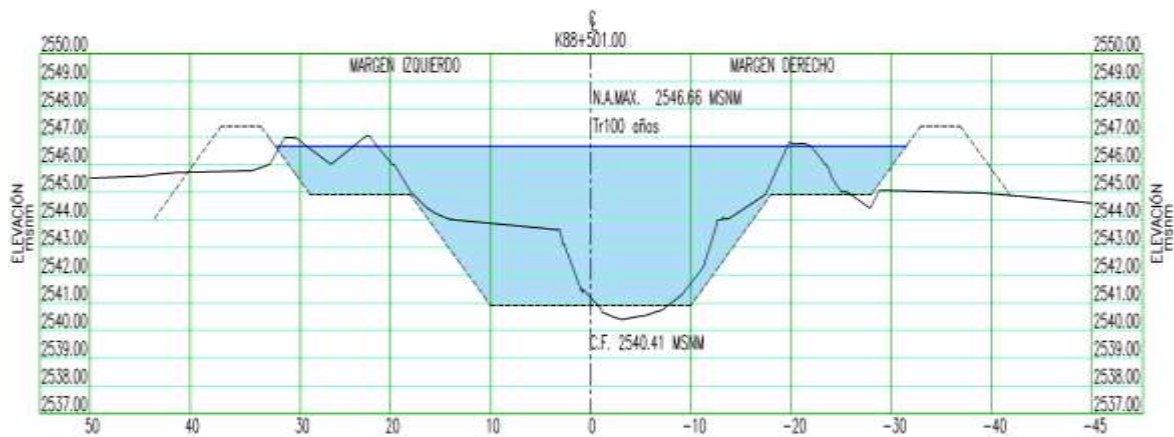
6.3.1.7 Control de borde del Río Bogotá.

De Igual forma, se llevó a cabo una reunión con el Fondo de Inversión para la Adecuación del Río Bogotá FIAB, oficina de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, encargada de las obras de adecuación del Río Bogotá con el fin de obtener información referente a las obras sobre el Río Bogotá, niveles de inundación, zonas de ronda y ZPMA en el sitio de cruce de la Av. Boyacá. De acuerdo con lo manifestado por la FIAB las obras de adecuación en este punto no se han iniciado, asimismo, mediante comunicación escrita, la CAR entregó información sobre los niveles de creciente del río Bogotá para la creciente de 100 años, en la condición de adecuación hidráulica, es decir, el nivel de agua proyectado para este escenario futuro. Esta información es la que aparece representada en la Figura 42.

Vale la pena indicar que los modelamientos hidráulicos tuvieron en cuenta la nivelación llevada a cabo por esta consultoría para el proyecto y la levantada para el Río Bogotá en la zona de la desembocadura del sistema hídrico Torca-Guaymaral. Por otro lado, el nivel de control de borde del Río Bogotá, reportado por la CAR para este sitio y basado en el sistema de georreferenciación de Proyecto de Adecuación Hidráulica del Río Bogotá, fue de 2546.66 msnm, para el nivel del río Bogotá, para la creciente de diseño. Con el objeto de conservar el mismo sistema de georreferenciación, esta consultoría procedió a realizar

el amarre topográfico del sistema CAR en la zona en cuestión. El resultado de este procedimiento dio como resultado que la diferencia de niveles entre los dos sistemas es de +0.11 m (+11 cm), lo cual significa que, a la cota de control de borde indicada antes, se debe sumar este valor. De esta manera la cota de control de borde en el río Bogotá es **2546.77 msnm**

Figura 42 Sección hidráulica actual, futura y nivel de agua del Río Bogotá, sitio de descarga del Canal Guaymaral.



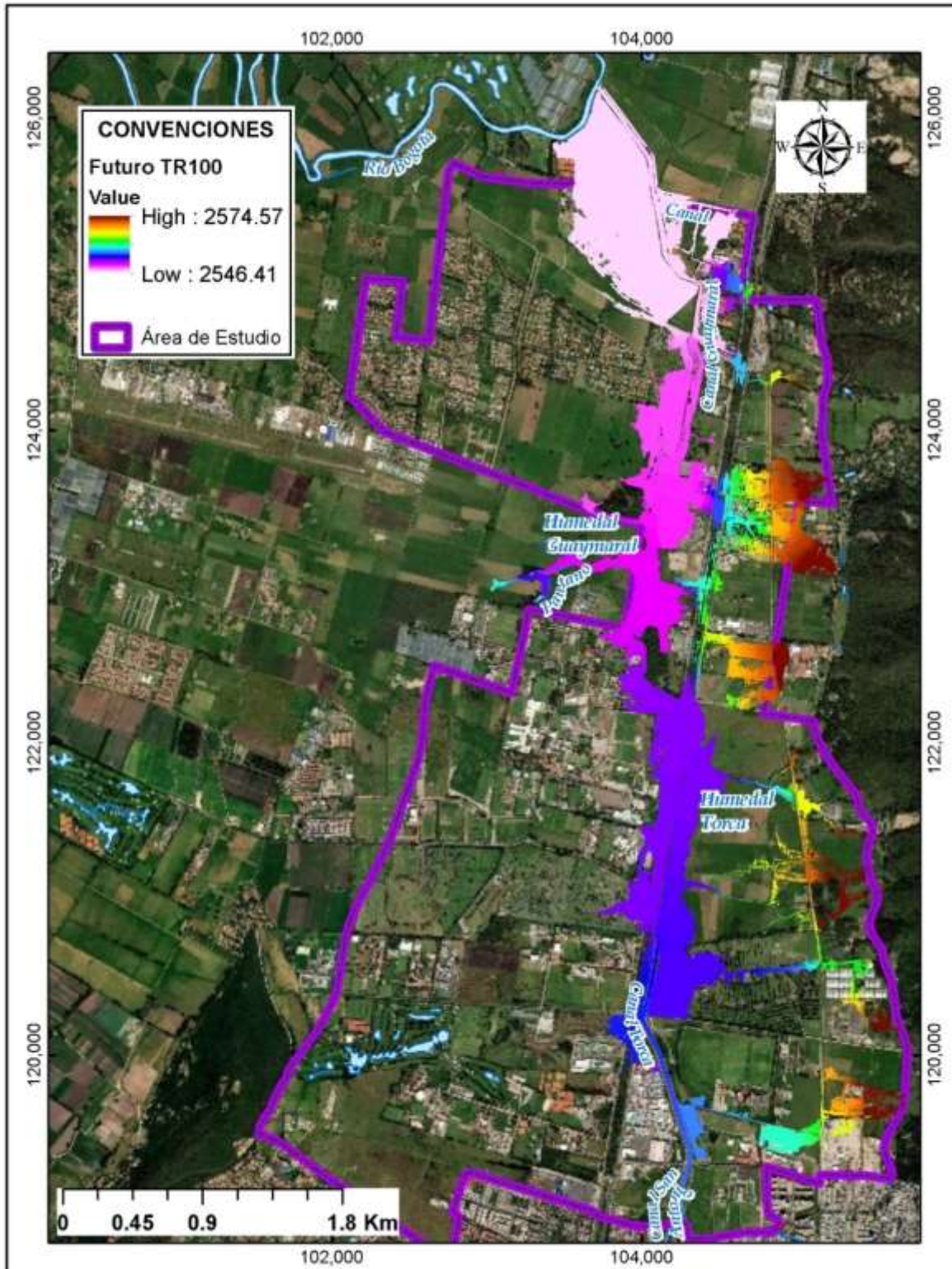
Fuente, CAR, 2019.

6.3.1.8 Requerimientos de amortiguación de crecientes en el Humedal

Los resultados del modelamiento hidrodinámico del sistema hídrico Torca-Guaymaral desarrollado en el Producto 4 de la consultoría, como elemento Diagnóstico, se constituye el punto de partida hacia la definición de las posibilidades de drenaje del sistema, además de considerar las opciones analizadas en los estudios anteriores y de los cuales se comentó al inicio de este documento. El planteamiento de las alternativas parte de considerar los niveles de inundación máxima, evaluados para un evento de precipitación con un período de retorno de 100 años, en la condición futura, para la cual se proyectan las alternativas de drenaje.

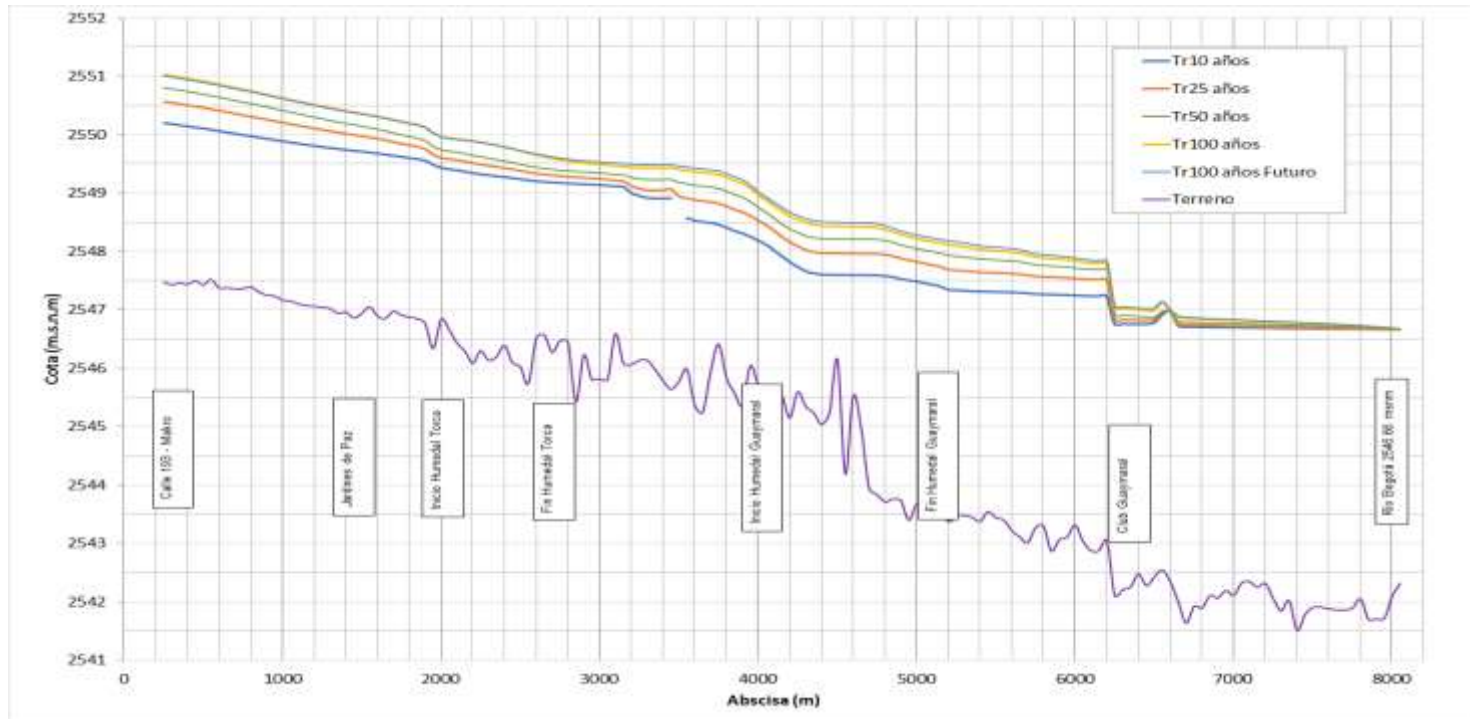
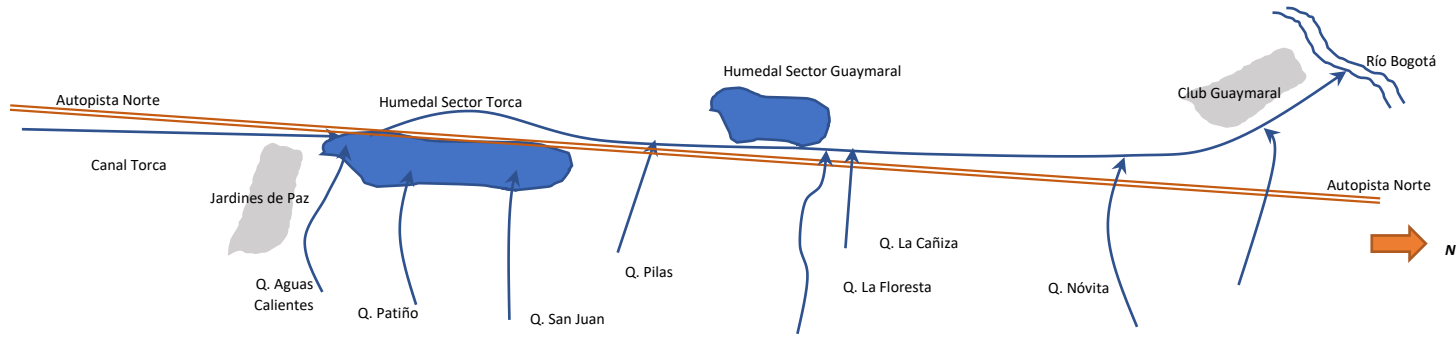
El resultado del modelo se presenta en la Figura 43 y el perfil hidráulico en la Figura 44. Además de lo anterior, en la Tabla 8 se presenta los datos del perfil hidráulico de inundaciones para varios períodos de retorno.

Figura 43 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura



Fuente: WSP, 2020.

Figura 44 Perfil longitudinal de inundaciones Sistema Torca – Guaymaral – Situación actual



Fuente: WSP, 2020.

Tabla 8. Perfil hidráulico del Sistema Torca – Guaymaral – Condición diagnóstica

Abscisa (m)	Coordenada		Condición Actual					Condición Futura Tr100 años Futuro	Cota Fondo de Canal
			Tr2.33 años	Tr10 años	Tr25 años	Tr50 años	Tr100 años		
	X-Value	Y-Value	msnm	msnm	msnm		msnm	msnm	
250	104262.24	119139.16	2549.51	2550.21	2550.58	2550.81	2551.01	2551.00	2547.47
300	104275.68	119187.32	2549.50	2550.19	2550.56	2550.79	2550.99	2550.98	2547.46
350	104289.12	119235.48	2549.49	2550.17	2550.54	2550.77	2550.97	2550.96	2547.49
400	104302.39	119283.69	2549.47	2550.15	2550.52	2550.75	2550.94	2550.93	2547.47
450	104314.02	119332.27	2549.46	2550.13	2550.50	2550.72	2550.92	2550.91	2547.48
500	104309.16	119381.17	2549.44	2550.11	2550.48	2550.70	2550.89	2550.89	2547.45
550	104294.25	119428.89	2549.43	2550.09	2550.45	2550.67	2550.87	2550.86	2547.45
600	104279.76	119476.74	2549.41	2550.07	2550.43	2550.65	2550.84	2550.83	2547.39
650	104265.26	119524.60	2549.40	2550.05	2550.40	2550.62	2550.81	2550.80	2547.36
700	104250.70	119572.43	2549.38	2550.02	2550.38	2550.59	2550.78	2550.77	2547.37
750	104235.04	119619.91	2549.37	2550.00	2550.35	2550.56	2550.75	2550.74	2547.32
800	104219.37	119667.40	2549.36	2549.98	2550.33	2550.54	2550.72	2550.72	2547.30
850	104204.96	119715.27	2549.34	2549.96	2550.31	2550.51	2550.69	2550.69	2547.25
900	104190.68	119763.19	2549.33	2549.94	2550.28	2550.48	2550.66	2550.66	2547.27
950	104176.40	119811.11	2549.32	2549.92	2550.25	2550.45	2550.62	2550.62	2547.23
1000	104162.13	119859.03	2549.30	2549.90	2550.23	2550.42	2550.59	2550.59	2547.19
1050	104147.10	119906.71	2549.29	2549.88	2550.20	2550.39	2550.56	2550.56	2547.16
1100	104131.88	119954.34	2549.28	2549.85	2550.18	2550.36	2550.53	2550.53	2547.10
1150	104116.67	120001.97	2549.26	2549.83	2550.15	2550.34	2550.49	2550.49	2547.08
1200	104094.90	120046.90	2549.25	2549.82	2550.13	2550.31	2550.46	2550.46	2547.07
1250	104072.15	120091.42	2549.24	2549.80	2550.10	2550.28	2550.43	2550.43	2547.02
1300	104049.40	120135.95	2549.23	2549.78	2550.08	2550.25	2550.40	2550.40	2547.00
1350	104027.00	120180.65	2549.22	2549.76	2550.06	2550.22	2550.37	2550.37	2546.93
1400	104014.94	120227.05	2549.21	2549.75	2550.04	2550.20	2550.34	2550.35	2547.39
1450	104024.87	120276.05	2549.21	2549.73	2550.02	2550.18	2550.32	2550.32	2547.66
1500	104034.81	120325.06	2549.20	2549.72	2550.00	2550.15	2550.29	2550.30	2547.09
1550	104044.78	120374.05	2549.19	2549.70	2549.97	2550.13	2550.27	2550.27	2547.04
1600	104055.11	120422.97	2549.18	2549.69	2549.95	2550.10	2550.24	2550.24	2547.05
1650	104065.44	120471.89	2549.17	2549.67	2549.92	2550.07	2550.21	2550.21	2547.10
1700	104073.91	120521.17	2549.16	2549.65	2549.90	2550.04	2550.17	2550.18	2547.14
1750	104082.26	120570.47	2549.15	2549.63	2549.87	2550.01	2550.14	2550.15	2547.07
1800	104090.60	120619.77	2549.14	2549.61	2549.84	2549.98	2550.11	2550.12	2546.99
1850	104099.56	120668.95	2549.13	2549.59	2549.81	2549.95	2550.08	2550.09	2547.02
1900	104106.80	120718.33	2549.11	2549.56	2549.77	2549.91	2550.02	2550.03	2546.77
1950	104102.56	120768.02	2549.07	2549.49	2549.68	2549.81	2549.91	2549.93	2546.61
2000	104109.42	120817.49	2549.02	2549.44	2549.63	2549.75	2549.85	2549.86	2547.59
2050	104115.26	120867.06	2549.00	2549.42	2549.61	2549.73	2549.82	2549.84	2546.02
2100	104123.35	120916.38	2548.98	2549.40	2549.59	2549.71	2549.80	2549.82	2547.01
2150	104135.80	120964.71	2548.95	2549.38	2549.56	2549.69	2549.78	2549.80	2546.28
2200	104141.77	121014.27	2548.92	2549.35	2549.54	2549.66	2549.75	2549.78	2546.16
2250	104150.20	121063.55	2548.91	2549.33	2549.51	2549.63	2549.72	2549.76	2546.30
2300	104157.90	121112.91	2548.90	2549.32	2549.49	2549.61	2549.70	2549.74	2546.11
2350	104165.22	121162.33	2548.89	2549.30	2549.47	2549.58	2549.68	2549.72	2546.13
2400	104175.81	121211.03	2548.88	2549.28	2549.45	2549.56	2549.65	2549.70	2546.46
2450	104182.16	121260.55	2548.87	2549.27	2549.43	2549.53	2549.63	2549.69	2546.23

Abscisa (m)	Coordenada		Condición Actual					Condición Futura Tr100 años Futuro	Cota Fondo de Canal
			Tr2.33 años	Tr10 años	Tr25 años	Tr50 años	Tr100 años		
	X-Value	Y-Value	msnm	msnm	msnm		msnm	msnm	
2500	104190.56	121309.72	2548.86	2549.25	2549.40	2549.51	2549.60	2549.67	2546.12
2550	104197.54	121359.10	2548.86	2549.23	2549.38	2549.48	2549.58	2549.65	2545.78
2600	104204.48	121408.49	2548.85	2549.22	2549.35	2549.45	2549.55	2549.64	2546.48
2650	104212.51	121457.64	2548.84	2549.20	2549.34	2549.43	2549.54	2549.62	2546.80
2700	104217.29	121507.06	2548.84	2549.19	2549.32	2549.42	2549.52	2549.61	2546.42
2750	104226.37	121556.13	2548.84	2549.19	2549.31	2549.41	2549.51	2549.61	2546.41
2800	104239.80	121604.04	2548.83	2549.18	2549.30	2549.40	2549.50	2549.60	2546.43
2850	104247.94	121653.19	2548.83	2549.17	2549.29	2549.38	2549.49	2549.59	2545.70
2900	104258.96	121701.76	2548.83	2549.16	2549.28	2549.38	2549.49	2549.59	2546.35
2950	104269.10	121750.41	2548.83	2549.16	2549.27	2549.37	2549.48	2549.59	2546.25
3000	104279.19	121799.29	2548.83	2549.15	2549.26	2549.36	2549.48	2549.58	2545.70
3050	104283.12	121848.48	2548.82	2549.14	2549.25	2549.35	2549.47	2549.57	2545.96
3100	104293.95	121896.45	2548.82	2549.13	2549.23	2549.34	2549.46	2549.57	2546.59
3150	104302.03	121945.72	2548.82	2549.12	2549.22	2549.33	2549.45	2549.56	2546.27
3200	104309.94	121995.01	2548.67	2549.01	2549.14	2549.28	2549.43	2549.55	2546.02
3250	104317.93	122044.23	2548.65	2548.96	2549.10	2549.26	2549.42	2549.54	2546.05
3300	104327.28	122093.13	2548.62	2548.92	2549.08	2549.25	2549.42	2549.54	2546.20
3350	104335.18	122142.14	2548.61	2548.92	2549.08	2549.25	2549.41	2549.54	2546.04
3400	104343.54	122191.22	2548.59	2548.92	2549.08	2549.25	2549.41	2549.54	2545.77
3450	104346.35	122240.01	2548.55	2548.92	2549.09	2549.26	2549.41	2549.54	2545.69
3500	104296.85	122247.00			2548.99	2549.21	2549.39	2549.52	2548.91
3550	104247.24	122253.18	2547.90	2548.60	2548.96	2549.19	2549.37	2549.50	2547.88
3600	104204.56	122278.32	2547.69	2548.56	2548.93	2549.16	2549.35	2549.48	2547.33
3650	104160.44	122300.87	2547.66	2548.54	2548.91	2549.14	2549.33	2549.47	2547.13
3700	104116.58	122324.47	2547.63	2548.52	2548.90	2549.13	2549.32	2549.46	2545.90
3750	104072.69	122348.17	2547.61	2548.49	2548.87	2549.11	2549.30	2549.44	2546.43
3800	104035.63	122380.03	2547.55	2548.44	2548.83	2549.06	2549.25	2549.39	2545.77
3850	104002.55	122414.18	2547.52	2548.39	2548.77	2549.00	2549.20	2549.34	2545.57
3900	104015.79	122456.44	2547.49	2548.35	2548.73	2548.96	2549.15	2549.29	2545.37
3950	104020.29	122503.34	2547.46	2548.30	2548.66	2548.88	2549.06	2549.20	2546.44
4000	104021.66	122552.22	2547.42	2548.23	2548.58	2548.79	2548.95	2549.08	2545.78
4050	104019.97	122601.37	2547.39	2548.17	2548.51	2548.71	2548.86	2548.99	2545.41
4100	103992.15	122641.57	2547.35	2548.08	2548.41	2548.61	2548.77	2548.90	2545.70
4150	103948.91	122665.77	2547.31	2547.99	2548.32	2548.52	2548.68	2548.81	2545.58
4200	103940.71	122710.62	2547.27	2547.90	2548.24	2548.44	2548.60	2548.73	2545.26
4250	103965.85	122751.96	2547.23	2547.84	2548.18	2548.38	2548.54	2548.67	2545.55
4300	103980.70	122797.85	2547.18	2547.78	2548.13	2548.33	2548.49	2548.62	2545.34
4350	103983.41	122847.45	2547.14	2547.75	2548.10	2548.30	2548.46	2548.59	2545.28
4400	104002.69	122893.38	2547.08	2547.73	2548.08	2548.29	2548.44	2548.57	2544.96
4450	103989.59	122939.18	2547.05	2547.73	2548.08	2548.28	2548.44	2548.56	2545.17
4500	104006.59	122983.83	2547.04	2547.73	2548.08	2548.28	2548.43	2548.56	2544.64
4550	104027.20	123028.92	2547.03	2547.73	2548.08	2548.28	2548.43	2548.56	2544.15
4600	104042.05	123075.57	2547.03	2547.73	2548.08	2548.28	2548.43	2548.56	2545.56
4650	104065.67	123119.10	2547.03	2547.73	2548.08	2548.27	2548.43	2548.55	2544.89
4700	104094.58	123159.59	2547.03	2547.72	2548.07	2548.27	2548.42	2548.55	2543.95
4750	104090.16	123207.32	2547.03	2547.72	2548.07	2548.27	2548.42	2548.54	2543.81

Abscisa (m)	Coordenada		Condición Actual					Condición Futura Tr100 años Futuro	Cota Fondo de Canal
			Tr2.33 años	Tr10 años	Tr25 años	Tr50 años	Tr100 años		
	X-Value	Y-Value	msnm	msnm	msnm		msnm	msnm	
4800	104080.58	123255.21	2547.03	2547.71	2548.06	2548.25	2548.40	2548.52	2543.79
4850	104062.88	123301.27	2547.02	2547.69	2548.04	2548.22	2548.36	2548.48	2543.78
4900	104048.41	123347.38	2547.00	2547.66	2548.00	2548.18	2548.32	2548.43	2543.66
4950	104054.47	123396.92	2546.99	2547.64	2547.97	2548.15	2548.28	2548.39	2543.43
5000	104069.07	123444.46	2546.99	2547.63	2547.95	2548.13	2548.25	2548.36	2543.66
5050	104085.16	123491.80	2546.98	2547.60	2547.93	2548.10	2548.23	2548.34	2543.64
5100	104101.92	123538.82	2546.97	2547.58	2547.91	2548.08	2548.21	2548.32	2543.58
5150	104118.61	123585.84	2546.96	2547.56	2547.89	2548.06	2548.19	2548.30	2543.64
5200	104145.60	123627.28	2546.94	2547.52	2547.85	2548.03	2548.16	2548.27	2543.43
5250	104172.62	123669.14	2546.94	2547.51	2547.84	2548.02	2548.15	2548.26	2543.48
5300	104203.90	123707.59	2546.94	2547.51	2547.83	2548.01	2548.14	2548.25	2543.48
5350	104229.48	123750.21	2546.93	2547.50	2547.82	2547.99	2548.11	2548.22	2543.45
5400	104246.12	123797.20	2546.93	2547.50	2547.81	2547.97	2548.09	2548.20	2543.35
5450	104265.70	123843.18	2546.93	2547.49	2547.80	2547.96	2548.08	2548.19	2543.54
5500	104281.60	123890.43	2546.93	2547.49	2547.80	2547.96	2548.07	2548.18	2543.51
5550	104290.21	123939.66	2546.93	2547.49	2547.79	2547.95	2548.06	2548.17	2543.48
5600	104299.24	123988.79	2546.93	2547.48	2547.79	2547.94	2548.05	2548.15	2543.27
5650	104305.12	124038.41	2546.93	2547.48	2547.78	2547.93	2548.03	2548.14	2543.25
5700	104319.13	124086.32	2546.93	2547.47	2547.76	2547.91	2548.01	2548.11	2543.20
5750	104331.71	124134.68	2546.92	2547.46	2547.74	2547.88	2547.98	2548.07	2543.26
5800	104342.97	124183.22	2546.92	2547.46	2547.73	2547.87	2547.96	2548.06	2543.04
5850	104352.94	124232.16	2546.92	2547.45	2547.73	2547.86	2547.95	2548.05	2542.98
5900	104361.35	124281.44	2546.92	2547.45	2547.72	2547.85	2547.94	2548.04	2542.95
5950	104370.57	124330.57	2546.92	2547.45	2547.72	2547.85	2547.93	2548.02	2543.16
6000	104380.23	124379.45	2546.92	2547.44	2547.71	2547.83	2547.92	2548.01	2542.97
6050	104384.33	124429.06	2546.92	2547.44	2547.70	2547.82	2547.90	2547.99	2542.92
6100	104372.92	124477.35	2546.91	2547.43	2547.69	2547.81	2547.89	2547.97	2542.87
6150	104351.22	124522.37	2546.91	2547.43	2547.69	2547.80	2547.88	2547.96	2542.91
6200	104337.74	124569.84	2546.91	2547.43	2547.68	2547.80	2547.87	2547.96	2542.98
6250	104342.67	124619.26	2546.80	2546.86	2546.93	2547.01	2547.08	2547.15	2542.23
6300	104348.68	124668.78	2546.80	2546.86	2546.93	2547.00	2547.07	2547.14	2542.17
6350	104357.10	124718.02	2546.80	2546.86	2546.93	2546.99	2547.06	2547.13	2542.20
6400	104362.59	124767.48	2546.80	2546.85	2546.92	2546.99	2547.05	2547.12	2542.16
6450	104369.45	124816.91	2546.81	2546.86	2546.93	2546.99	2547.04	2547.11	2542.32
6500	104375.04	124866.59	2546.84	2546.89	2546.95	2547.01	2547.03	2547.10	2542.25
6550	104383.15	124915.78	2546.98	2547.04	2547.11	2547.15	2547.16	2547.16	2542.40
6600	104358.70	124951.24	2547.09	2547.07	2547.06	2547.07	2547.07	2547.08	2542.34
6650	104311.67	124967.42	2546.83	2546.84	2546.88	2546.92	2546.95	2547.00	2542.03
6700	104264.81	124983.48	2546.84	2546.82	2546.86	2546.90	2546.94	2546.99	2541.91
6750	104227.70	125015.71	2546.81	2546.82	2546.85	2546.89	2546.93	2546.98	2542.02
6800	104199.56	125057.01	2546.80	2546.82	2546.85	2546.89	2546.93	2546.98	2541.95
6850	104168.40	125096.12	2546.80	2546.81	2546.85	2546.88	2546.92	2546.97	2542.20
6900	104145.51	125139.64	2546.80	2546.81	2546.85	2546.88	2546.92	2546.96	2542.20
6950	104141.14	125189.22	2546.80	2546.81	2546.85	2546.88	2546.91	2546.96	2542.25
7000	104135.64	125238.53	2546.79	2546.81	2546.84	2546.88	2546.91	2546.95	2542.13
7050	104125.30	125287.44	2546.79	2546.81	2546.84	2546.87	2546.91	2546.95	2542.37

Abscisa (m)	Coordenada		Condición Actual					Condición Futura Tr100 años Futuro	Cota Fondo de Canal
			Tr2.33 años	Tr10 años	Tr25 años	Tr50 años	Tr100 años		
	X-Value	Y-Value	msnm	msnm	msnm		msnm	msnm	
7100	104115.74	125336.50	2546.79	2546.81	2546.84	2546.87	2546.90	2546.94	2542.38
7150	104105.32	125385.35	2546.79	2546.81	2546.84	2546.87	2546.90	2546.94	2542.30
7200	104094.65	125434.10	2546.79	2546.81	2546.83	2546.86	2546.90	2546.93	2542.27
7250	104082.56	125482.55	2546.79	2546.80	2546.83	2546.86	2546.89	2546.93	2542.02
7300	104073.21	125531.47	2546.79	2546.80	2546.83	2546.86	2546.89	2546.93	2541.99
7350	104069.08	125581.27	2546.79	2546.80	2546.82	2546.85	2546.89	2546.92	2542.18
7400	104063.62	125630.94	2546.79	2546.80	2546.82	2546.85	2546.88	2546.92	2541.72
7450	104057.77	125680.60	2546.78	2546.80	2546.82	2546.85	2546.88	2546.91	2541.77
7500	104052.92	125730.31	2546.78	2546.80	2546.82	2546.84	2546.87	2546.90	2541.94
7550	104030.64	125774.16	2546.78	2546.80	2546.82	2546.84	2546.87	2546.90	2541.93
7600	104000.59	125814.13	2546.78	2546.79	2546.81	2546.84	2546.86	2546.89	2541.89
7650	103972.28	125855.33	2546.78	2546.79	2546.81	2546.83	2546.86	2546.89	2541.86
7700	103943.18	125895.99	2546.78	2546.79	2546.81	2546.83	2546.85	2546.88	2541.91
7750	103913.88	125936.51	2546.78	2546.79	2546.81	2546.82	2546.85	2546.87	2541.89
7800	103884.47	125976.94	2546.78	2546.79	2546.80	2546.82	2546.84	2546.86	2542.01
7850	103854.66	126017.09	2546.78	2546.79	2546.80	2546.81	2546.83	2546.85	2541.73
7900	103824.86	126057.23	2546.78	2546.79	2546.80	2546.81	2546.82	2546.84	2541.77
7950	103795.39	126097.62	2546.78	2546.79	2546.79	2546.80	2546.81	2546.83	2541.80
8000	103766.07	126138.12	2546.78	2546.78	2546.79	2546.79	2546.80	2546.81	2542.12
8050	103737.46	126179.06	2546.78	2546.78	2546.78	2546.78	2546.78	2546.79	2542.80

Fuente: WSP, 2020.

Las áreas de inundación y volúmenes de agua a almacenar y/o amortiguar en el sistema del humedal Torca-Guaymaral se estableció a partir de las superficies de profundidad de inundación recortadas al área asociada a los humedales en cada uno de los periodos de retorno mencionados y haciendo uso de la herramienta Surface Volumen de la extensión 3DAnalyst del programa computacional ARCGIS 10.5.1 se calculó el total de agua que debería ser almacenado y su extensión, encontrando los resultados que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Volumen por almacenar en los humedales

EVENTO HIDROLÓGICO	ÁREA DE INUNDACIÓN (m2)	VOLUMEN POR ALMACENAR (m3)
Funcional	330,882	271,392
Tr 2.33 Actual	451.318	381.165
Tr 10 Actual	691.645	691.305
Tr 25 Actual	826.452	895.416
Tr 50 Actual	912.962	1.045.278
Tr 100 Actual	970.458	1.179.519
Tr 100 Futuro	1.003.761	1.275.392

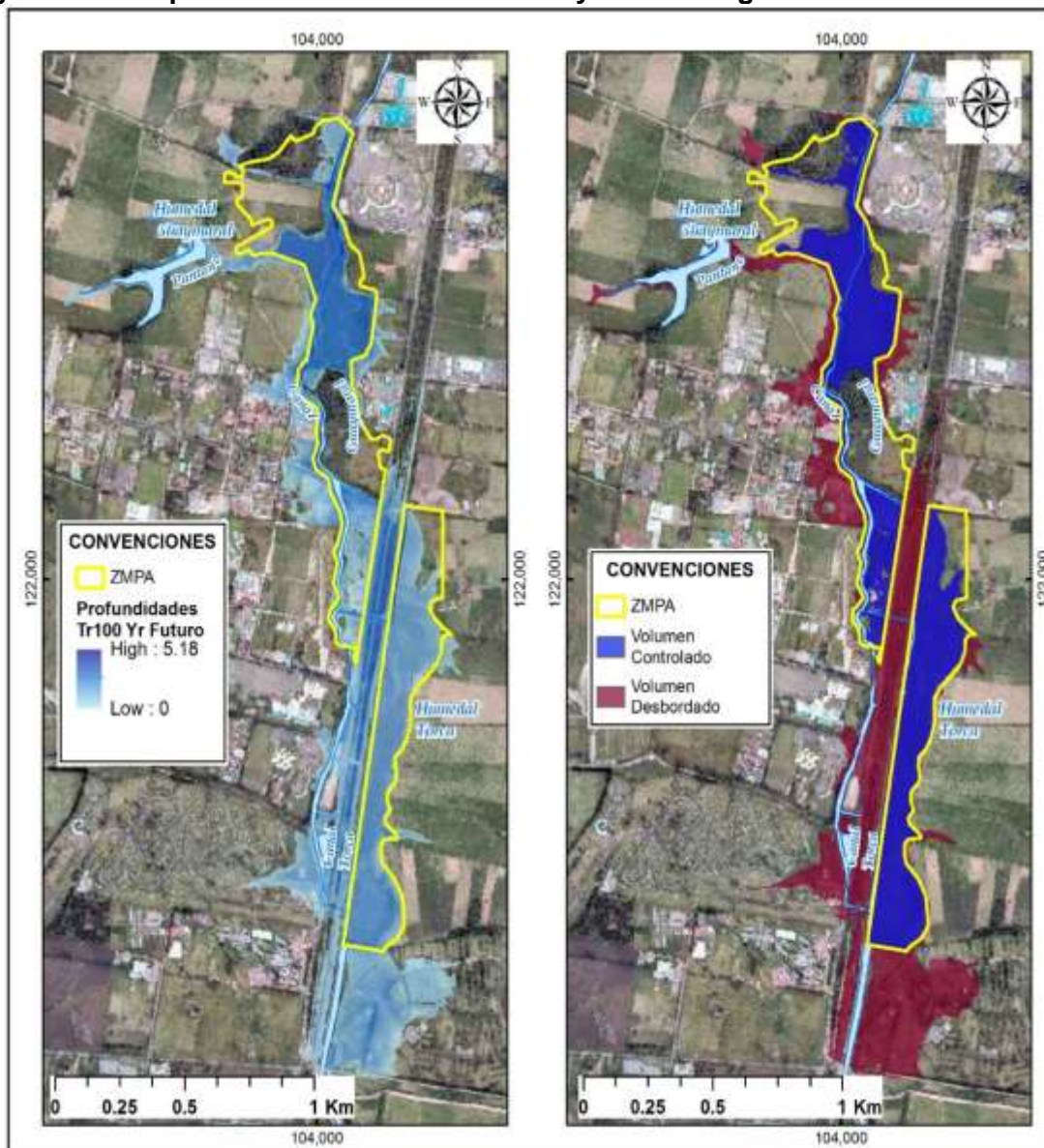
Fuente: WSP, 2020.

Identificado el volumen por almacenar en cada área del Humedal, el siguiente paso fue determinar cuánto de ese volumen es almacenado hasta la límite que bordea la ZMPA, ya que la cantidad allí reportada se considera el volumen que debería estar controlado, es

decir confinado por dicho límite teórico, mientras que el exceso, es decir el volumen ocupado por fuera de este límite, corresponde a la cantidad de agua que se desborda para un evento en particular y que constituye el volumen adicional que debería tener el humedal para confinarlo dentro de su límite de ZMPA, sin que se requiera extender este límite legal. Esto implica que las necesidades de amortiguación, deben estar provistas por el mismo humedal en áreas que así lo permitan o que hayan sido objeto de intervención.

Para hacer estos cálculos se utiliza la información de profundidades de la lámina de agua generada por el modelo, como se presenta de ejemplo en la Figura 45, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 10.

Figura 45. Comparación de áreas inundables y el límite legal del Humedal



Fuente: WSP, 2020.

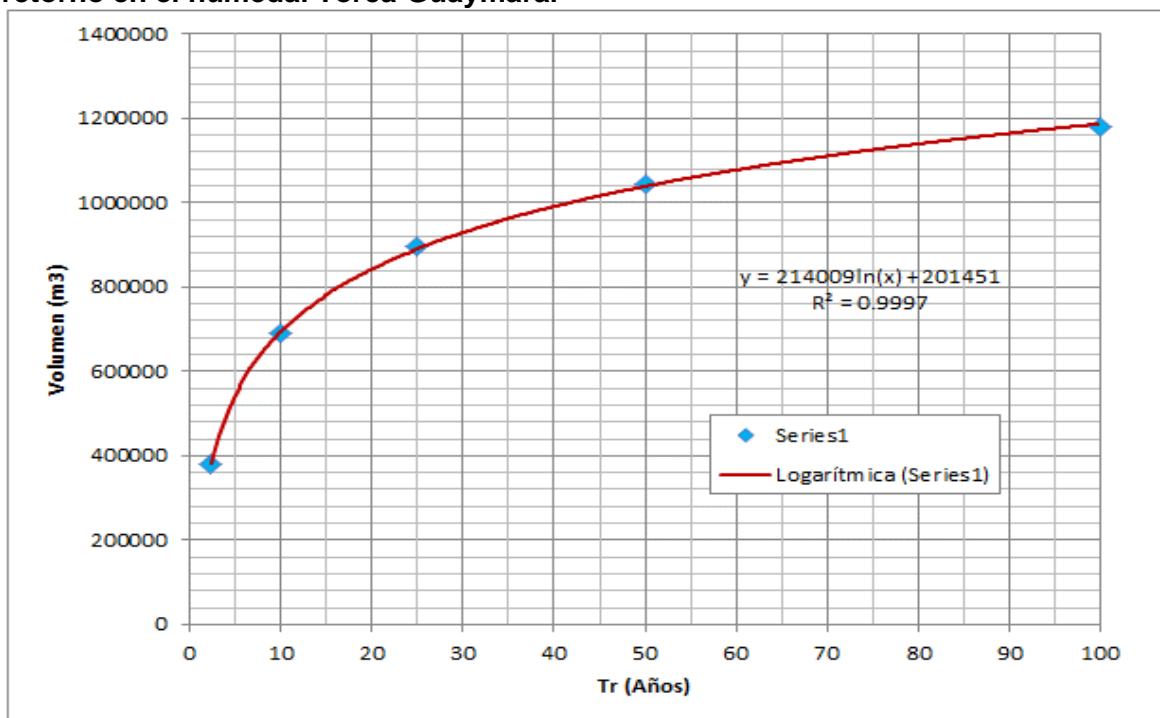
Tabla 10. Volumen Almacenamiento ZMPA y Desbordamiento

EVENTO	ÁREA DE INUNDACIÓN DENTRO DE ZMPA (m ²)	VOLUMEN ALMACENANADO EN ZMPA (m ³)	VOLUMEN DESBORDADO (m ³)
Tr 2.33 años	343,496	322,239	58,926
Tr 10 años	418,586	519,846	171,459
Tr 25 años	457,058	630,243	265,173
Tr 50 años	487,648	708,412	336,866
Tr 100 años Condición actual	508,338	776,645	402,874
Tr 100 años Condición Futura	521,750	828,696	446,695

Fuente: WSP, 2020.

A manera de evaluación de la capacidad actual de amortiguamiento del Humedal y a partir de los datos de volumen de almacenamiento para cada período de retorno, se buscó establecer el período de retorno para el cual el sistema hídrico funciona sin generar desbordamientos en los sectores del humedal Torca o Guaymaral. Para ello se procedió a generar una curva de regresión con los datos de los volúmenes de la Tabla 10, como se ilustra en la Figura 46, de la cual se estima que para un evento hidrológico con un volumen de 271.392 m³, el período de retorno o la frecuencia funcional del sistema sin desbordes es de solo 1.38 años.

Figura 46. Curva de regresión para volúmenes de almacenamiento y períodos de retorno en el humedal Torca-Guaymaral



Fuente: WSP, 2020.

De igual manera, a partir de los análisis anteriores, se puede llegar a establecer las cotas de desborde a lo largo de los dos sectores del humedal, como se ilustra en la Figura 47 y la Figura 48 a la Figura 50.

Figura 47. Área de inundación al inicio de desborde del humedal, sector Torca

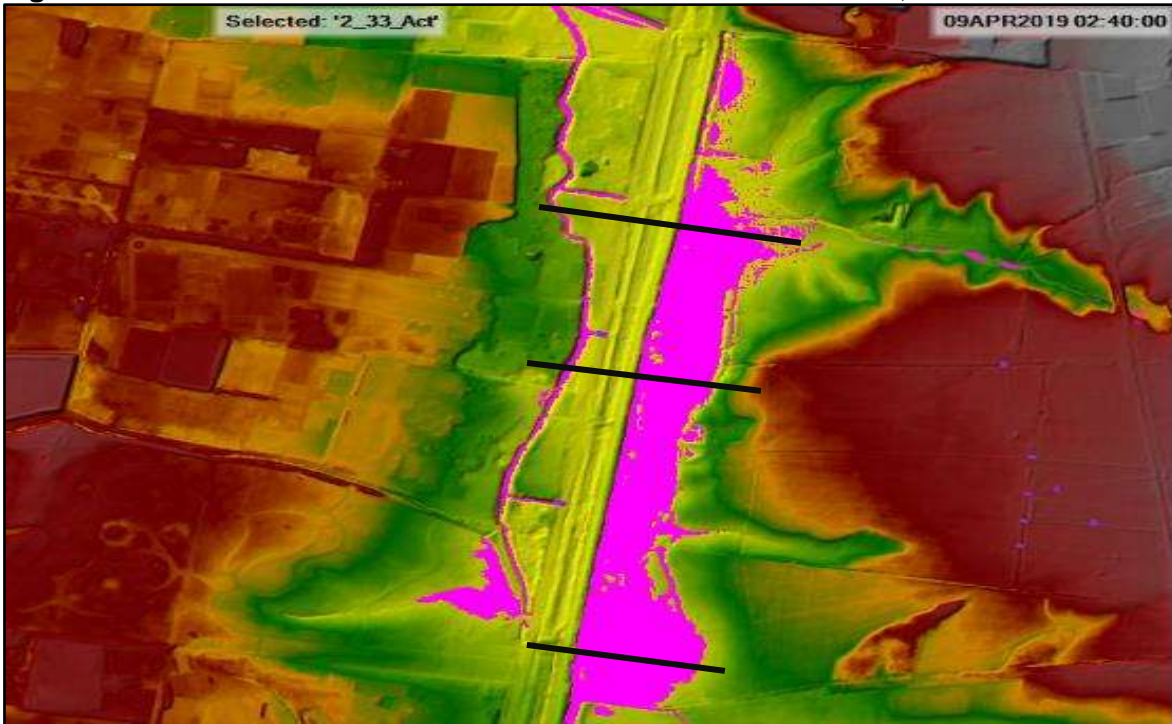
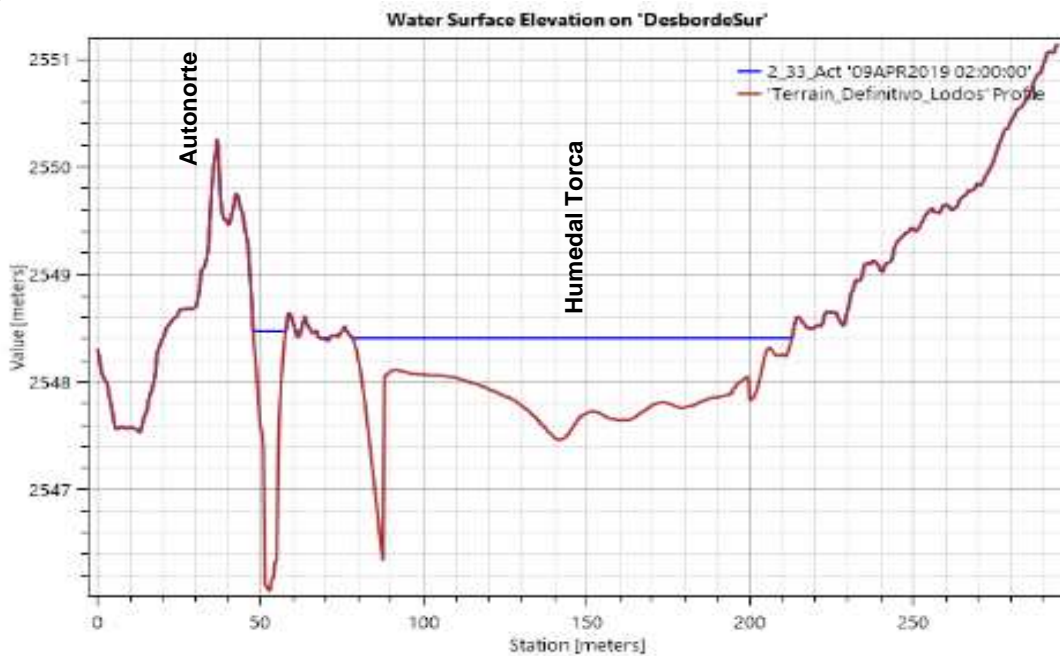
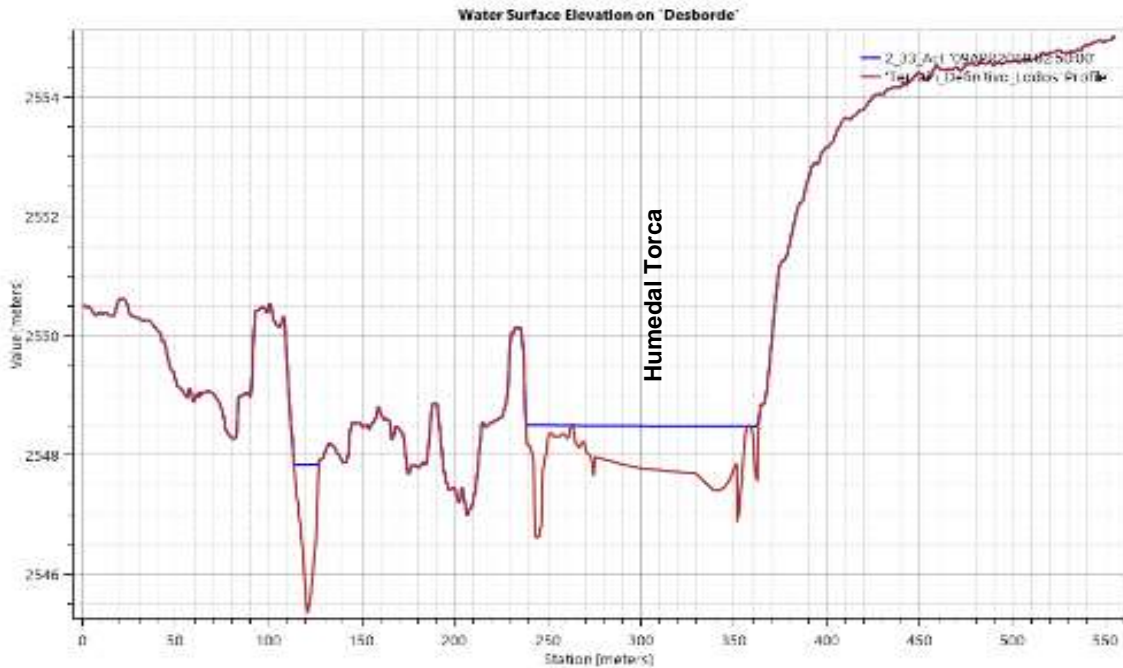


Figura 48. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector sur Torca



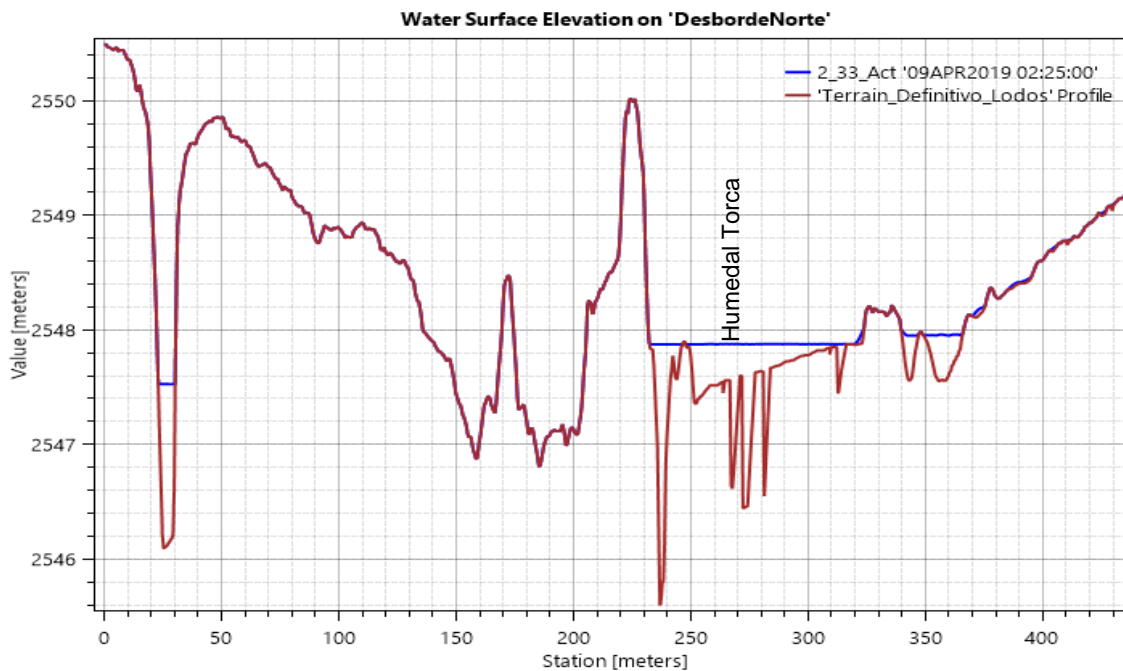
Humedal Torca Zona Centro: Cota desborde 2548.49 msnm

Figura 49. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector centro Torca



Humedal Torca Zona Centro: Cota desborde 2548.43 msnm

Figura 50. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector norte Torca



Humedal Torca Zona Norte: Cota desborde 2547.88 msnm

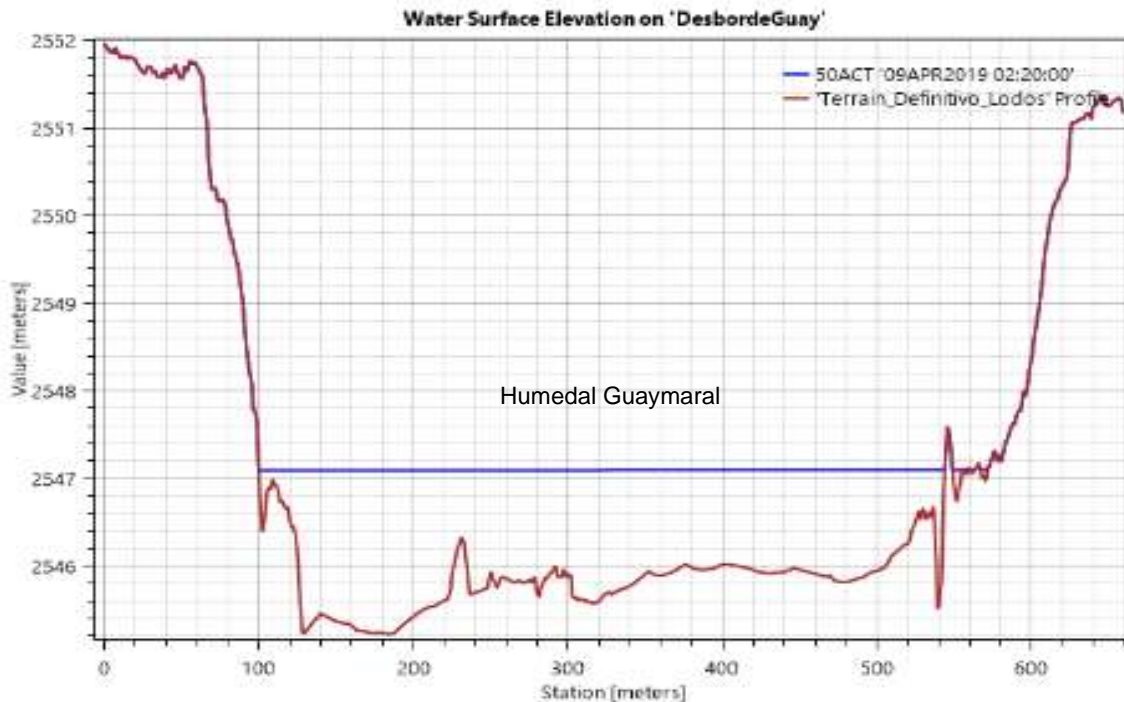
Para el sector Guaymaral del humedal, el área inundable de inicio del desborde es el que se muestra en la Figura 51 y en la Figura 52.

Figura 51. Área de inundación al inicio de desborde del humedal, sector Guaymaral



Humedal Torca Guaymaral: Cota desborde 2547.10 m.s.n.m

Figura 52. Perfil de inundación de inicio de desborde del humedal, sector Guaymaral



De este análisis se observa que se requerirá de modificaciones a la geometría del canal actual de desagüe de todo el sistema, especialmente en la zona del Humedal, con el objeto de garantizar la ocurrencia de la dinámica hídrica requerida para la restauración ecosistémica del cuerpo léntico. Esta adecuación debe permitir dar continuidad a los flujos de agua longitudinales del sistema hídrico, garantizando la cantidad, calidad y conectividad del agua, con miras a seguir modelando el paisaje y prestando los servicios ecosistémicos.

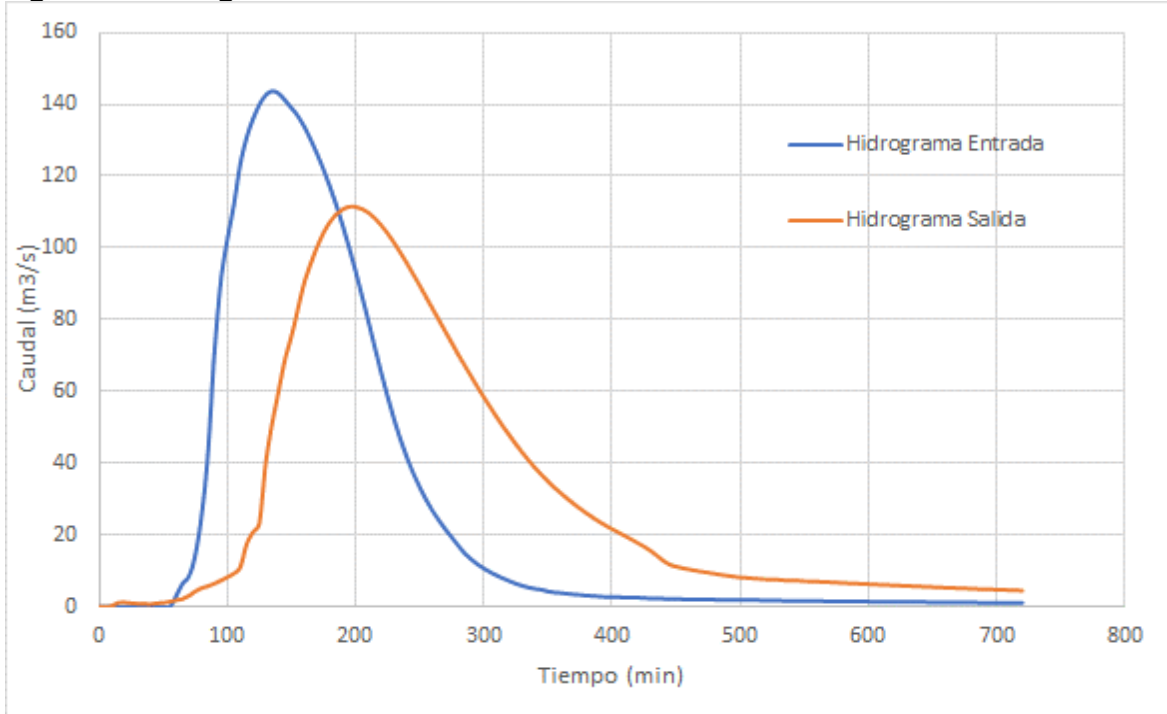
6.3.1.8.1 Estimación del volumen de almacenamiento requerido

A partir de los resultados de los análisis hidráulicos llevados a cabo en el Componente Hidrológico e Hidráulico, en los humedales con las condiciones topográficas actuales Torca), se generan los hidrogramas en el sitio de entrada y salida de este cuerpo de agua (Humedal Torca), que se muestra en la Figura 53, en el cual se evidencia la capacidad de amortiguación del vaso actual, aun con las condiciones de sedimentación que este presenta, además de su extensión espacial.

El volumen de amortiguación estimado para el Humedal Torca, a partir de las dos curvas es de aproximadamente 444.271 m³.

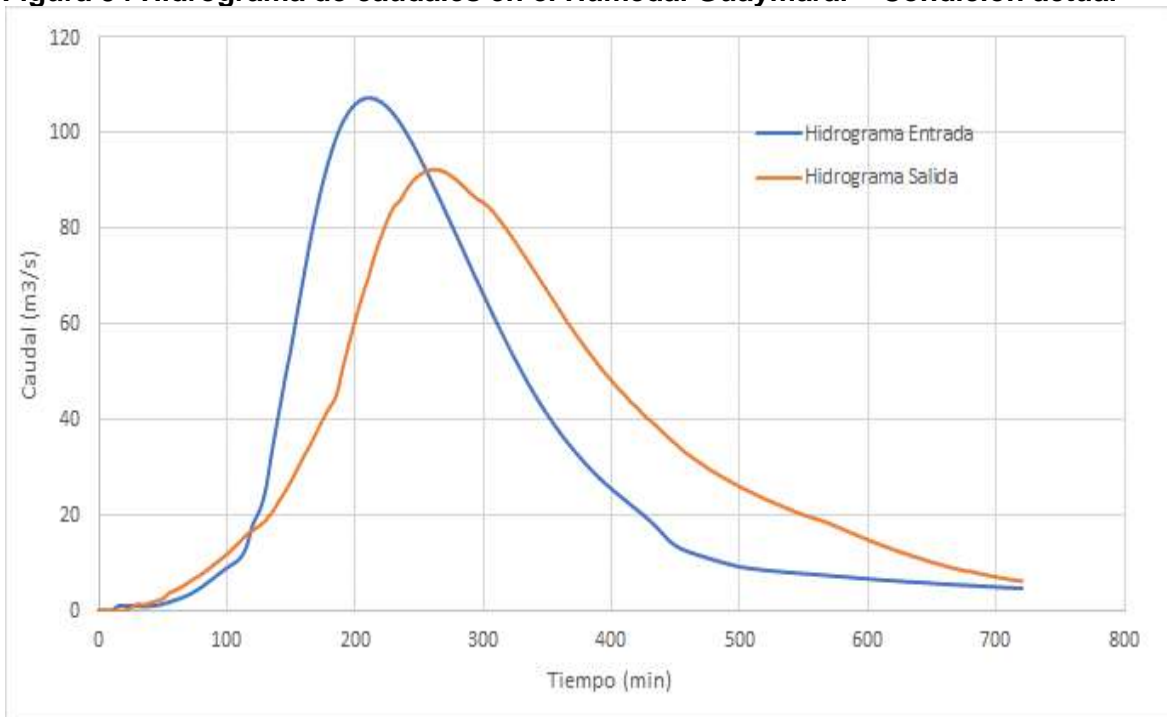
En cuanto al Humedal Guaymaral, el hidrograma mostrado en la Figura 54 indica que los picos un almacenamiento en la zona inundable de este humedal, representado por la atenuación en el pico de la creciente a la salida de este.

Figura 53 Hidrograma de caudales del Humedal Torca – Condición actual



Fuente: WSP; 2020

Figura 54 Hidrograma de caudales en el Humedal Guaymaral – Condición actual



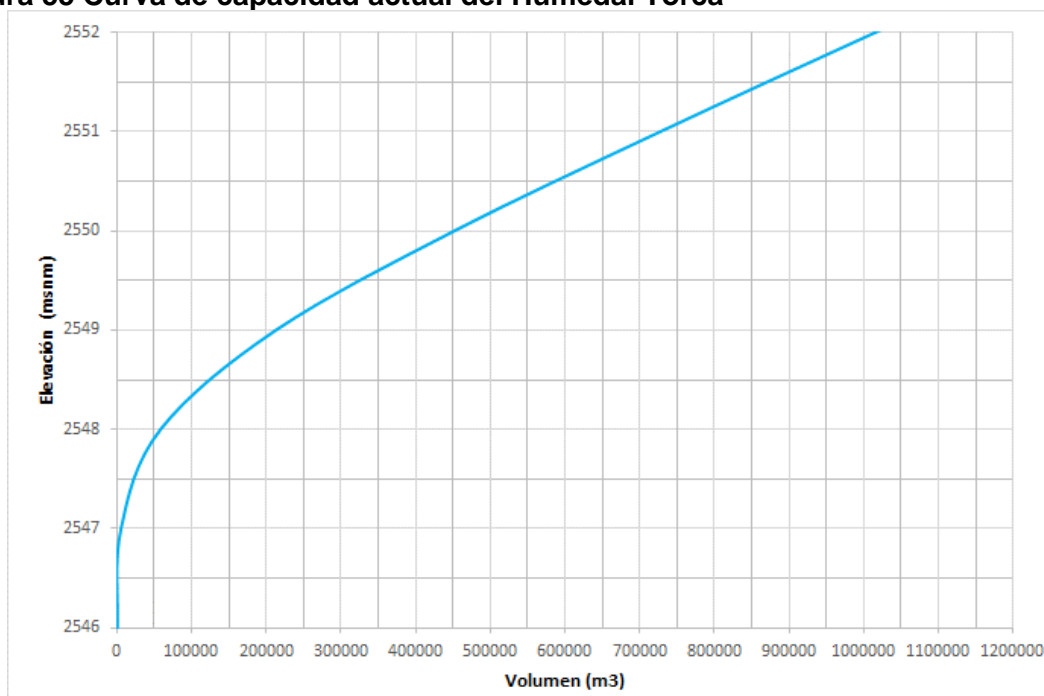
Fuente: WSP; 2020

Para el caso del Humedal Guaymaral y según las alteraciones a su capacidad que se han descrito previamente, la capacidad de amortiguamiento actual es de solo 233.262 m³.

Tal como se evidencia en las figuras anteriores, es importante mencionar que el Humedal Torca y Guaymaral presentan muy poca capacidad de amortiguamiento, es decir, no está cumpliendo con una de las principales funciones de los humedales como lo es amortiguar crecientes.

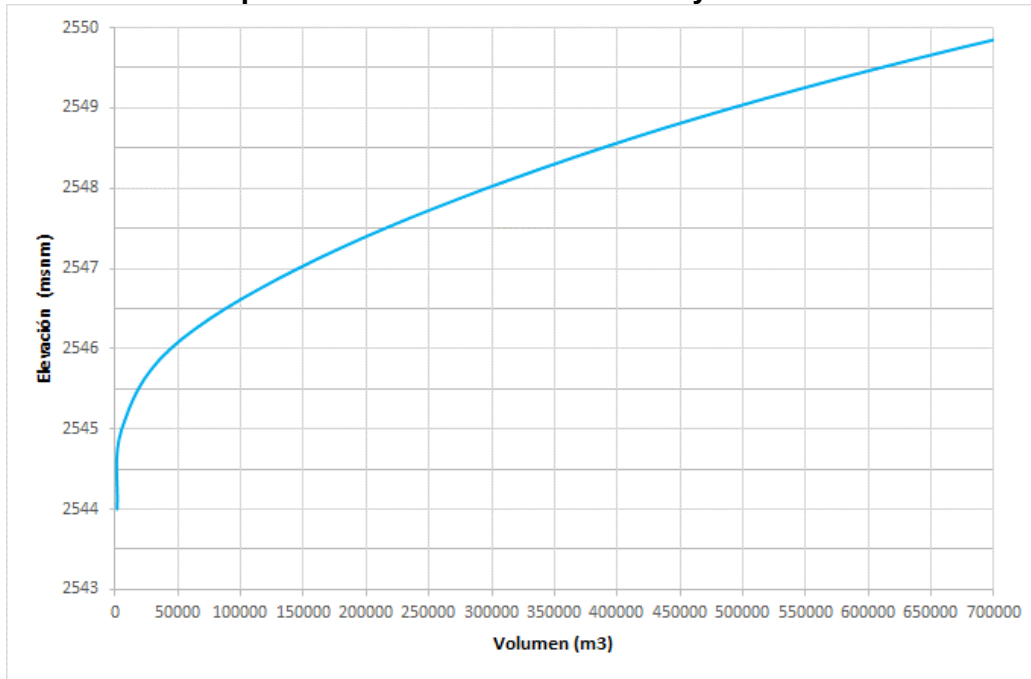
De esta manera el volumen total almacenado en el sistema es de aproximadamente 677.533 m³. Las curvas de capacidad actual de los humedales Torca y Guaymaral, es la que se presenta en la Figura 55 y la Figura 56.

Figura 55 Curva de capacidad actual del Humedal Torca



Fuente: WSP; 2020

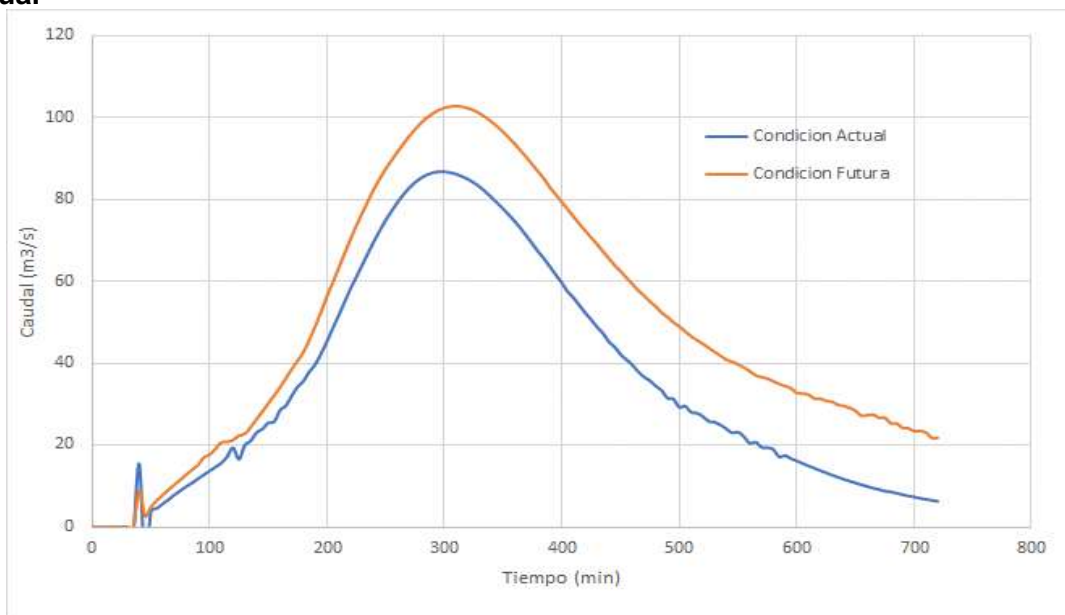
Figura 56 Curva de capacidad actual del Humedal Guaymaral



Fuente: WSP; 2020

Ahora, con respecto a la entrega de la creciente al Río Bogotá, en la Figura 57 se presentan los hidrogramas de entrega desde el sistema Torca-Guaymaral a través del canal Guaymaral, para la condición futura que, como resultado de la urbanización, se prevé, pero sin tener en cuenta obras de adecuación en el Humedal.

Figura 57 Hidrograma de caudales en la desembocadura al Río Bogotá – Condición actual



Fuente: WSP; 2020

A pesar de este incremento, y como se observó en el perfil de flujo para todos los escenarios modelados, inclusive aquel que tiene como condición de control el nivel de los jarillones proyectados para la adecuación del Río Bogotá, no muestran una gran influencia de los niveles del río en el comportamiento hidráulico de la zona en estudio.

Para la determinación del volumen de almacenamiento de agua requerido se partió de los niveles de inundación para el evento de creciente con Tr de 100 años, llevado a cabo para la condición morfológica actual. Para la estimación de la condición de amortiguamiento actual del Humedal, mediante técnicas de análisis espacial de ArcGis, se estimó el volumen total que tiene el evento para la lámina total de inundación generada. En este escenario el volumen asciende a **1.275.392** m³. Por otro lado, se ha calculado el volumen de agua que en la actualidad reciben los humedales hasta el límite normativo definido hasta el momento, es decir el agua que sobre el área de los humedales reposaría. Este volumen es de **828.696** m³, con lo cual el volumen que se requiere almacenar dentro de esta misma área es la diferencia entre los dos valores anteriores; es decir un volumen de **446.695** m³. Este volumen es el que se estima a nivel del Diagnóstico, lo que inicialmente debe garantizarse dentro de las posibles zonas de intervención y/o adecuación, dentro de los límites del Humedal.

6.3.1.8.2 Áreas propuestas para reconfiguración hidrogeomorfológica en el Humedal

Dentro de los análisis de geomorfología y dinámica de la zona, así como desde el punto de vista de coberturas y las visitas de inspección realizadas por esta Consultoría, se identificaron algunas áreas aptas para la adecuación, reconfiguración o rehabilitación del cuerpo de agua del humedal, que en la actualidad han sufrido alteraciones a su morfología y que corresponden a las indicadas en la Figura 58 por colores.

Figura 58. Áreas preseleccionadas para adecuación hidrogeomorfológica del Humedal Torca-Guaymaral

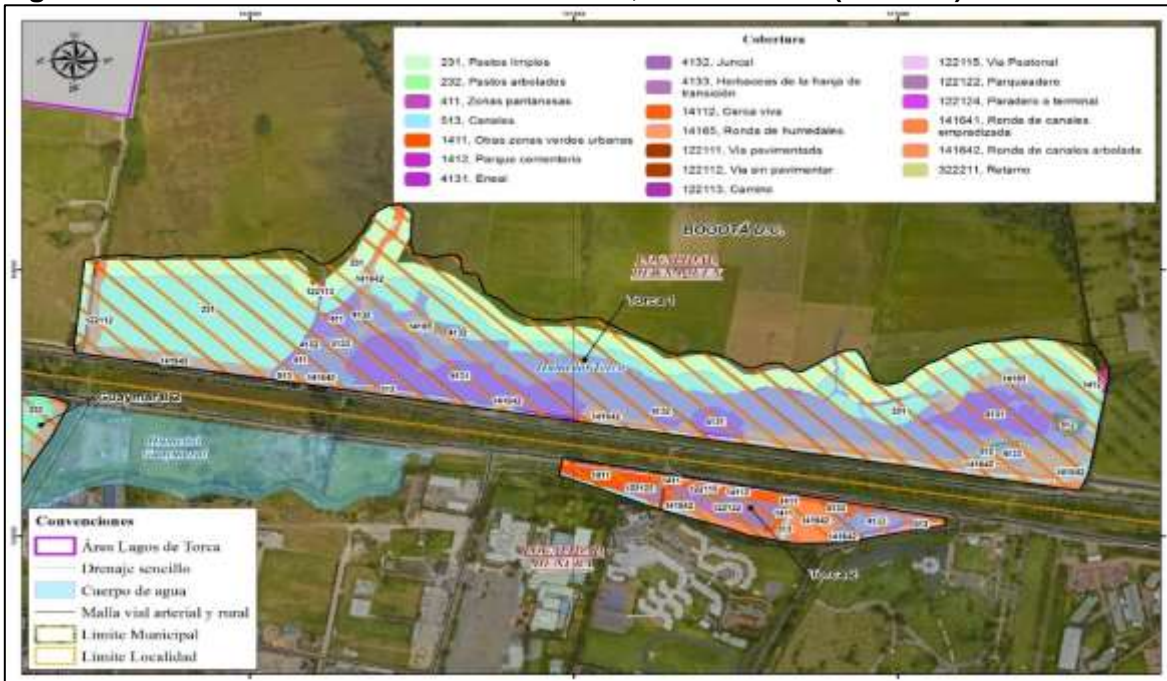


Fuente: WSP; 2020

La definición de estas áreas se hizo teniendo en cuenta las condicionantes establecidas en el Decreto 088 de 2017, acerca de que las intervenciones se llevarán a cabo dentro de los límites de la ZMPA establecidos normativamente por la SDA y definidas en el Decreto 190 de 2004, como estructura Ecológica Principal.

Con el objeto de establecer la posibilidad de intervención se realizaron los mapas de cobertura de estas áreas, con los resultados que se muestran en la Figura 59 a la Figura 63.

Figura 59 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Torca (Torca_1)



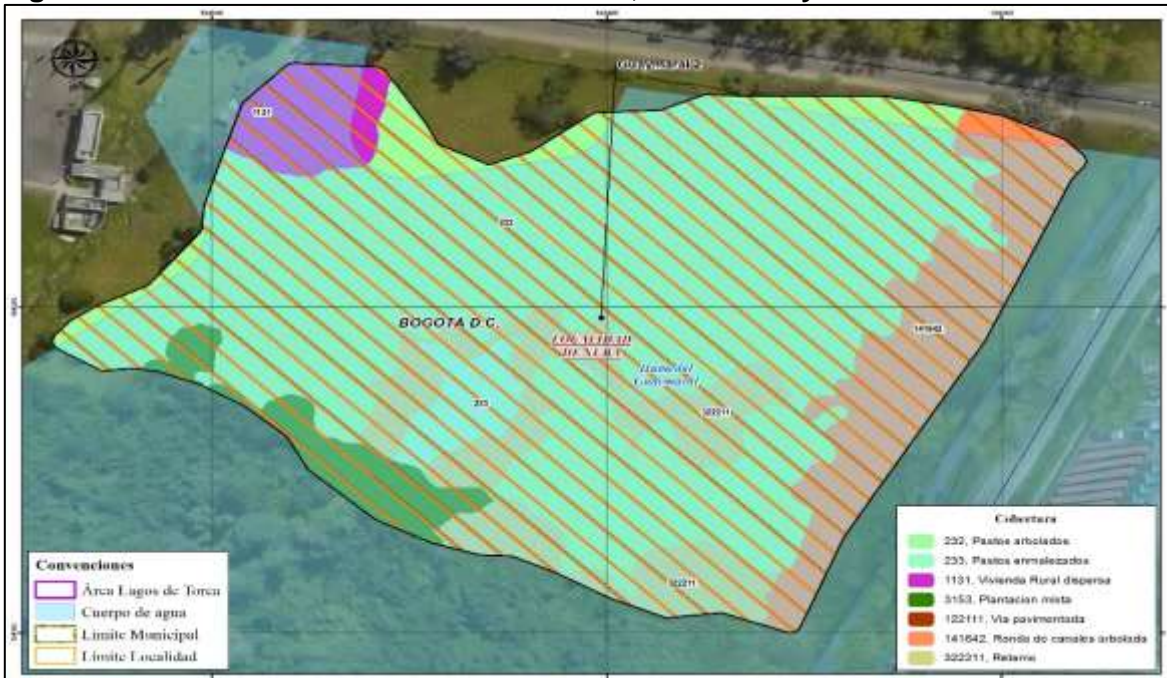
Fuente: WSP, 2020.

Figura 60 Coberturas de suelo en el Humedal, Sectores Guaymaral_1 y Guaymaral_2



Fuente: WSP, 2020.

Figura 61 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Guaymaral_3



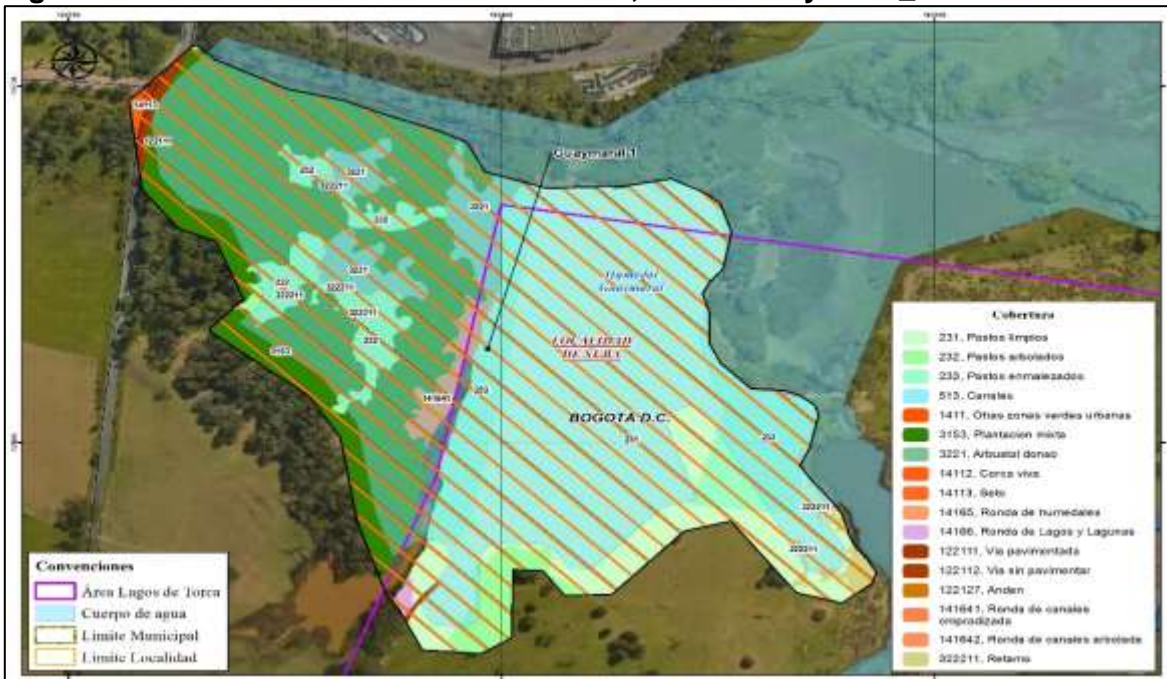
Fuente: WSP, 2020.

Figura 62 Coberturas de suelo en el Humedal, sector Guaymaral_4



Fuente: WSP, 2020.

Figura 63 Coberturas de suelo en el Humedal, Sector Guaymaral_5



Fuente: WSP, 2020.

Las áreas que se han evaluado como disponibles para la ubicación de estas zonas de amortiguamiento temporal con las que se ilustran en la Tabla 11. La estimación de los volúmenes disponibles se realizó para la condición de un nivel base de agua definido por

la máxima cota antes de desborde del canal de drenaje, sea del sector Torca o del sector Guaymaral, cada uno localizado al oriente y al occidente de la Autopista Norte, respectivamente.

Tabla 11 Estimación de volúmenes disponibles - adecuación geomorfológica de Humedales

SECTOR A INTERVENIR	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO ESTIMADO (m3)	AREAS DE RECONFORMACION DENTRO DE ZMPA
		(m2)
Torca_1	90,268	92,750
Guaymaral_1	26,082	11,764
Guaymaral_2	79,757	48,466
Guaymaral_3_4	144,771	48,155
Guaymaral_5	61,400	101,566
*Canal Guaymaral Sector K0+00-K0+980	37,540	-
TOTAL	439,818	308,752
VOLUMEN REQUERIDO	446,695	-
DIFERENCIA (-)	6,877	-

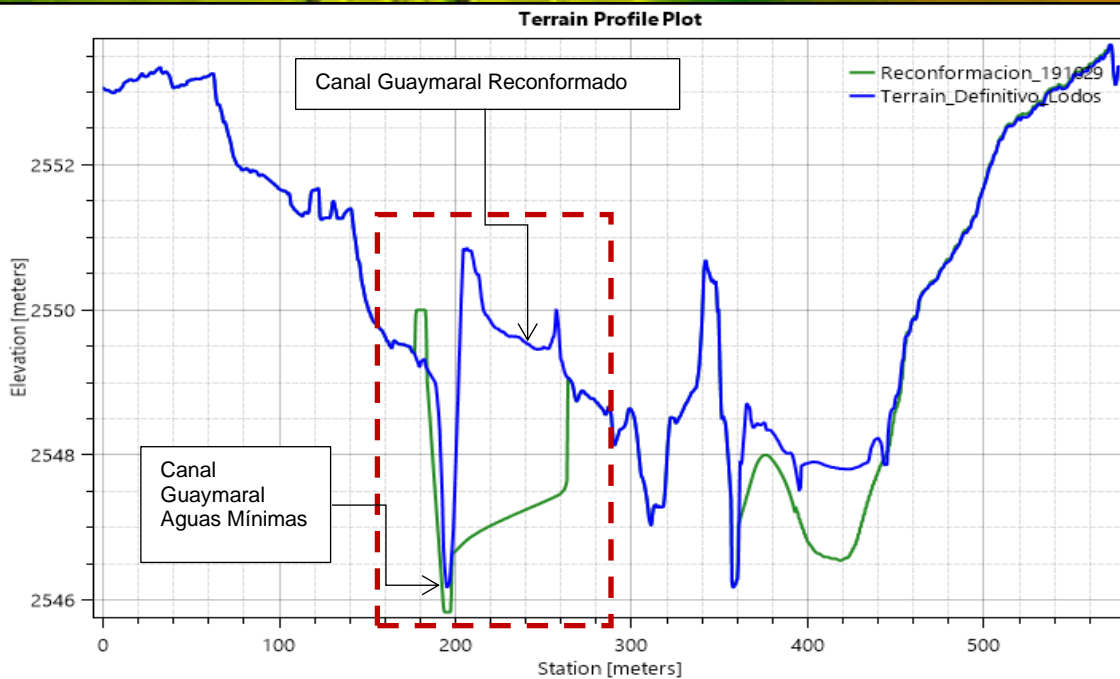
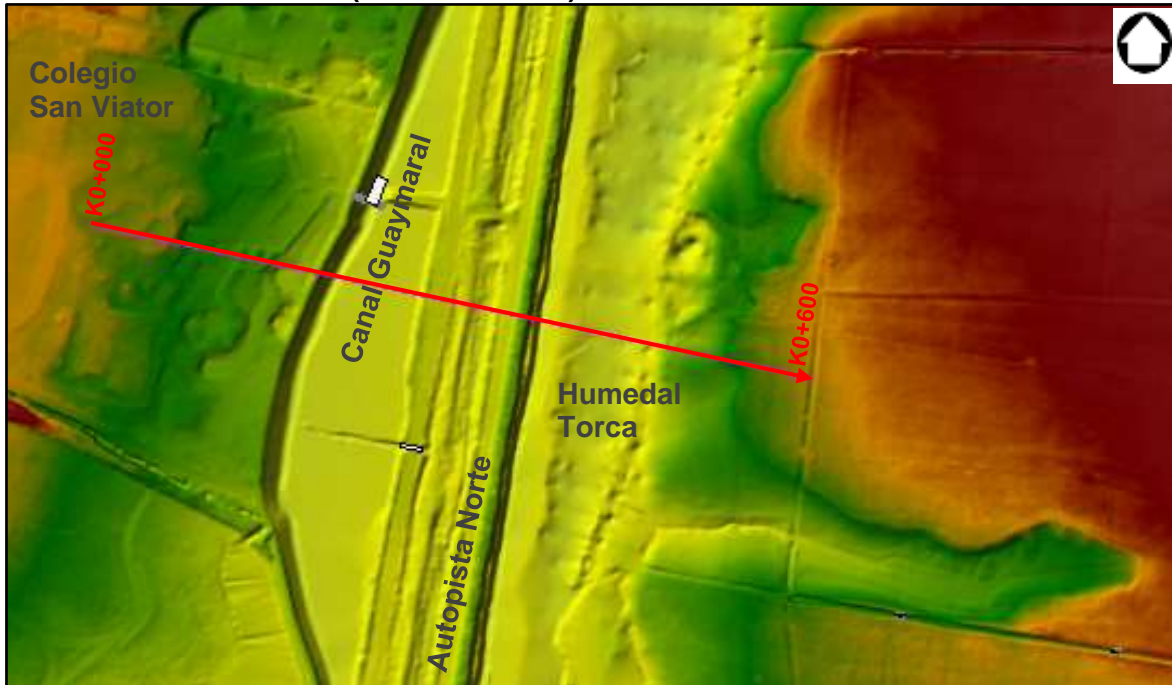
* El volumen estimado para las zonas de planicie dentro de la adecuación del Canal Guaymaral, no se contemplan dentro de las áreas de ZMPA, a pesar de que estos volúmenes si se incorporan como almacenamiento de amortiguación en el modelamiento de simulación 2D.

Fuente: WSP, 2020.

*Es de anotar que a partir del balance de masas existe un volumen de agua que se requiere para el almacenamiento y que para mantener los niveles del humedal, deberá proveerse de otra zona de intervención en la red hídrica, para lo cual se propone la incorporación de volúmenes adicionales dentro de la planicie de inundación que se prevé dentro de las obras de adecuación del Canal Guaymaral, en el tramo comprendido entre las abscisas K0+000 a K0+980. Este volumen de almacenamiento se estima en un total de 37.540 m³. Figura 64, representa una sección típica del Canal Guaymaral, reconformado en este sector.

Ahora, si se sabe que el área de la ZMPA del Humedal corresponde a un total de 68.98 ha, el volumen de exceso que no cubriría las áreas disponibles (6.877 m3), será necesario por la tanto un incremento en las láminas de agua al interior del humedal, con el fin de contener este volumen. Es así como para el área total del Humedal indicada, el incremento de la lámina de agua se esperaría incrementar en solo 1.0 cm. Si el incremento ocurre para las zonas de adecuación previstas, sin incluir el área del canal Guaymaral, el ascenso se estima en 2.2 cm. De todas maneras, la verificación final de los niveles de inundación en el Humedal, se hará posteriormente, en la evaluación de cada una de las alternativas de reconformación analizadas y que involucran algunas o todas las áreas indicadas en la Tabla 11.

Figura 64 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Canal Guaymaral, Tramo K0+000 – K0+980 (Col. San Viator)



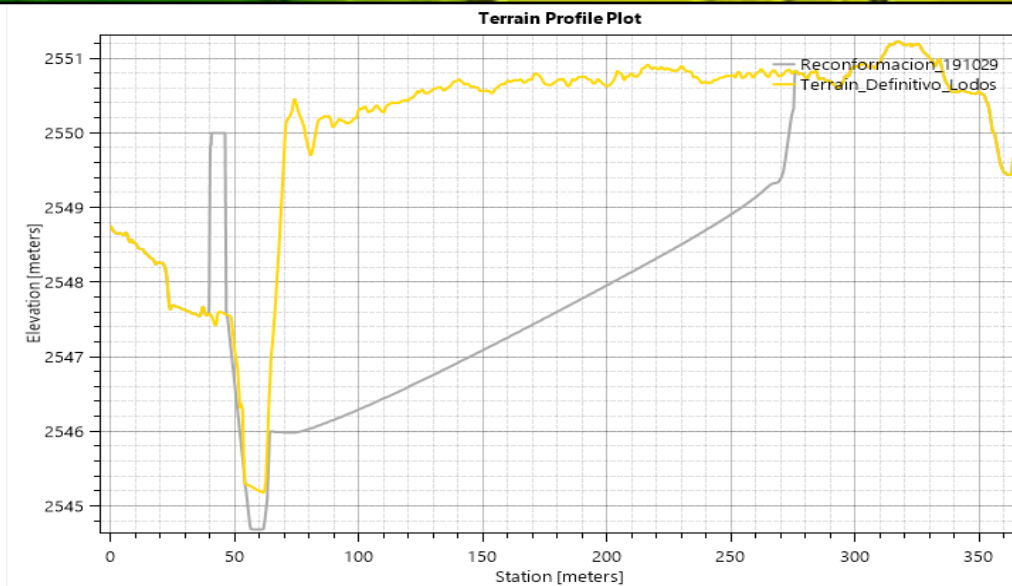
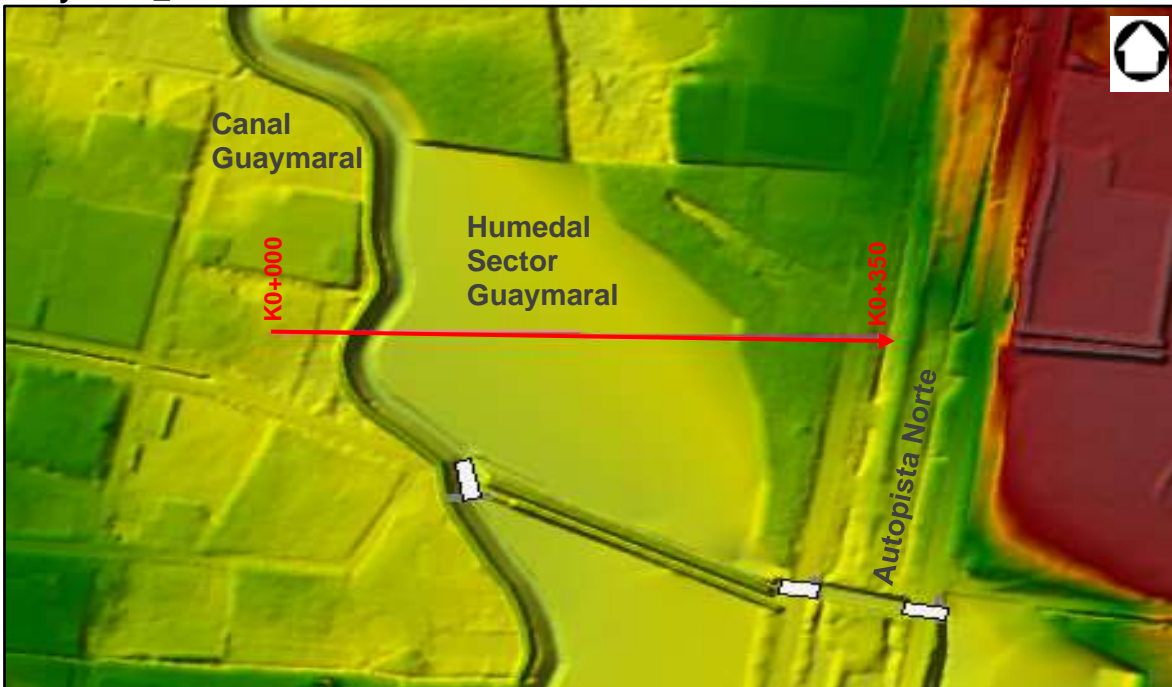
Fuente: WSP, 2019.

La evaluación de la capacidad de almacenamiento y amortiguación del sistema de humedales reconformado, así como para garantizar el control de los caudales efluentes hacia el río Bogotá, permiten definir que la estructura hidráulica tipo box culvert existente a la salida del Humedal en la vía de acceso actual a Guaymaral, se configura como un

elemento de control que se recomienda reemplazar por una obra similar, con una sección doble de 5.0x4.0 m, como se detalla en el aparte del diseño del Canal Guaymaral.

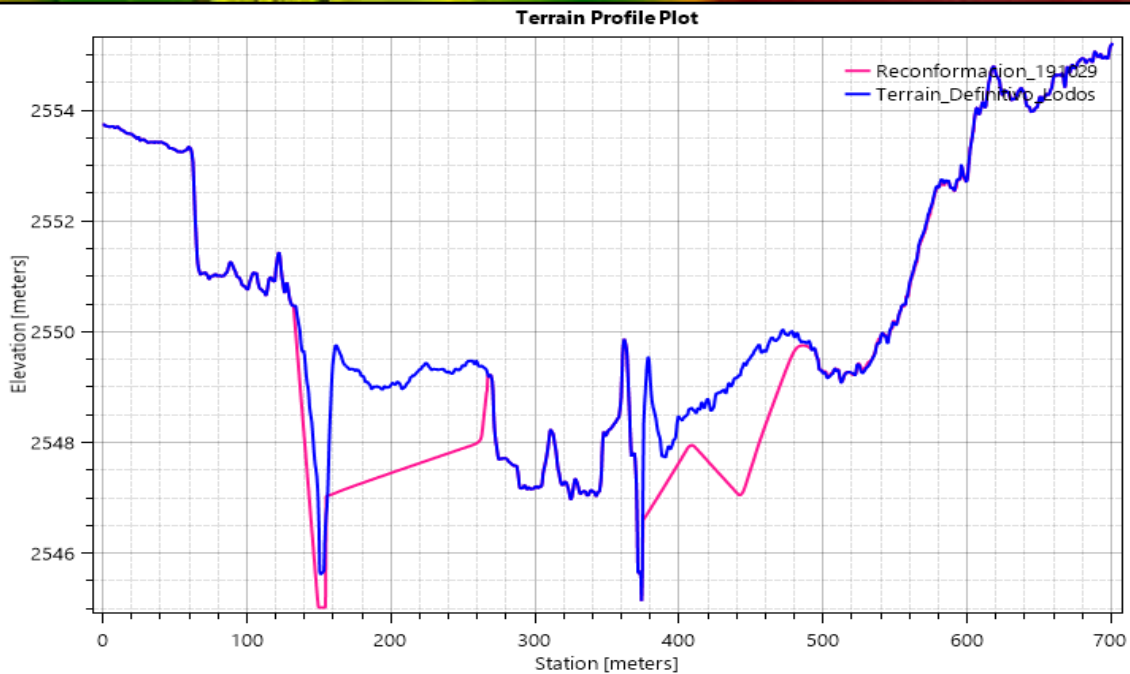
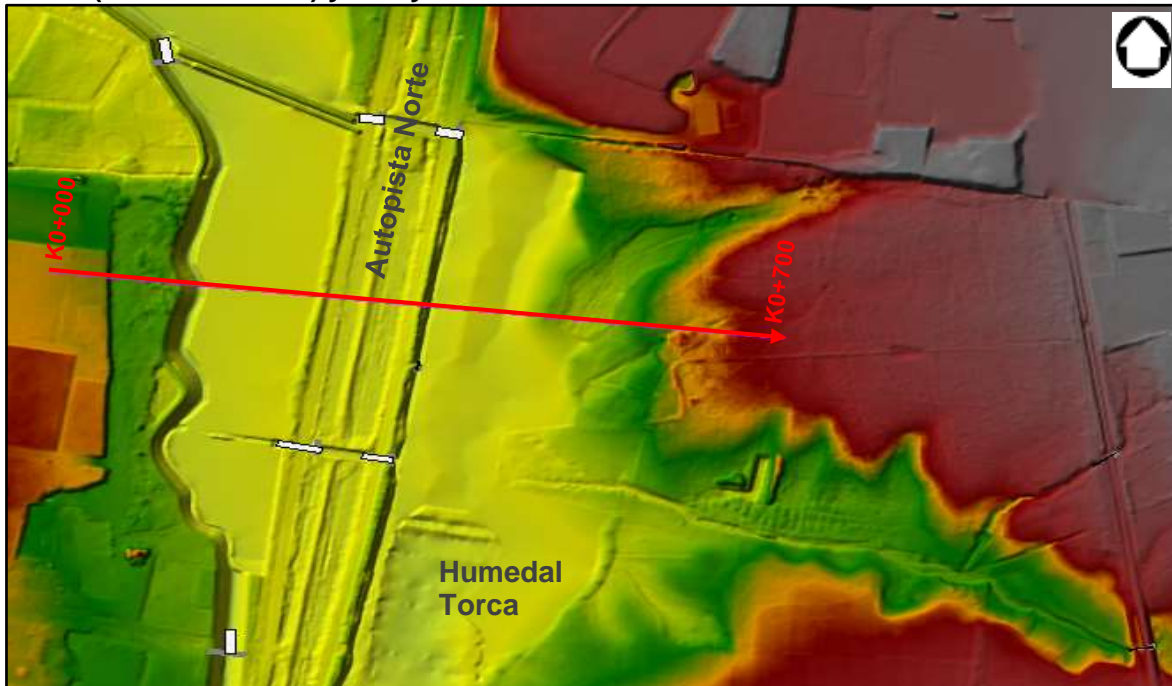
Las adecuaciones que se proponen para la restauración del Humedal, está encaminada, desde el punto de vista de su función hidrológica, en la recuperación de la capacidad de amortiguamiento del Humedal, para los cual se presentan a continuación secciones de reconfiguración geomorfológica (La Figura 65 y la Figura 66 para los dos sectores (Torca y Guaymaral)).

Figura 65 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Humedal, sector Guaymaral_4.



Fuente: WSP, 2020.

Figura 66 Sección preliminar de adecuación geomorfológica del Humedal, sectores Torca (cabecera norte) y Guaymaral_3.



Fuente: WSP, 2020.

6.3.1.9 Proyectos Anteriores

Teniendo en cuenta la incidencia del caudal proveniente del Sector San Jose de Bavaria, y las alternativas planteadas para su recoleccion, transporte y disposicino final, se deben

considerar de manera prioritaria los resultados obtenidos del Contrato de Consultoría No. 1-02-31100-00831-2017 cuyo objeto es “CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES LOCALES DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE BAVARIA, INCLUYE ADECUACION HIDRÁULICA DE LOS CANALES Y VALLADOS PERIMETRALES E INTERIORES; EN CUMPLIMIENTO DE LA ACCIÓN POPULAR AP2003-01462-01, E IDENTIFICACIÓN Y DISEÑO DE LAS CONEXIONES ERRADAS DE LAS ÁREAS AFERENTES AL CANAL CALLEJAS EN EL ÁREA DE COBERTURA DE LA ZONA 1 DE LA EAAB-ESP”, suscrito entre la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB) y el CONSORCIO SAN JOSÉ 2017.

Los diseños detallados de este contrato se encuentran aprobados por la EAAB desde mayo de 2018.

El proyecto plantea la siguiente alternativa de drenaje para el sector San Jose de Bavaria:

“La alternativa seleccionada contempla redes de alcantarillado secundarias en el costado oriental y occidental de la Av. Boyacá (Carrera 72), entregando a la red troncal proyectada sobre la calle 183. Para la Distribución de las redes en la Av. Boyacá desde la Cl. 170 hasta la Cl. 183 se proyectan redes secundarias paralelas entre 12” y 72” que irán por cada costado de la Av. Boyacá, entregando al corredor de la Cl. 183, donde se proyectan dos redes troncales entre 12” y 76”.

Las áreas aferentes de drenaje de alcantarillado pluvial se definieron teniendo en cuenta las áreas contempladas en el diseño de la avenida calle 183. Se delimitaron cuatro cuencas, la cuenca Boyacá entrega sus aguas a los dos tramos que se encuentran sobre la Av. Boyacá (Carrera 72), la cuenca Occidental y la cuenca Oriental descargan a la red troncal de la calle 183 y la cuenca Valmaria que es el área aferente del Box Culvert Av Villas con calle 183.

Figura 67 Esquema de Drenaje San José de Bavaria, Proyecto 32462



Fuente: Consorcio San José; 2017

Del estudio en mención, se realizaron los cálculos de caudal mediante el programa HEC-HMS, para periodo de retorno de 5 años para redes secundarias, y 10 años para redes troncales. El número de Curva CN asignado fue de 92 siendo una zona residencial de 500 m² o más.

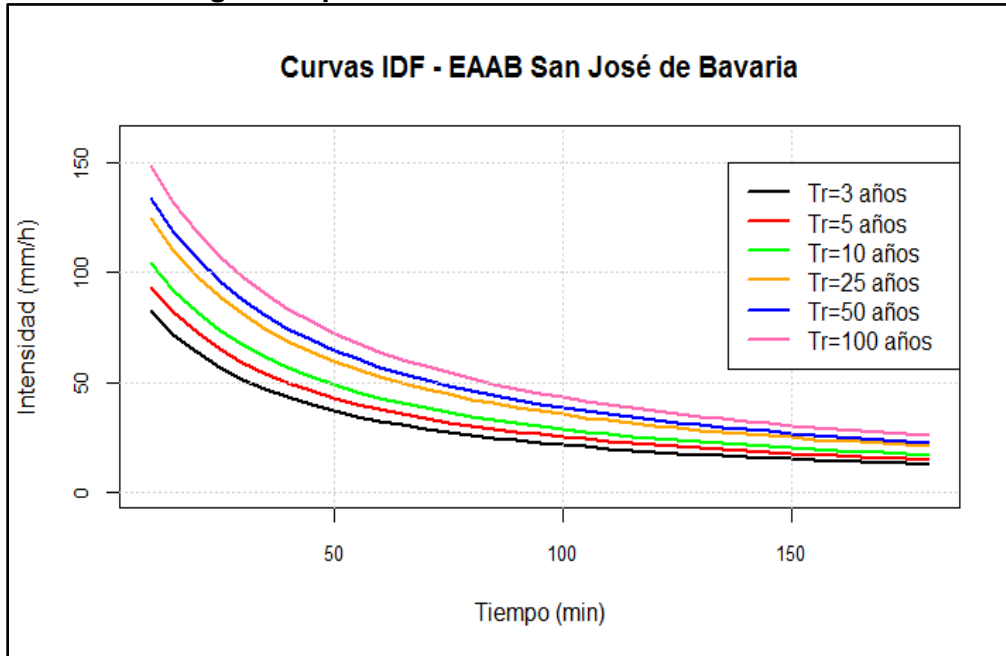
Los parámetros de ajuste IDF para diferentes periodos de retorno empleados en el proyecto se presentan a continuación.

Tabla 12 Parámetros de ajuste IDF para diferentes periodos de retorno-SJB

Período de retorno (años)	C ₁	x ₀	C ₂
3	3476.34	25.2	1.05
5	4330.21	27.3	1.06
10	5555.34	29.7	1.08
25	6888.17	31.1	1.08
50	8357.12	32.9	1.10
100	8970.52	33.1	1.09

Fuente: Consorcio San José 2017.

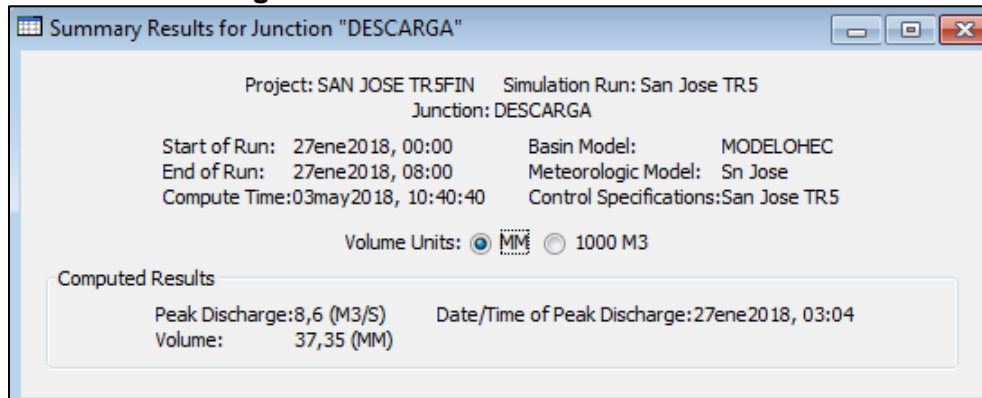
Figura 68 Curva IDF general para la zona de estudio - SJB



Fuente: Consorcio San José 2017.

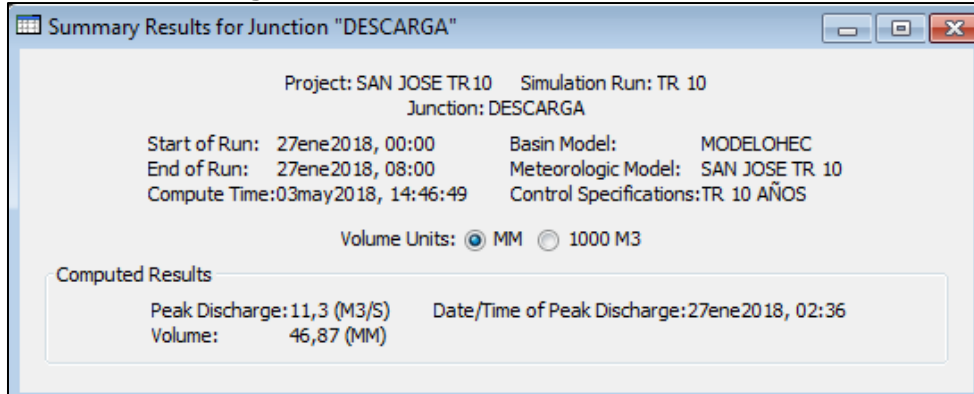
Teniendo en cuenta lo descrito, los resultados de caudal obtenidos luego de la modelación desarrollado por el CONSORCIO SAN JOSÉ 2017, se tiene que para un periodo de retorno de 5 años, el caudal total es de 8.60 m³/s, mientras que para un periodo de retorno de 10 años el caudal total es de 11.30 m³/s. estos datos fueron extraídos del informe suministrado por la entidad contratante del proyecto de la referencia.

Figura 69 Caudal descarga final TR5



Fuente: Consorcio San José 2017.

Figura 70 Caudal descarga final TR10



Fuente: Consorcio San José 2017.

6.4 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente numeral se realiza la descripción de las alternativas contempladas para el drenaje urbano y acondicionamiento de los cuerpos de agua presentes en el área de influencia del proyecto.

6.4.1 Función Objetivo

Las Alternativas de drenaje para el Plan Zonal, tiene condicionado su planteamiento a partir de diversos tipos de restricciones, las cuales se describieron en detalle en la sección 6.3 de este documento. En lo que respecta a la operación hidráulica del sistema hídrico las alternativas se han propuesto bajo las siguientes premisas, consideradas como las funciones objetivo, que se plantean a continuación:

6.4.1.1 Maximización de las áreas de recuperación al interior de la ZMPA del Humedal

La rehabilitación ambiental y paisajística de este humedal urbano, no solo presta bienes y servicios ambientales sino también ayuda a la regulación y amortiguamiento de crecientes dentro del sistema de alcantarillado municipal. Es de resaltar que el humedal en su estado afectación descrito, requieren de acciones de rehabilitación inmediata, que permitan generar cambios radicales en sus dinámicas y controlar o mitigar los tensores presentes, esto involucrará en muchas veces, alteraciones a las condiciones actuales del humedal, pero que no afectarían más allá de lo que históricamente ha presentado y lo ha llevado a dicha afectación, siendo esta una medida de reparación y restauración que redundará en un futuro, en una rehabilitación del ecosistema, que permite generar una mayor oferta ambiental, que incide positivamente en las poblaciones de fauna y flora características de estas áreas.

Las áreas de almacenamiento de las que actualmente dispone el humedal suman un total de 496.583 m² en el sector de Guaymaral y de 302,656 en el de Torca, para un total de 799.239 m², que corresponde al área total de la ZMPA. Las áreas que actualmente estarían ocupadas por un evento hidrológico máximo de Tr100 años, corresponde a un total de 521.750 m², según los resultados reportados por el informe de Diagnóstico (Producto 4). Esto significa que existe un total de 277.489 m² que están siendo ocupadas

por otro tipo de usos no compatibles con el del Humedal. El propósito del análisis de las alternativas será el de lograr el máximo de áreas de recuperación o restauración, en la búsqueda de esa mayor oferta de servicios ambientales, dentro del límite legalmente establecido en el Humedal, procurando la distribución espacial y temporal de los recursos físicos (aporte seguro de agua y nutrientes, franjas y sitios puntuales con condiciones ecológicas diferenciadas, temperatura alta que favorece desarrollo de vegetación, escasa profundidad).

6.4.1.2 Maximización de los volúmenes de almacenamiento al interior de la ZMPA

De manera paralela a la recuperación espacial de las áreas del Humedal ocurre la restauración de los volúmenes de amortiguación o de almacenamiento de agua, en procura de restablecer la dinámica hídrica del cuerpo de agua. De esta manera se propone que los volúmenes de agua de los eventos de crecida puedan almacenarse y/o amortiguarse dentro de los vasos y planicies de inundación del humedal.

Actualmente el Humedal tiene una capacidad de amortiguación que se aproxima a los 677 mil metros cúbicos, sumando la capacidad de cada sector, es decir de 444 mil metros cúbicos en Torca y de 233 mil metros cúbicos en Guaymaral. El volumen de la creciente que ocupa el Humedal, es del orden de un millón 275 mil metros cúbicos, con lo cual el déficit se acerca a los 447 mil metros cúbicos.

El planteamiento de las alternativas busca que la recuperación hidrogeomorfológica y las estructuras anexas, procure el aprovechamiento máximo de los volúmenes de amortiguación, siguiendo el enfoque de restauración ecosistémica de cada zona a intervenir, es decir, el objetivo no se circunscribe con aumentar la capacidad de almacenamiento, sino que debe promover la dinámica hídrica de ascenso y descenso de los niveles de agua, esto es que durante la temporada húmeda, los niveles del humedal asciendan, permitiendo el aporte de nutrientes y sustratos en las zonas de litoral, y por otro lado que durante la temporada seca, los niveles descendan para garantizar la formación de zonas sin lámina de agua, donde se promueve la conformación de hábitats.

6.4.1.3 Minimización de los caudales efluentes al Río Bogotá

Una de las problemáticas más importantes que tiene la ciudad de Bogotá es la amortiguación de aguas lluvias en el espacio público, sobre todo en los meses húmedos del año, debido a que el rápido desarrollo urbano ha generado la impermeabilización de la ciudad teniéndose pocas coberturas vegetales que ayuden a interceptar el agua lluvia.

En procura de no generar afectaciones en los caudales aportantes al río Bogotá por efecto de la regularización del sistema de alcantarillado pluvial esperado para el futuro del Plan Zonal Lagos de Torca, las alternativas deben enfocarse en garantizar la regulación del sistema hídrico mediante la optimización de los sistemas de recolección, permitiendo emplear la capacidad de almacenamiento de los con ductos, así como la amortiguación natural del sistema Torca-Guaymaral, con las obras de restauración necesarias. Por otro lado, en lo que respecta a los desarrollos urbanos de los Planes Parciales, el Decreto 088 de 2017 propone adecuaciones encaminadas a la amortiguación/o retención de los picos de los eventos de precipitación al interior de los urbanismos, previo a las descargas a los sistemas de alcantarillado público, posibilitando así menguar el efecto de respuesta intenso aguas abajo.

Los análisis de hidrología de la cuenca, han establecido que actualmente el aporte de la cuenca Torca-Guaymaral, para un evento hidrológico con período de retorno de 100 años, es de 86.8 m³/s. Se debe tener en cuenta que este aporte contempla el efecto de amortiguación generado por las inundaciones en los alrededores del humedal. Para la condición futura de desarrollo en la zona y para un evento con el mismo Tr, el caudal esperado a la salida del sistema es de 102.8 m³/s.

El planteamiento de las alternativas, deberá procurar minimizar el caudal afluente al río Bogotá a por lo menos el caudal esperado para la condición morfológica actual del Humedal, para el evento de diseño, es decir no superar el caudal de 102.8 m³/s.

6.4.1.4 Minimización de los riesgos de inundación en las zonas de futuro desarrollo del Plan Zonal

La zona ocupada por el Plan Zonal Lagos de Torca corresponde a un sector de la ciudad de morfología plana con sistema de drenaje basado en la conformación de vallados con dirección de flujo hacia el Humedal Torca – Guaymaral, y en la zona norte, hacia el Río Bogotá. Los desarrollos previstos según lo establecido en el Decreto 088 de 2017, permiten la incorporación de sistemas sostenibles que garanticen un adecuado manejo de la escorrentía y su descarga controlada al sistema hídrico natural de la zona (Humedal y quebradas).

El planteamiento de las alternativas de drenaje, debe garantizar que las descargas hacia los drenajes naturales debe hacerse, por encima de la cota máxima de inundación, generada para el evento de creciente con un Tr de 100 años, determinada a nivel del Diagnóstico del Producto 4. Es decir, que las adecuaciones hidrogeomorfológicas del Humedal y el cauce de las quebradas, permitirá mantener niveles de inundación iguales o menores a los actuales y por ende algunas holguras que garanticen descargas a gravedad.

De acuerdo con los resultados del modelamiento hidrodinámico del sistema, el área inundada y que está relacionada con las áreas adyacentes al Humedal, es de 1.003.761 m², mientras que el área de la ZMPA del cuerpo de agua es de 799,239 m². Esto significa que las alternativas a plantear deben garantizar que las 204.522 m² de área inundada actualmente, deben llevarse a un valor de cero.

Es de anotar igualmente que todas las alternativas que se planteen, deberán incorporar el manejo independiente de las aguas de la zona de San José de Bavaria, que aunque no pertenece al desarrollo del Plan Zonal Lagos de Torca, permite disminuir la amenaza por inundación que en la actualidad tiene este sector de la ciudad.

6.4.1.5 Minimización de los costos de la intervención

En un entorno de recursos económicos escasos y susceptibles de usos alternativos, cualquier acción que implique su empleo debe tener en cuenta el costo de oportunidad, es decir, el costo de utilizar los recursos para una determinada finalidad medido por el beneficio a que se renuncia al no utilizarlos en su mejor uso alternativo.

La valoración de los beneficios ambientales derivados de la protección del Humedal Torca-Guaymaral mediante los instrumentos legales establecidos incluyendo el Plan de Manejo Ambiental, hacen preciso introducir la racionalidad en el empleo de recursos con miras a un beneficio que solo se puede cuantificar en el largo plazo. Este tipo de valoraciones hacen referencia al potencial biótico, tales como los remanentes, fragmentación, conservación, diversidad (diversidad taxonómica, rutas de migración de aves acuáticas, poblaciones relictuales de aves endémicas, poblaciones relictuales de peces endémicos y relictos de matorrales y bosques nativos riparios primitivos). Por el lado del potencial socio dinámico están la condición socioeconómica, tendencia de poblamiento, tradición de manejo, organización y participación local (alta y creciente sensibilidad de la ciudadanía hacia la conservación del Humedal; alta demanda de espacio público, presencia activa de ONG(s), fuerte presión de urbanización sobre el humedal y el marginamiento socioeconómico entre otros).

De esta manera, las alternativas a plantear deben buscar que los recursos cumplan la función del costo de oportunidad, en este caso, la posibilidad de que las obras de adecuación puedan llevarse a cabo, sin perjudicar el desarrollo general de esta zona de la ciudad. Su planteamiento debe incorporar obras que técnicamente sean viables ejecutar a un costo razonable.

6.4.2 Planteamiento de Alternativas

De acuerdo con los criterios de diseño en el Capítulo anterior, el Planteamiento de las alternativas de drenaje pluvial del Plan Zona del Norte, están enfocadas en primera medida, al manejo del sistema hídrico natural (Humedal y quebradas) para el control de todo el flujo de agua por escorrentía que fluye hacia el eje articulador del drenaje pluvial, y en segunda instancia, lo concerniente a las particularidades de los sistemas de recolección y conducción de la escorrentía, a través de una red de alcantarillado.

Los elementos principales planteados en el estudio de alternativas consisten en la reconformación parcial o total de los cuerpos de agua como son los humedales Torca, Guaymaral; los canales y de las quebradas, así como el sistema de colectores encargado captar, conducir y disponer las aguas de escorrentía hasta los sitios de descarga en los cuerpos de agua receptores.

En la Tabla 13 Descripción de las Alternativas de Drenaje Pluvial, se presenta el resumen de las alternativas de drenaje pluvial, propuestas para el sistema y específicamente del drenaje del costado occidental de la Autopista Norte.

El planteamiento de las alternativas resulta de los análisis diagnósticos sobre las zonas factibles de intervención al interior del Humedal y del canal de aguas mínimas en su interior, el Canal Guaymaral y su zona de protección marginal, así como la restauración del cauce de las quebradas de la cuenca oriental, en el tramo comprendido entre la Carrera Séptima y la desembocadura en el Humedal o el Canal Guaymaral.

Tabla 13 Descripción de las Alternativas de Drenaje Pluvial

ALTERNATIVAS	COMPONENTE HUMEDALES	COMPONENTE QUEBRADAS	COMPONENTE CANAL GUAYMARAL	COMPONENTE REDES DE ALCANTARILLADO
Alternativa 1	Adecuación Hidrogeomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral, en cinco (5) áreas distribuidas en cuatro (4) dentro del sector de Guaymaral y un área parcial en el sector de Torca.	Adecuación hidráulica y geomorfológica de quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca	Adecuación hidráulica del Canal Guaymaral entre las abscisas K0+000 al K0+930 y entre el K3+000 al K5+920. Adecuación del canal de aguas mínimas entre las abscisas K2+100 y el K3+000, tramo localizado dentro en la zona de Humedal. (Entre las abscisas K0+930 a K2+100, la adecuación del Canal ya se incorpora dentro Humedal).	Drenaje pluvial mediante redes de alcantarillado descargando en su totalidad al Humedal Guaymaral.
Alternativa 2	Adecuación Hidrogeomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral, en cuatro (4), áreas dentro del sector Guaymaral. No se incluyen área en el sector Torca.	Adecuación hidráulica y geomorfológica de quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca	Adecuación hidráulica del Canal Guaymaral entre las abscisas K0+000 al K0+930 y entre el K3+000 al K5+920. Adecuación del canal de aguas medias entre las abscisas K2+100 y el K3+000, tramo localizado en la zona de Humedal. (Entre las abscisas K0+930 a K2+100, la adecuación del Canal ya se incorpora dentro Humedal).	Drenaje mediante colector expreso Torca por Av. Arrayanes + Pondaje + Estación de Bombeo en Río Bogotá y sistemas de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.
Alternativa 3A	Adecuación Hidrogeomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral, en seis (6) áreas distribuidas en cinco (5) áreas dentro del sector Guaymaral y una (1) en el sector de Torca.	Adecuación hidráulica y geomorfológica de quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca	Adecuación hidráulica del Canal Guaymaral entre las abscisas K0+000 al K0+930 y entre el K3+000 al K5+920. Entre las abscisas K0+930 a K3+000, la adecuación del Canal, se incorpora dentro Humedal.	Drenaje pluvial de de San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta el Río Bogotá + Drenaje Pluvial del sector occidental hacia el Humedal Guaymaral.
Alternativa 3B	Adecuación Hidrogeomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral, en seis (6) áreas distribuidas en cinco (5) áreas dentro del sector Guaymaral y una (1) en el sector de Torca.	Adecuación hidráulica y geomorfológica de quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca	Adecuación hidráulica del Canal Guaymaral entre las abscisas K0+000 al K0+930 y entre el K3+000 al K5+920. Entre las abscisas K0+930 a K3+000, la adecuación del Canal, se incorpora dentro del Humedal.	Drenaje Expreso de San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta Av. Arrayanes y de aquí hasta el Río Bogotá y sistemas de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

Fuente: WSP; 2020

6.4.3 Alternativa 1

6.4.3.1 Objetivos

Esta Alternativa tiene como objetivo garantizar el control de las inundaciones generadas por el desconfinamiento del humedal Torca-Guaymaral y las generadas por el desborde del Canal Guaymaral. Se pretende que los desarrollos urbanísticos realicen las descargas pluviales mediante redes de alcantarillado, hacia el cuerpo del Humedal, el cual será objeto de obras de reconfiguración hidrogeomorfológica para la recuperación de la capacidad de almacenamiento y amortiguación de crecientes.

6.4.3.2 Componente de Adecuación Hidrogeomorfológica

La Alternativa 1 consiste en la adecuación geomorfológica del Humedal en el sector Torca en su extremo norte para hacer posible la entrega de los colectores que llevan las aguas de la parte central del sector oriental del Plan Zonal. En la zona occidental se contempla la adecuación hidrogeomorfológica de cinco (5) zonas del Humedal, cuatro (4) distribuidas en el sector Guaymaral y una (1) para la zona norte del sector Torca.

Con el objeto de incrementar las condiciones de almacenamiento de los Humedales, esta Alternativa comprende su adecuación morfológica, de manera que se garantice que el cuerpo de agua realice la amortiguación de los volúmenes de agua escurridos hacia el sistema, para la condición actual, como para el escenario proyectado de urbanismo.

En lo que respecta al Canal Guaymaral, la adecuación hidráulica se ha subdivido en dos tramos así: el primero entre el K0+000 en la Calle 209 (Av. Arrayanes) hasta la abscisa K0+930 y el segundo entre el K3+000 al K5+920 en la desembocadura del río Bogotá. Esto teniendo en cuenta que el tramo comprendido entre las abscisas K0+930 al K3+000, el canal hace parte de la reconfiguración hidrogeomorfológica propuestas para el Humedal.

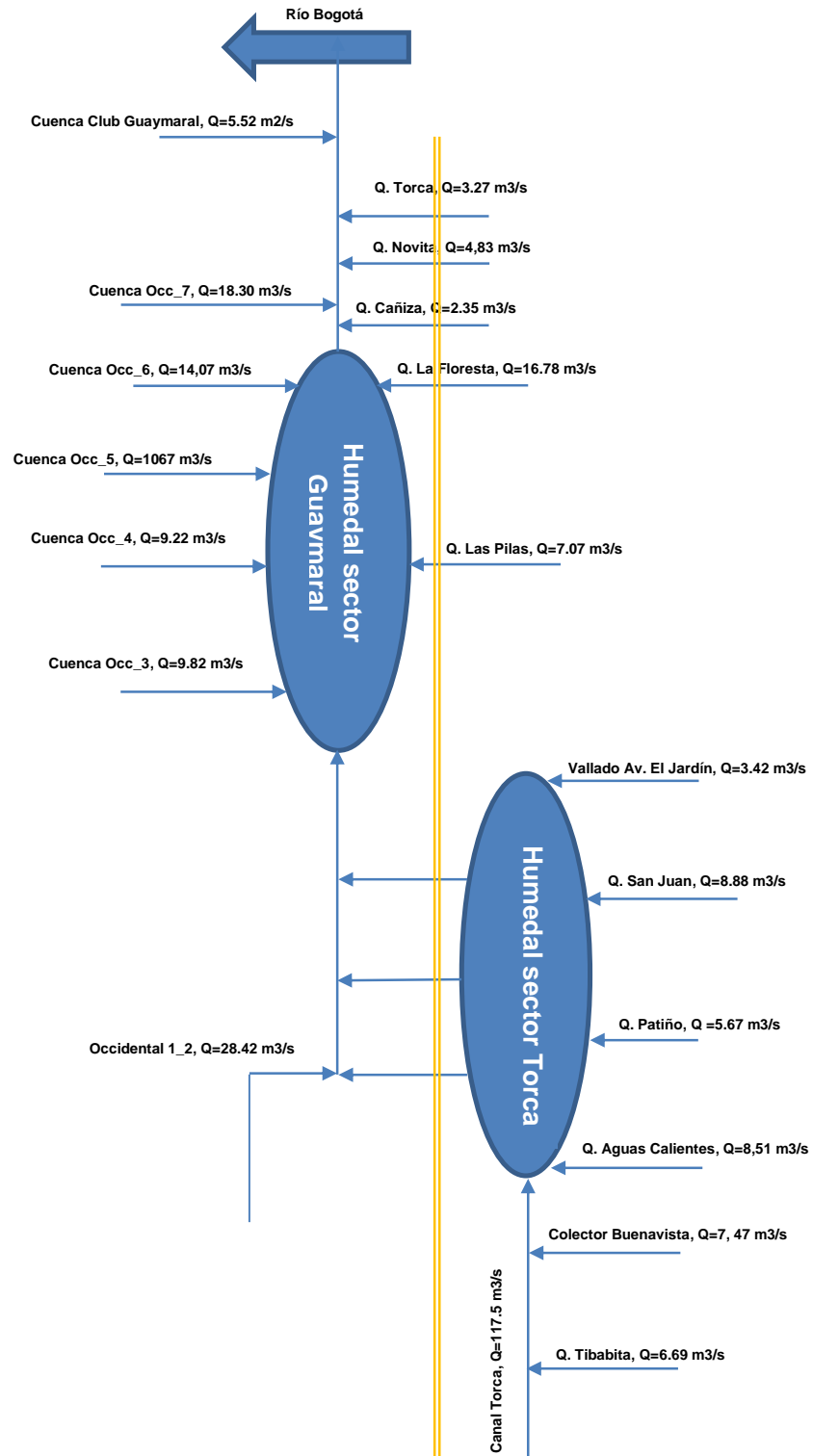
En cuanto a la adecuación hidrogeomorfológica y ecosistémica de las quebradas, esta Alternativa plantea la intervención de 9 (nueve) cauces a todo lo largo del ámbito del Plan Zona Lagos de Torca, que corresponden a las quebradas Tibabita, Aguas Calientes, Patiño, San Juan, Las Pilas, La Floresta, Cañiza, Novita y Torca. El esquema hidrológico evaluado en esta Alternativa, es que el que se muestra en la Figura 71.

En la Figura 72 se muestra la representación esquemática de esta alternativa para las obras de adecuación hidrogeomorfológica del sistema hídrico. Las áreas se identifican con el subíndice 1 para el sector norte de Torca, y los subíndices 1 a 4 del sector Guaymaral.

El modelamiento hidrodinámico en 2D empleado para la definición de las obras de adecuación geomorfológica del sistema hídrico, partió el modelo de terreno e hidrológico elaborados en el Producto 4 de esta consultoría. En el Anexo 3 (3.2.2 Reconfiguración de Humedales) se incluye la dirección de enlace para descarga del software HecRAS v5.0.5, con el cual se llevó a cabo la simulación.

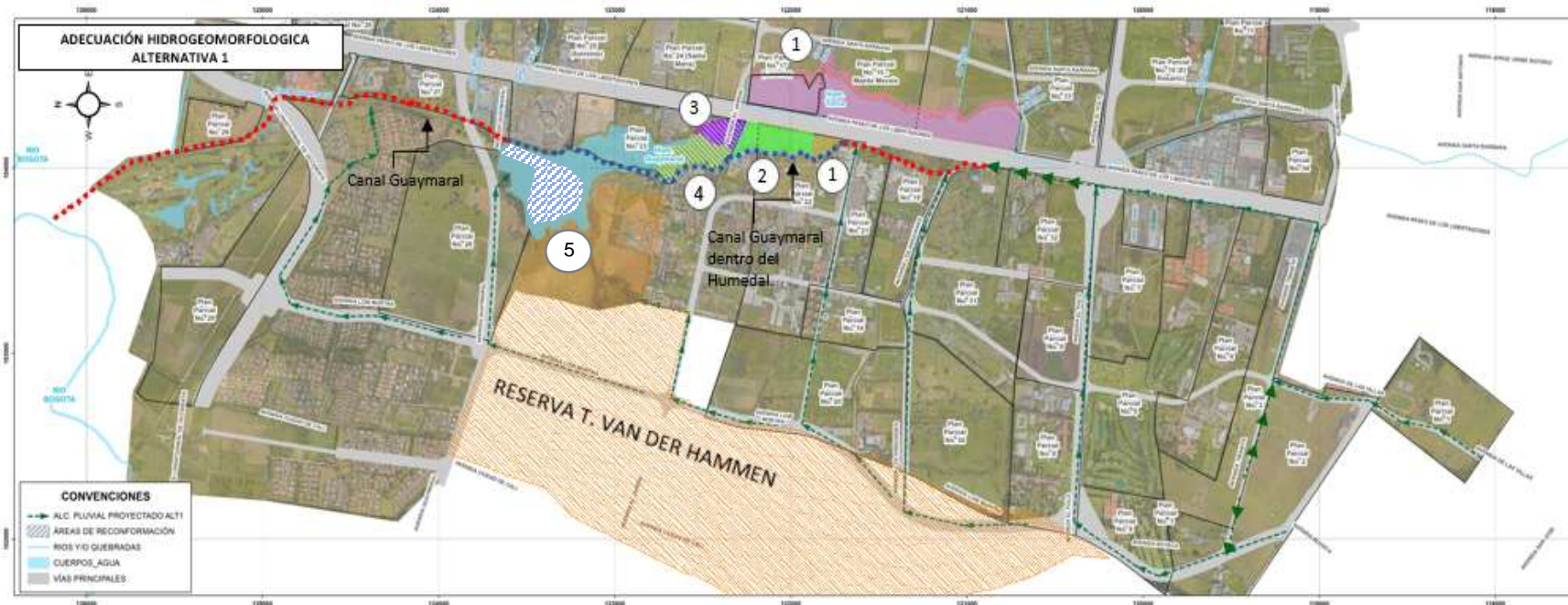
Para las obras de reconfiguración del Humedal y del Canal Guaymaral propuestas en la Alternativa 1, las condiciones de la lámina de inundación es la que se presenta en la Figura 74. En la Figura 181 se representa el perfil hidráulico para esta Alternativa de drenaje pluvial.

Figura 71 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 1.



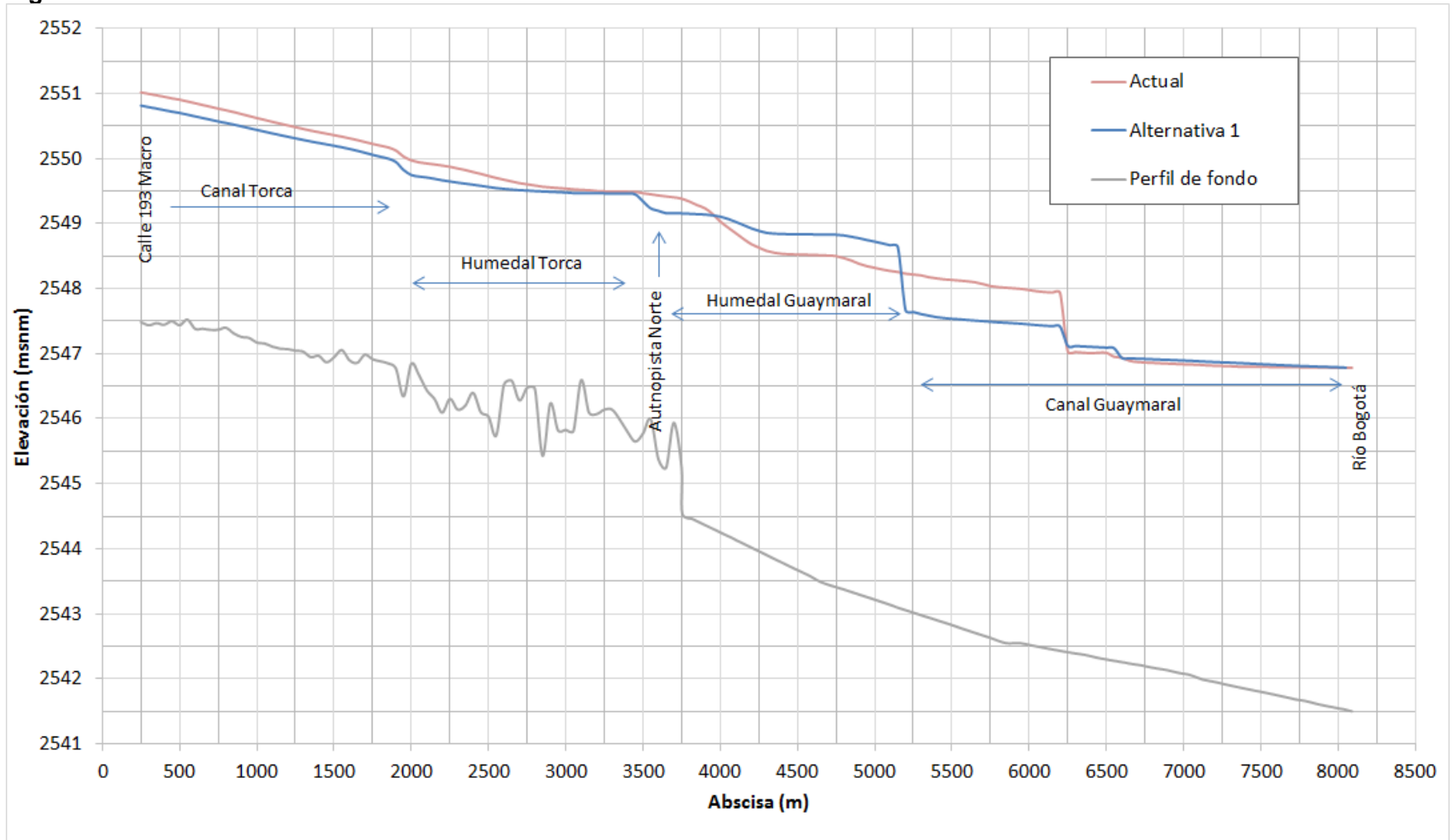
Fuente: WSP; 2020

Figura 72 Vista en planta de cuerpos de agua a reconfigurar y colectores Alternativa 1



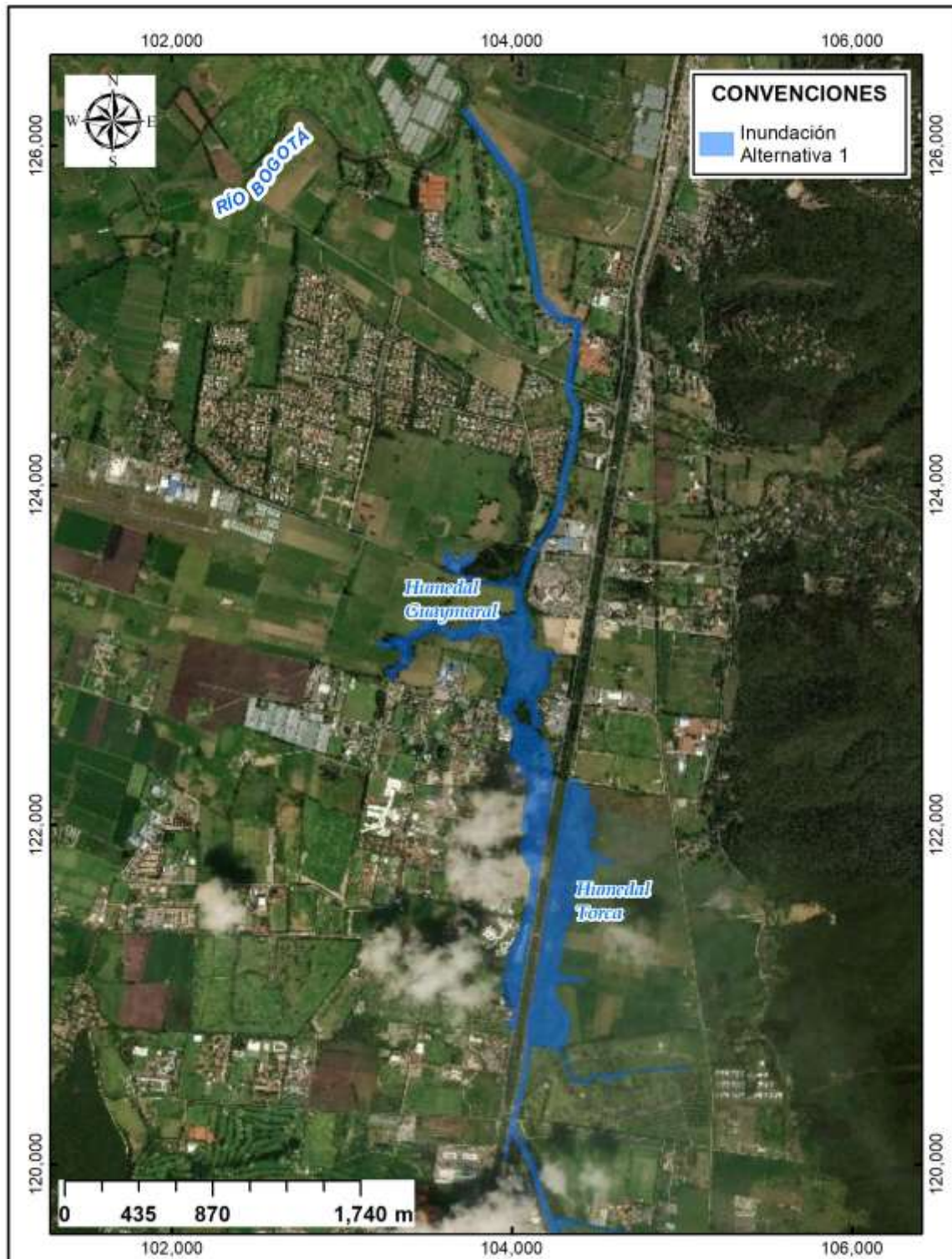
Nota: Al Alternativa 1 Modificada, contempló incorporar la zona 5 dentro de las áreas de reconfiguración del Humedal.
 Fuente: WSP, 2020.

Figura 73 Perfil hidráulico reconfiguración Alternativa 1



Fuente: WSP; 2019

Figura 74 Configuración de la zona inundable con la implementación de la Alternativa 1



Fuente: WSP, 2020.

Los resultados del análisis hidráulico muestran que desde el punto de vista de los niveles de inundación, en el sector de Torca, los niveles del Humedal descienden en promedio 30 cm. En el sector Guaymaral, los niveles ocurridos tienen a ascender en una magnitud máxima de 40 cm, debido principalmente al confinamiento ejercido por los controles de margen del Humedal y el Canal Guaymaral, aunque también se constituye como un control hidráulico del sistema colectores que descargan en este sector del Humedal. Es de recordar que en esta alternativa, la totalidad de la escorrentía de la cuenca confluye hacia el sistema léntico incluyendo los aportes de las 270 ha del sector de San José de Bavaria. De esta manera, el escenario descrito, permite establecer cuál es la respuesta del humedal, ante las condiciones hidrológicas plenas, con las intervenciones menores posibles en el Humedal, pero que garanticen también, la restauración y conectividad ecosistémica del sistema hídrico.

Con el objeto de evaluar el comportamiento de los niveles del Humedal en el sector de Guaymaral, ante la incorporación de la zona identificada como cinco (5) en la Figura 72 dentro de las áreas de reconfiguración del Humedal, adicional a las 1, 2, 3 y 4 de este sector. Esta consideración fue desarrollada con el objeto de observar la sensibilidad de los niveles del humedal ante la intervención general en procura de mejorar las condiciones de la amortiguación y mejorar las descargas del sistema de drenaje previsto, especialmente para el sector de Guaymaral.

Los resultados de esta evaluación se representan en la Figura 75, en la cual se muestra la comparación de los niveles máximos del sistema en los dos escenarios descritos. Los resultados a nivel de diferencia de los niveles encontrados, evidencia que efectivamente existe una disminución de los niveles del orden de los 30 cm en el sector de Guaymaral y de 25 cm en el sector de Torca. Estos niveles se asemejan de mejor manera a los niveles encontrados para la condición actual, que aunque no generan desborde, son inferiores. Lo anterior es lógico teniendo en cuenta que en la Alternativa modificada se han incrementado los volúmenes de amortiguación en esta zona del Humedal.

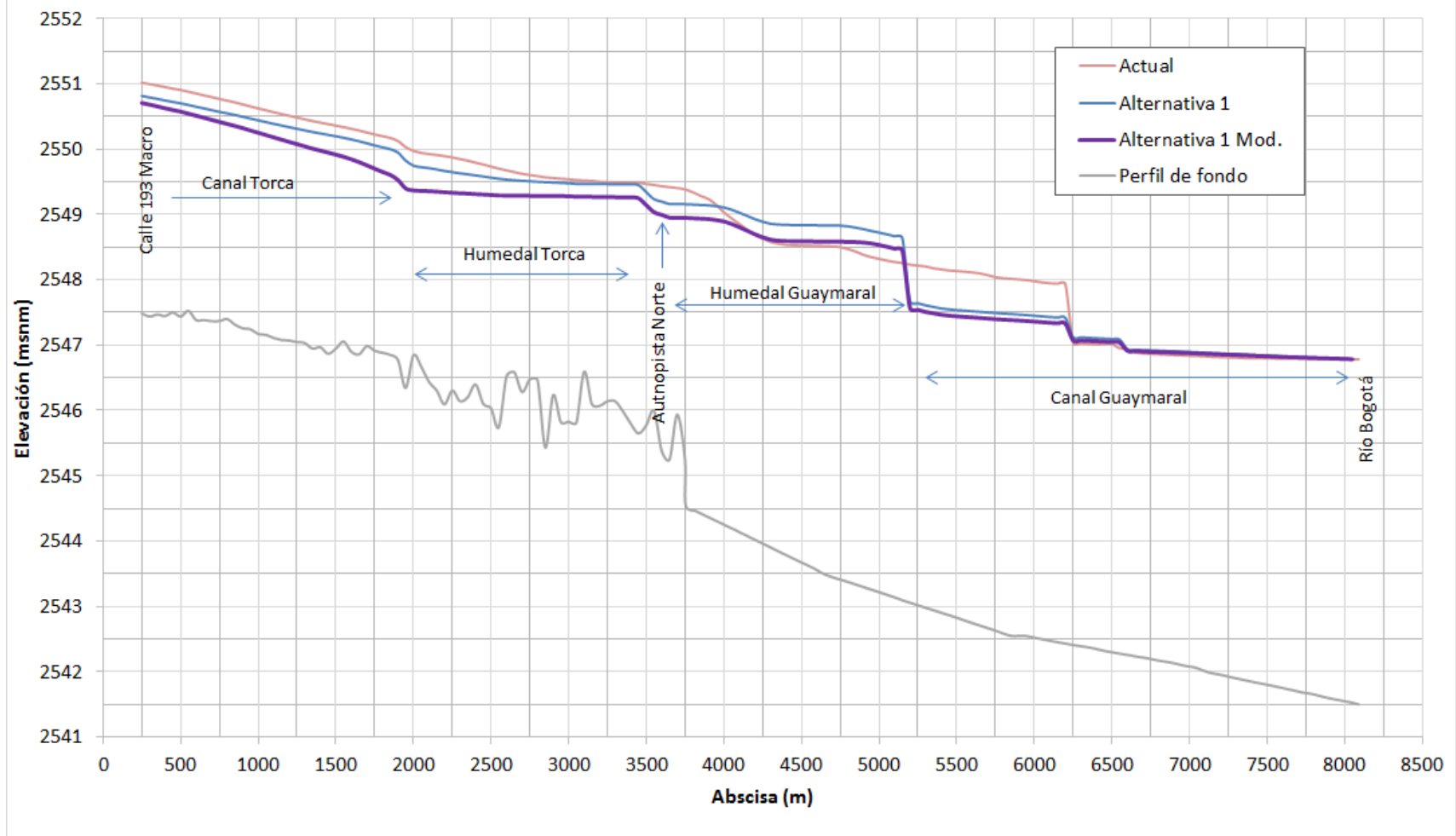
Teniendo en cuenta que los resultados de esta alternativa, tiene implicaciones en el planteamiento del sistema de drenaje pluvial de las áreas de desarrollo previstas en los Planes Parciales, surge la necesidad de plantear alternativas que permitan disminuir la presión ejercida en el sistema hídrico y especialmente en el cuerpo del Humedal. Es así como se desarrollan las alternativas 2 y 3, que ofrecen manejo alternativo de la escorrentía generada en la cuenca que fluye hacia el cuerpo de agua, tales como el desvío de las aguas antes de su ingreso al Humedal, o el incremento en la capacidad de amortiguación; estos escenarios forman parte de las alternativas que se describen más adelante en el presente documento.

Aguas abajo de la zona del Humedal, los niveles son inferiores a los de la condición actual en un orden de los 80 cm, garantizado por la adecuación que se hace del canal Guaymaral, desde este sitio hasta la desembocadura en el río Bogotá. Es importante notar que las obras de adecuación del Canal Guaymaral están previstas en dos sectores; un primer tramo entre su inicio en la Autopista Norte con el inicio de la vía a Arrayanes hasta la Calle 215 (abscisa K0+930), y un segundo tramo entre la salida del Humedal en la Calle 235 (vía a Guaymaral) y el río Bogotá.



En lo que respecta a las zonas inundables, lo mostrado en la Figura 74, indica que las adecuaciones y confinamientos de los cuerpos de agua propuestos, no generan desbordes laterales.

Figura 75 Comparación de niveles del sistema hídrico Torca Guaymaral, Alternativa 1 y Alternativa 1 Modificada.



Fuente: WSP, 2020.

6.4.3.2.1 Diseño conceptual de adecuación de quebradas

Caudales de diseño

De acuerdo con la norma NS-085 de la EAAB, la intensidad que se utilizará en los diseños se obtendrá de acuerdo con la ubicación del área estudiada, obteniendo la intensidad en el centroide del área de drenaje a partir de las curvas IDF de la ciudad, para una duración de 6 horas para el período de retorno correspondiente. Posteriormente, con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF, se recomienda calcular el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P[mm] = I[mm/h] \times Duración[h]$$

Donde:

- P= Precipitación total en un intervalo [mm]
- I= Intensidad de la precipitación [mm/h]
- Duración= Duración del intervalo para el que se calcula la precipitación [h]. La norma NS-085 prevé una duración total de 6 horas para el aguacero de diseño.

A pesar de que en el Producto 4¹⁰ se llegó a estimar que la duración de los eventos representativos para la cuenca general Torca-Guaymaral era de 3 horas, el cálculo de los caudales máximos, con miras al diseño de las adecuaciones de las quebradas, para las cuencas aferentes del sector oriental, se efectuó adoptando una duración de 1.50 horas, de acuerdo con los resultados específicos evaluados por la consultoría para el diseño del colector Buenavista Tramos I y II, a través del contrato No. 1-01-31100-01207-2017 de la EAAB y por H MV en los estudios de Actualización del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado para el Plan Zonal de Norte (Producto 7¹¹), en los cuales se determinó que la duración del evento crítico de precipitación, para ese sector de la cuenca, correspondía a aquel con una duración de 1.50 horas.

La distribución temporal de la tormenta de diseño define la manera como el volumen total del aguacero cae sobre el área de drenaje del proyecto. Como se mencionó anteriormente, la norma NS-085 establece que se debe suponer que la lluvia de diseño cae efectivamente en 6 horas. Se emplearon las curvas IDF propuestas en el Estudio hidrológico Regional, desarrollado por la firma consultora INGETEC S.A. (2013). La estimación de las curvas IDF para el sistema hídrico se realizó en cada uno de los centroides de las cuencas de aporte (Tabla 14).

Tabla 14. Coordenadas del centroide de cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral

SISTEMA	ESTE	NORTE
Quebrada Torca	106489	124905
Quebrada Novita	105213	124491
Quebrada La Floresta y Cañiza	106684	123582

¹⁰ Producto 4. Actualización del estudio hidrológico de la cuenca Torca – Guaymaral, WSP 2019.

¹¹ Producto 7. Actualización del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del POZ Norte, H MV, 2019.

SISTEMA	ESTE	NORTE
Quebrada Pilas	105205	122727
Quebrada San Juan	105734	121866
Quebrada Patiño	105624	121110
Quebrada Aguas Calientes	105598	120483
Quebrada Tibabita	105550	119673

Fuente: WSP, 2020.

Los coeficientes de las relaciones de las curvas IDF son las que se presentan en la Tabla 15 y se representan en la Figura 77.

Es de anotar que para la definición del caudal máximo de diseño en cada una de las quebradas, se siguió el procedimiento establecido en la Norma NS-163 de la EAAB, con el objeto de lograr un análisis particular en cada corriente y llegar a obtener niveles de agua superiores a los que puedan generarse a partir del modelo hidráulico bidimensional empleado en el Producto 4, el cual considera un evento hidrológico regional distribuido espacialmente en toda la cuenca Torca-Guaymaral. De esta manera, para efectos del diseño conceptual objeto de este Producto, se obtiene un diseño conservador en la adecuación de las quebradas. En las fases posteriores de ingeniería de detalle, se podrán realizar los refinamientos y optimizaciones a las que haya lugar.

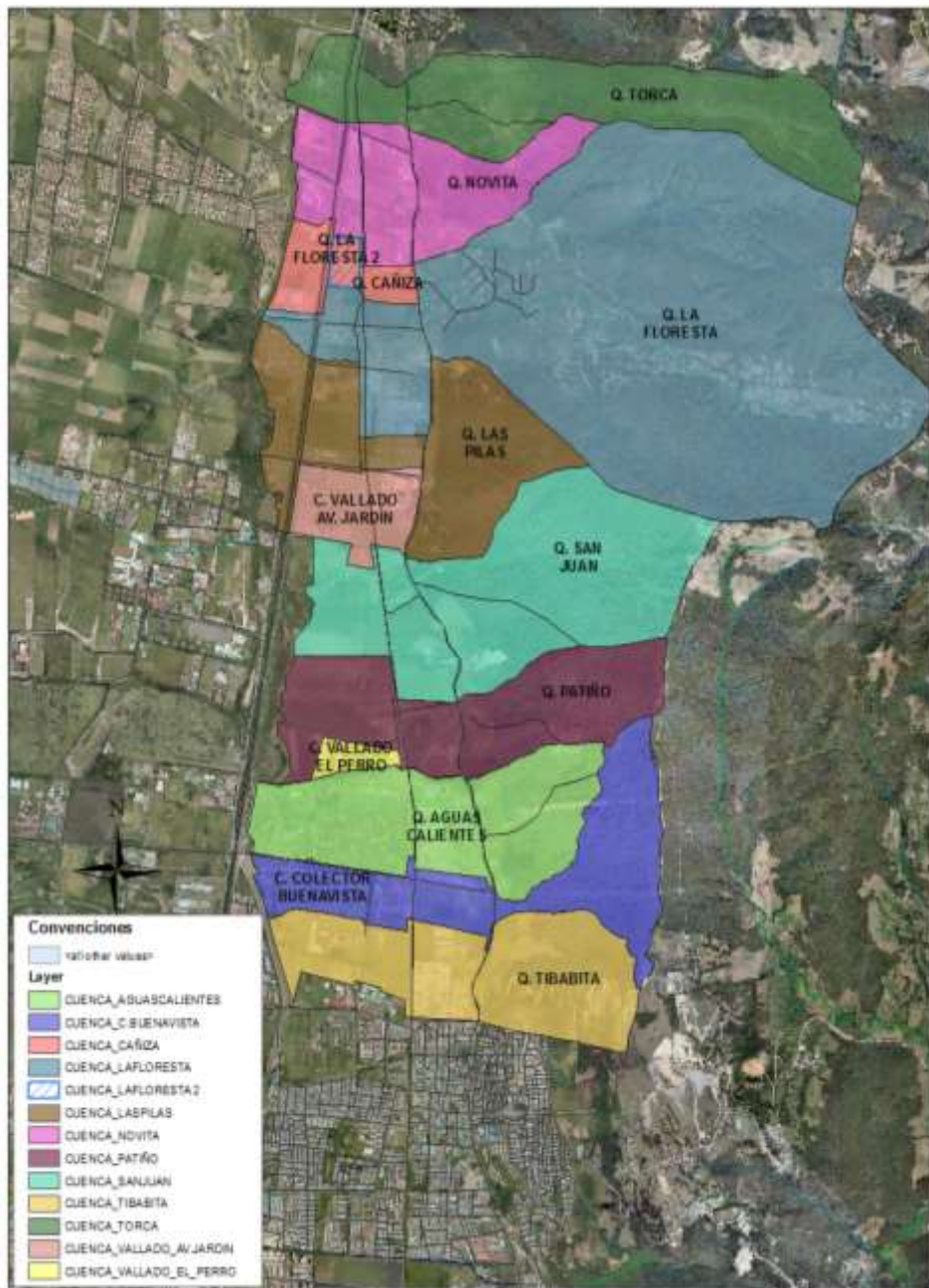
Para tener en cuenta la redefinición de áreas aferentes al sistema hídrico proyectado, el análisis hidrológico e hidráulico, contempló las áreas aferentes del sistema de colectores proyectados para el costado oriental de la Autopista Norte, con el resultado que se indica en la **Figura 76**, que representa las nuevas cuencas aferentes de las quebradas para la condición futura de diseño.

En esta figura se muestran las cuencas rurales que mantienen la configuración presentada en el análisis Diagnóstico del Producto 4 y las nuevas áreas de escorrentía delimitadas por las áreas de drenaje del sistema de alcantarillado propuesto. Es de notar que debido a la configuración del drenaje pluvial previsto, se generan áreas de escorrentía que no drenarán directamente a las quebradas, tales como el área aferente del Colector Buenavista, el área correspondiente a la cuenca de un vallado dentro del Parque Distrital Torca, al oriente de la futura Avenida Santa Bárbara, y entre las cuencas de las quebradas Aguas Calientes y Patiño. Finalmente, se encuentra el área de drenaje correspondiente al vallado de la avenida El Jardín. Todos estos sistemas descargarán los flujos de agua de manera directa en el humedal, en el sector de Torca.

En la **Tabla 16** se presentan los resultados de la estimación de caudales máximos en la cuenca de cada quebrada para los para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En las Figura 77 a la Figura 86 se ilustran de manera gráfica. En el Anexo C Estudios Básicos Hidrodinámica – C2 Hidrológico, se presenta el modelamiento hidrológico para la estimación de los caudales máximos de las cuencas de las 9 quebradas objeto estudio.

El software de cálculo correspondió a la versión 4.2 de Hec-HMS, del cual se incluye su archivo de instalación en el Anexo mencionado.

Figura 76 Áreas aferentes de las cuencas de las quebradas – Condición futura de proyecto



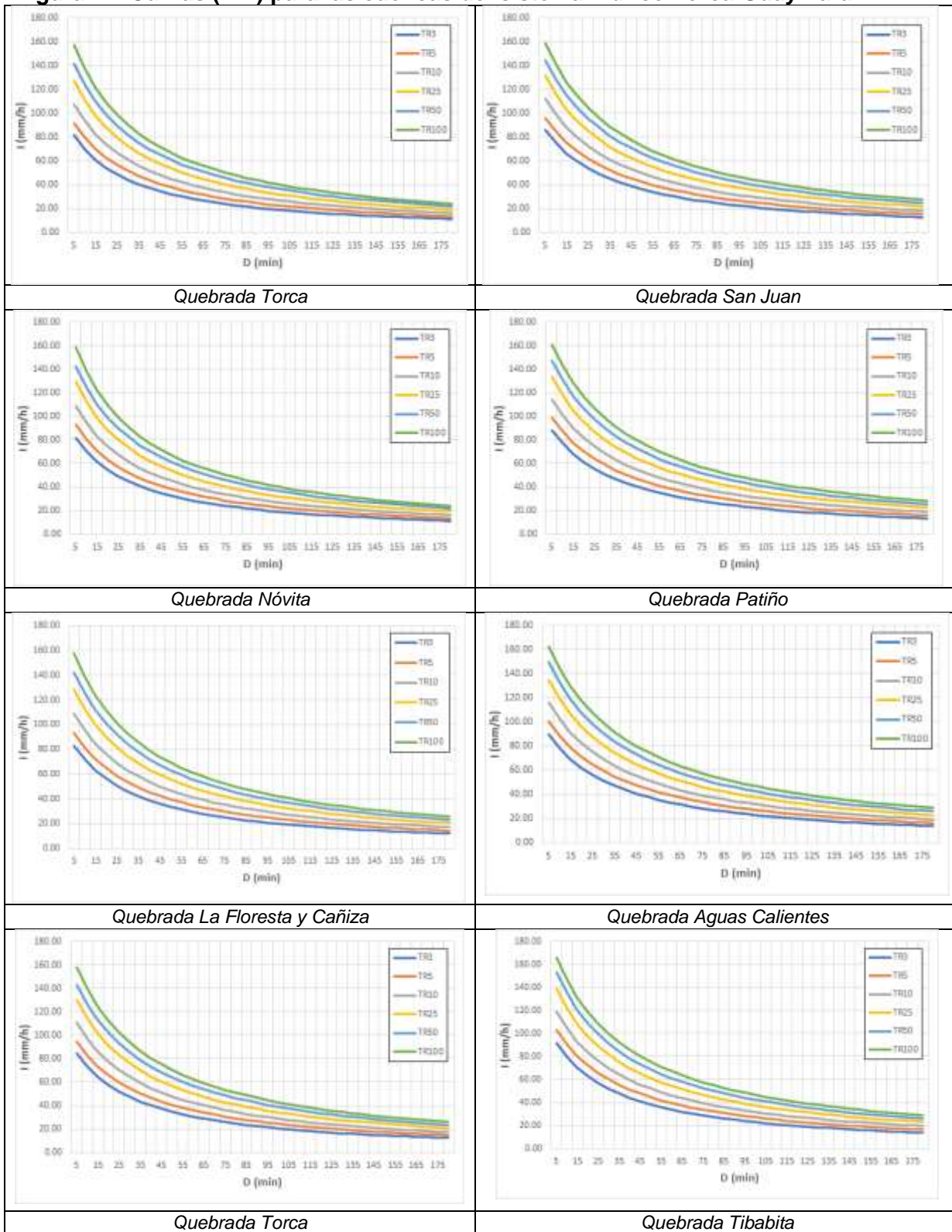
Fuente: WSP, 2020.

Tabla 15. Curvas IDF para cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral

Tr	Quebrada Torca			Quebrada Novita			Quebrada San Juan			Quebrada Patiño		
Años	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2
3	2939.88429	26.3	-1.04145	3128.13858	26.9	-1.05156	4249.92249	31.7	-1.08198	4305.25121	31.9	-1.07673
5	3971.68011	29.7	-1.0618	3922.69961	29.1	-1.0597	5221.50092	34.8	-1.08402	5503.46286	35.5	-1.08591
10	4786.23677	30.4	-1.06391	4715.97027	29.8	-1.06122	5591.89495	34	-1.06621	5777.11443	34.8	-1.06417
25	5919.65659	31.2	-1.06976	5350.8834	29.4	-1.05182	6248.31541	33.9	-1.05423	6272.14608	34.5	-1.04719
50	7358.40382	33.2	-1.08451	7204.24383	32.7	-1.08097	8806.45632	38.3	-1.09091	8483.51291	38	-1.07777
100	7334.84448	31.6	-1.06718	7093.25089	30.9	-1.06149	8304.25235	36.4	-1.06261	8386.24206	37	-1.05758
Tr	Quebrada La Floresta			Quebrada Aguas Calientes			Quebrada Pilas			Quebrada Tibabita		
Años	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2	C1	X0	C2
3	3283.46233	28.1	-1.05065	4329.58512	31.9	-1.07515	3836.67323	30	-1.07354	3914.39978	30.2	-1.05411
5	4227.11292	31.4	-1.0613	5529.07408	35.4	-1.08467	4851.00778	33.2	-1.08125	4469.70501	31.8	-1.04481
10	4939.51952	31.8	-1.05794	5379.63393	33.7	-1.04921	5421.27473	32.8	-1.07092	4873.73904	31.8	-1.03001
25	5637.76605	31.8	-1.04918	6291.81173	34.4	-1.04611	6150.05884	32.7	-1.06176	5313.10273	31.4	-1.01475
50	7763.95401	35.3	-1.08259	7824.33588	36.6	-1.06214	8476.25746	36.8	-1.09396	6474.7691	33.2	-1.02795
100	7211.91249	32.9	-1.05208	8077.0293	36.4	-1.04922	8259.65002	35	-1.07269	6920.54388	33.6	-1.02101

Fuente: Ingetec - EAAB, 2015.

Figura 77. Curvas (IDF) para las cuencas del sistema hídrico Torca-Guaymaral



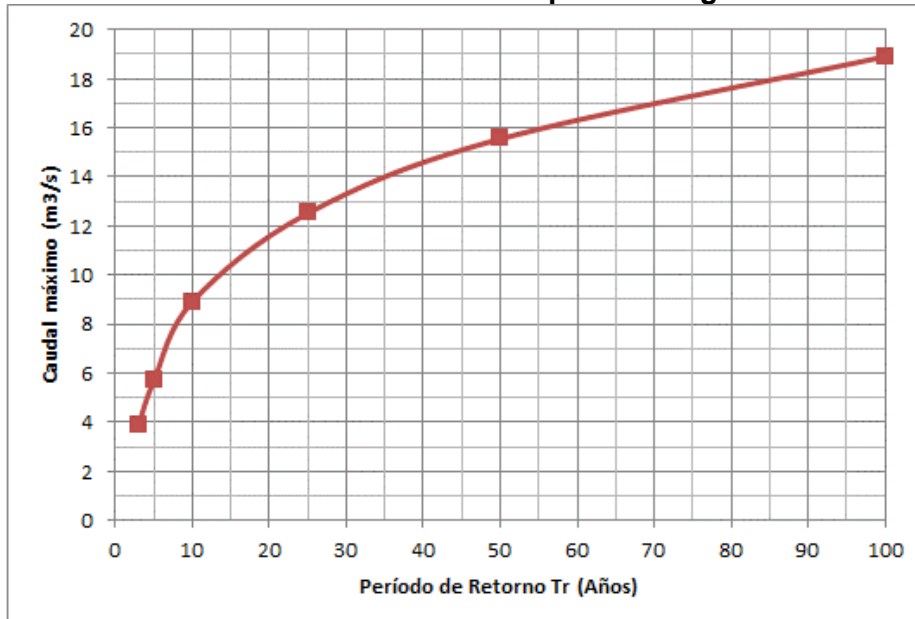
Fuente: Ingetec - EAAB, 2015.

Tabla 16. Caudales máximos en las cuencas de la zona de estudio, para diferentes Tr

Cuenca	Caudales ¹² (m ³ /s)					
	3 Yr	5 Yr	10 Yr	25 Yr	50 Yr	100 Yr
Quebrada Aguas Calientes	3.888	5.693	8.913	12.516	15.549	18.909
Quebrada La Floresta	1.196	3.124	7.127	14.163	20.221	28.023
Quebrada Novita	1.071	1.779	2.841	4.971	6.864	8.989
Quebrada Patiño	1.864	3.233	5.532	8.743	11.230	14.405
Quebrada Pilas	2.823	4.153	6.245	9.261	11.679	14.244
Quebrada San Juan	1.800	3.140	5.995	10.273	13.581	18.142
Quebrada Tibabita	3.671	5.776	8.770	12.706	15.653	18.747
Quebrada Torca	0.245	0.437	0.711	1.651	2.949	4.429
Quebrada Cañiza	1.247	1.894	2.663	3.714	4.515	5.466

Fuente: WSP, 2020.

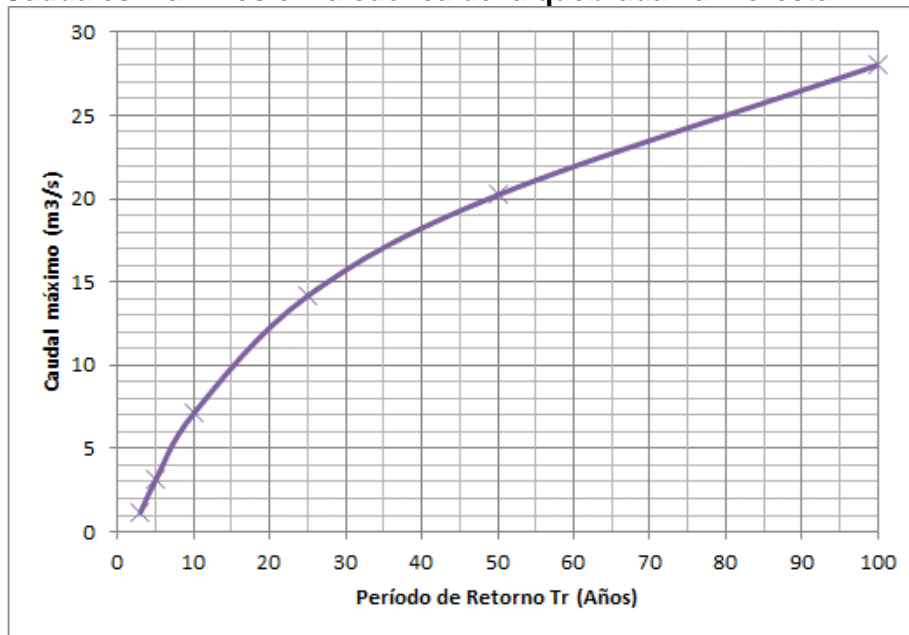
Figura 78. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Aguas Calientes



Fuente: WSP, 2020.

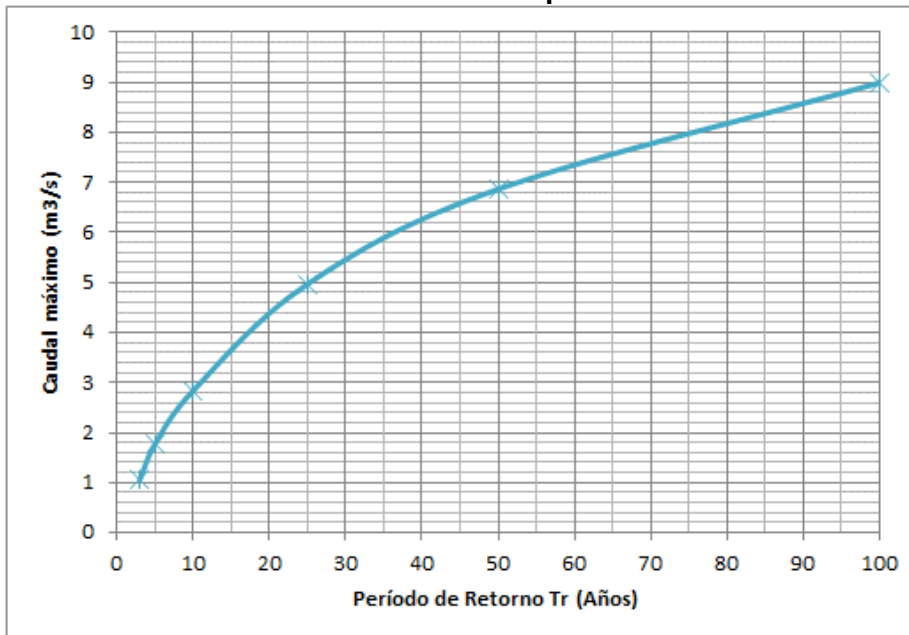
¹² Producto 7. Actualización del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del POZ Norte, WSP, 2019.

Figura 79. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada La Floresta



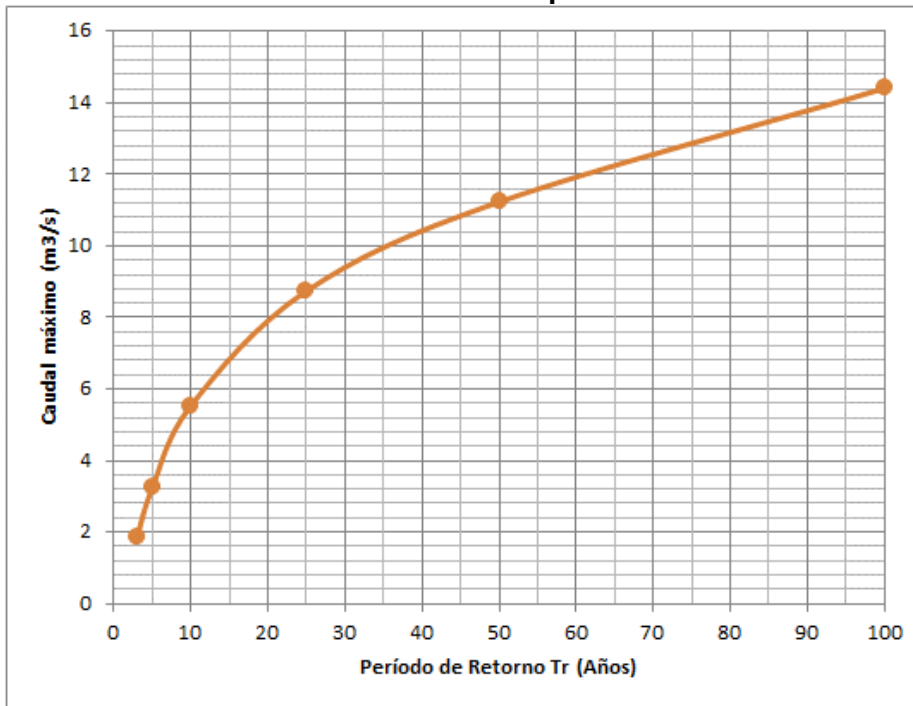
Fuente: WSP, 2020.

Figura 80. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Novita



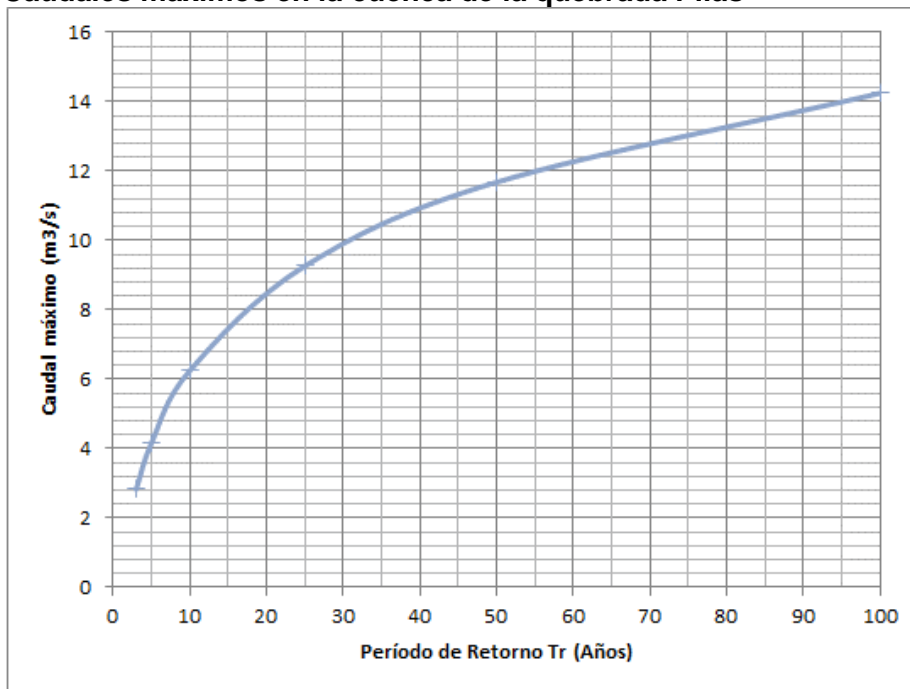
Fuente: WSP, 2020.

Figura 81. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Patiño



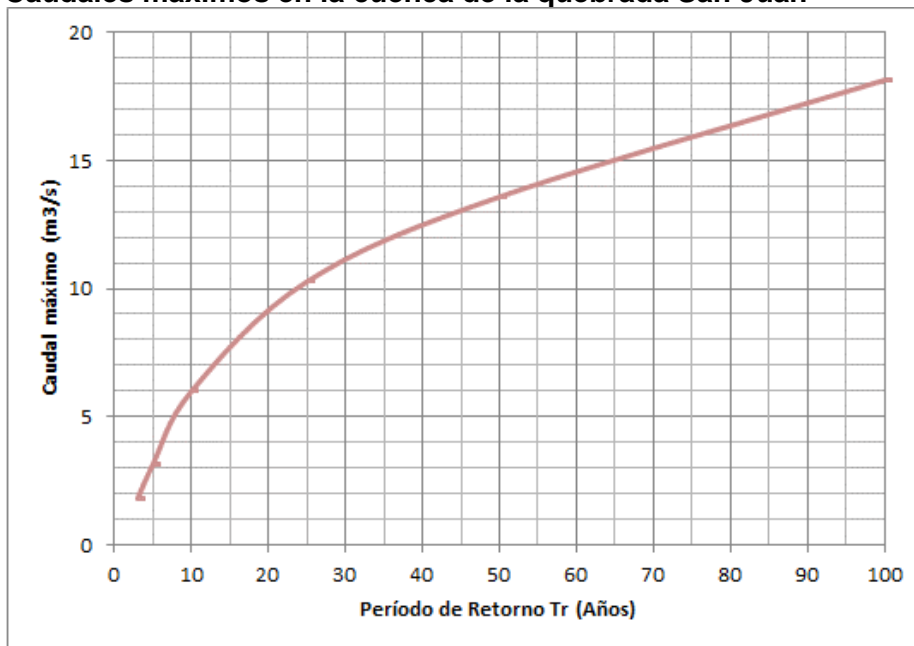
Fuente: WSP, 2020.

Figura 82. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Pilas



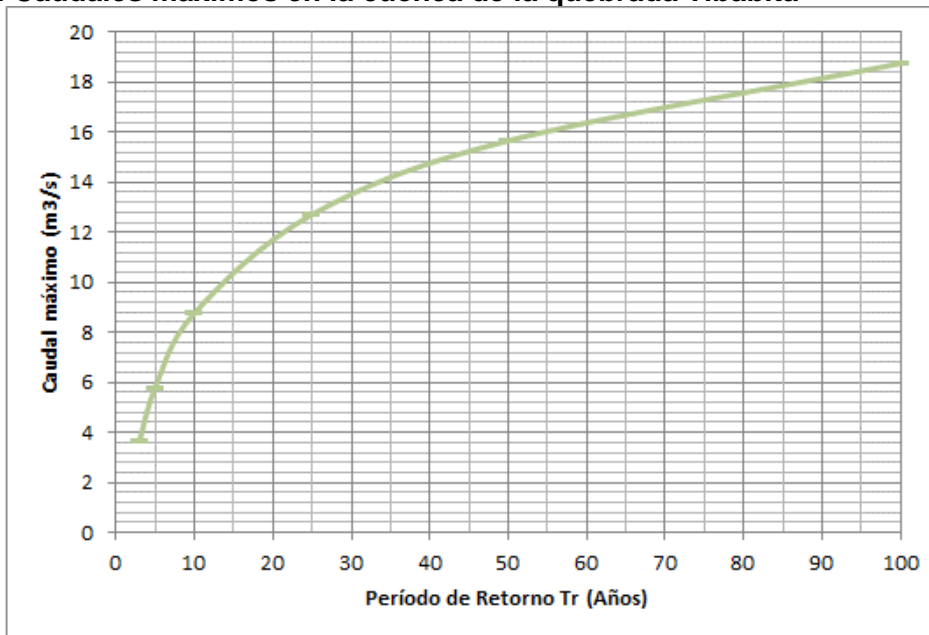
Fuente: WSP, 2020.

Figura 83. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada San Juan



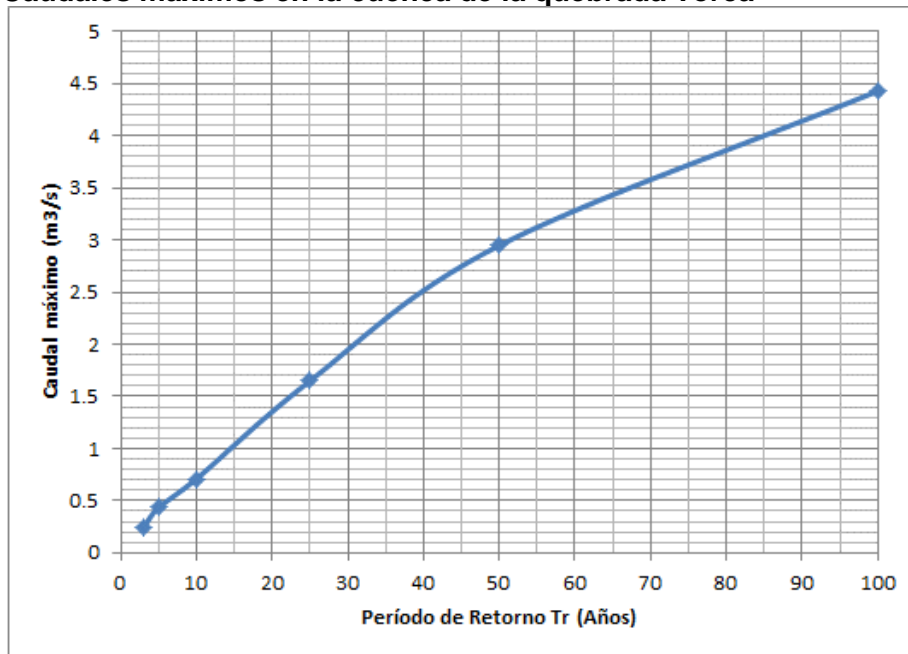
Fuente: WSP, 2020.

Figura 84. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Tibabita



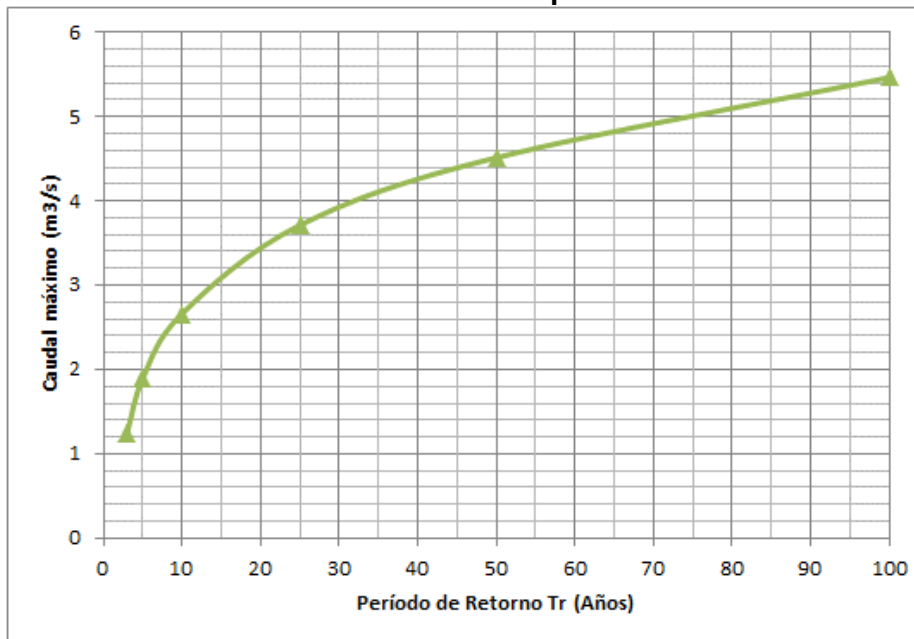
Fuente: WSP, 2020.

Figura 85. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Torca



Fuente: WSP, 2020.

Figura 86. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Cañiza



Fuente: WSP, 2020.

Es pertinente hacer la reiteración que el modelo hidrológico aplicado para el diseño hidráulico de la reconfiguración de las quebradas, está basado en la estimación de los caudales máximos de diseño a partir de precipitaciones generadas mediante curvas IDF, como lo recomienda la Norma NS-085 de la EAAB, para cada una de las cuencas de manera

independiente, procedimiento que difiere con respecto a los caudales estimados a partir del modelo hidrológico espacializado analizado en el Producto 4 de Hidrología y que corresponde al evento de lluvia analizado para la totalidad de la cuenca Torca-Guaymaral y que de igual manera consideró los cambios en la cobertura del suelo a través de los mapas del factor Curva Número para la condición actual y la condición futura. En la **Tabla 17** se presentan el resumen de los caudales empleados para los procedimientos llevados a cabo y su aplicación dentro de los modelos hidráulicos de simulación.

Tabla 17. Comparación de los caudales máximos (m³/s) en las etapas del estudio

QUEBRADA	P4 HEC-HMS*	P7 MODELO HIDRLOGICO P4**	P7 MODELO HIDROLOGICO IDF NORMA NS-085 y NS-163***	Observaciones
	APLICACIÓN			
	Modelamiento hidráulico en 2D de Diagnóstico	Modelamiento hidráulico en 2D de Alternativas	Modelamiento hidráulico de reconformación de quebradas 1D	
Q. Torca	2.9	3.27	4.43	-
Q. Novita	3.4	4.83	8.99	-
Q. Cañiza		2.35	5.47	El cauce de la quebrada Cañiza se restaura y por lo tanto solo se incorpora en el modelo hidrológico de reconformación.
Q. La Floresta	15.8	16.78	28.02	Se presentan modificación de pares de drenaje por la definición de áreas aferentes de la red de alcantarillado propuesto.
Q. Pilas	11.6	7.08	14.24	
Colector El Jardín		3.42	-	Este efluente se conforma a partir de áreas de drenaje que se sustraen de la cuenca de la q. San Juan y Las Pilas y hace su descarga en el sector Torca del Humedal, a través de la nueva vía Avenida El Jardín.
Q. San Juan	11.59	8.88	18.14	
Q. Patiño	2.3	5.76	14.41	La cuenca aferente se modifica según redes de alcantarillado previstas para el sector al sur de la quebrada San Juan y entre la Carrea 7 ^a y la vía Férrea (Ave. Novena)
Q. Aguas Calientes	8.5	8.52	18.91	-
Colector Buenavista		7.47	-	Este efluente se conforma a partir de áreas de drenaje que se sustraen de la cuenca de la q. Tibabita y la q. Aguas Calientes y hace su descarga en el sector Torca del Humedal, zona del Cementerio Jardines de Paz.
Q. Tibabita	11.74	6.69	18.75	

QUEBRADA	P4 HEC-HMS*	P7 MODELO HIDROLÓGICO P4**	P7 MODELO HIDROLÓGICO IDF NORMA NS-085 y NS-163***	Observaciones
	APLICACIÓN			
	Modelamiento hidráulico en 2D de Diagnóstico	Modelamiento hidráulico en 2D de Alternativas	Modelamiento hidráulico de reconformación de quebradas 1D	
Canal Torca	112.34	117.49	-	La cuenca del Canal Torca tiene modificación en las áreas de drenaje del costado occidental de la Autopista Norte, que con el proyecto drenarán a través del Canal Guaymaral, en el sector de Cementerio Jardines del Recuerdo.

* Caudales generados a partir del Modelo Hidrológico del Producto 4: Modelo hidrológico distribuido temporal y espacialmente. Las cuencas corresponden a la delimitación natural actual.

** Caudales generados a partir de un modelo de simulación hidrológico implementado en el Producto 4, distribuido temporal y espacialmente en la cuenca Torca-Guaymaral. Las áreas de drenaje han sido ajustadas a las determinadas por las redes de alcantarillado propuesto para el drenaje pluvial de las zonas urbanas proyectadas, dentro del Plan Zonal Lagos de Torca.

*** Caudales generados de manera independiente para cada cuenca, según lo establece la Norma NS-085 y NS-163 de la EAAB. No se aplican modelos de distribución temporal o espacial. Las áreas de drenaje han sido ajustadas a las determinadas por las redes de alcantarillado propuesto para el drenaje pluvial de las zonas urbanas proyectadas, dentro del Plan Zonal Lagos de Torca.

Fuente: WSP, 2020.

Pendiente de equilibrio y control geomorfológico

En términos prácticos el diseño hidráulico para el control geomorfológico de las quebradas significa reducir la pendiente de la solera, para dar lugar a menores valores de la velocidad de flujo. Para llegar al mismo objetivo, teóricamente puede considerarse la reducción de la profundidad hidráulica, aunque en la práctica esta medida normalmente no es posible llevarla a cabo.

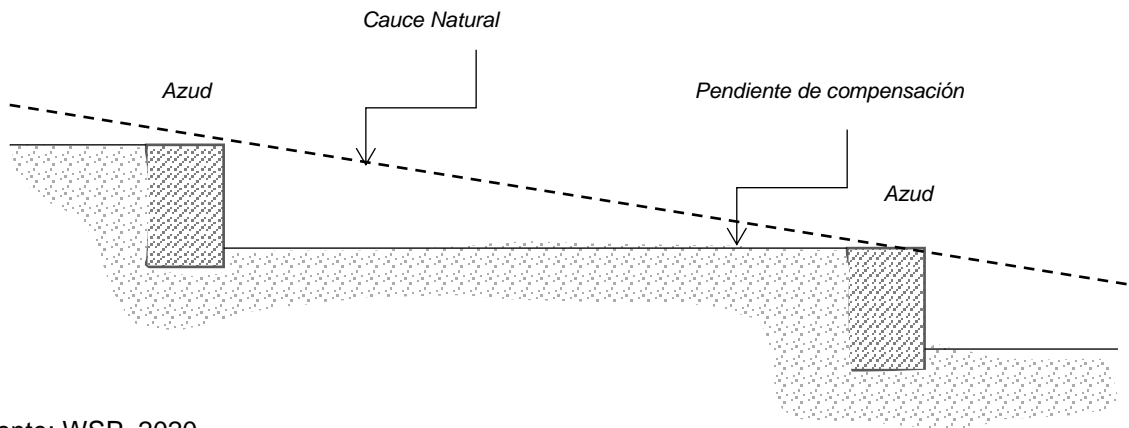
La solución a los problemas de inestabilidad en la morfología del cauce principal, consiste en reducir la fuerza erosiva de la corriente disminuyendo la velocidad del agua, a través de pendientes longitudinales menores y secciones más amplias del cauce. Esta disminución se logra al realizar una serie de saltos de fondo, con obras transversales hasta lograr un tratamiento en forma de escalas. La nueva pendiente del cauce se denomina “pendiente de compensación o de equilibrio”, como se muestra en la **Figura 87**.

La reducción de la pendiente se materializará por medio de estructuras transversales a manera de vertederos de cresta ancha (azudes). Estos elementos se rellenarán con los sedimentos transportados desde aguas arriba, dando lugar a tramos de menor pendiente.

La corrección hidrológica para la retención de sedimentos, como se describió en un aparte anterior, tiene como objetivo básico reducir el volumen de sedimentos que llegan a la cuenca

baja y controlar la energía cinética de la corriente, que causan el azolve o socavación del fondo o las márgenes de las quebradas.

Figura 87. Perfil de reconformación hidrogeomorfológica de quebradas



Fuente: WSP, 2020

Una forma de determinar, en forma aproximada, la pendiente de compensación de un cauce, se logra a partir de la velocidad límite de arrastre de los materiales por el agua, de la siguiente manera:

$$i_e = \frac{(V \times U)^{\frac{10}{3}} \times B^{\frac{4}{3}} \times n^2}{Q^{\frac{4}{3}}}$$

En donde:

i_e : Pendiente estable o de equilibrio

U : Velocidad máxima permisible a la cual empieza la erosión.

V : Relación entre la velocidad media y la velocidad en el fondo del cauce (varía entre 1,3 y 1,5)

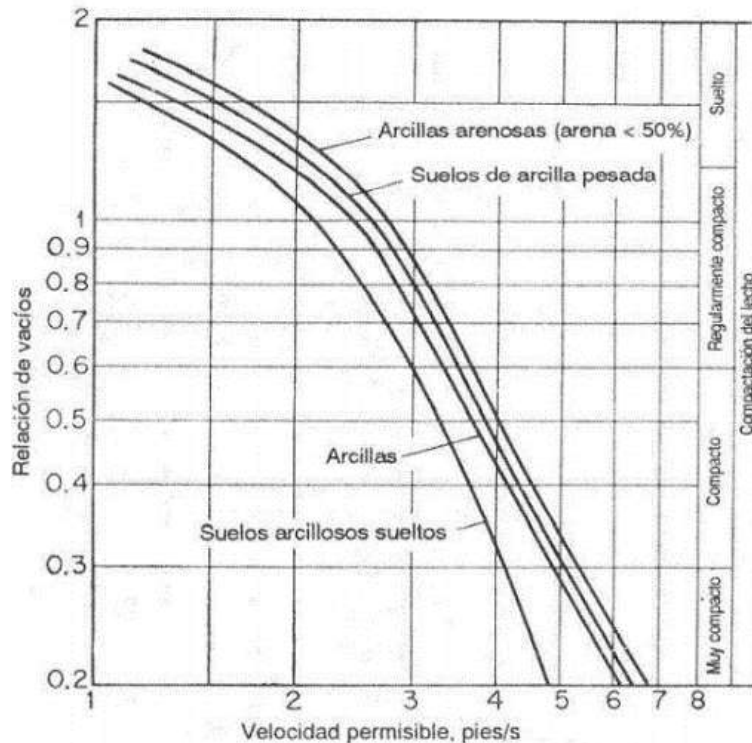
B : Perímetro mojado que puede considerarse igual al ancho del cauce.

n : Coeficiente de rugosidad del río.

Q : Caudal de diseño.

La velocidad máxima permisible a la cual empieza la erosión, se obtiene a partir como el de la Figura 92, para suelos cohesivos.

Figura 88. Velocidad permisible para suelos cohesivos



Fuente. Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow, 1996. Figura 7.4

La reducción de la pendiente a través de las estructuras transversales permite crear las bases para el desarrollo del flujo en régimen subcrítico ($Fr < 1$), con lo que se consiguen velocidades menores, menos agresivas a las desarrolladas en régimen supercrítico ($Fr > 1$).

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta que los lechos de las quebradas se conforman de arcillas sueltas mediamente compactas, se establece un valor de velocidad máxima del flujo de agua, entre 3 a 4 ft/s (1.05 m/s), con lo que se realiza la estimación de la pendiente de equilibrio que se indica en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Estimación de la pendiente de equilibrio para la adecuación de cauces de quebradas

Quebrada	Tramo	Q	B	n	Fr	i (m/m) Compensación
		m ³ /s	m			
Tibabita	Carrera 7 - Carrera 9	12.00	2.00	0.050	0.145	0.000550
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	15.20	3.00	0.050	0.147	0.000689
	Av. Sta Bárbara - Canal Torca	18.75	3.00	0.050	0.149	0.000521
Aguas Calientes	Carrera 7 - Carrera 9	6.38	3.00	0.050	0.140	0.002192
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	12.63	3.00	0.050	0.146	0.000882
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.91	3.00	0.050	0.150	0.000515

Quebrada	Tramo	Q	B	n	Fr	i (m/m)
		m ³ /s	m			Compensación
Patiño	Carrera 7 - Carrera 9	4.45	2.00	0.050	0.137	0.002063
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	6.27	2.00	0.050	0.140	0.001306
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	14.40	2.00	0.050	0.147	0.000431
San Juan	Carrera 7 - Carrera 9	6.43	4.00	0.050	0.139	0.003183
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	7.05	4.00	0.050	0.140	0.002815
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.14	4.00	0.050	0.149	0.000798
Las Pilas	Carrera 7 - AutoNorte	9.22	3.00	0.050	0.230	0.001342
	AutoNorte - Humedal	14.24	3.00	0.050	0.243	0.000751
La Floresta	Carrera 7 - Carrera 9	26.24	3.00	0.050	0.293	0.000333
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	28.02	3.00	0.050	0.153	0.000305
Cañiza	Carrera 9 - AutoNorte	3.28	2.00	0.050	0.134	0.003099
	AutoNorte - Canal Guaymaral	5.47	2.00	0.050	0.138	0.001569
Nóvita	Carrera 7 - Carrera 9	5.54	2.00	0.050	0.139	0.001541
	Carrera 9 - AutoNorte	7.71	2.00	0.050	0.142	0.000992
	AutoNorte - Canal Guaymaral	8.99	2.00	0.050	0.143	0.000808
Torca	Total	4.43	2.00	0.050	0.136	0.002077

Fuente: WSP, 2020

A partir de la Tabla anterior se establece que una pendiente de 0.0005 m/m de reconformación para el sistema de las quebradas y especialmente en el tramo comprendido entre la Avenida Novena y las desembocaduras, es la más adecuada para garantizar el control geomorfológico del cauce. En el tramo comprendido entre la Carrera Novena y la Carrera Séptima, a pesar de que la adecuación de esa zona emplea una pendiente similar a la indicada, la ingeniería de detalle podrá hacer análisis específicos de cada quebrada, con el objeto de establecer las condiciones de captación y descarga de los flujos de agua provenientes de la cuenca alta y su manejo en este tramo inicial que requerirá de la evaluación del tipo de sedimento del lecho y la pendiente topográfica, y evaluar el tipo de flujo que se generaría, sea este de tipo rasante o saltante, para de esta manera establecer el tipo de manejo requerido de cada cauce.

Diseño hidráulico del cauce rectificad

Para el diseño del cauce rectificad, el cálculo de la hidráulica del flujo se halló por medio de la fórmula de Manning para flujo uniforme, teniendo en cuenta las características de la sección definida, la pendiente longitudinal del terreno actual y un coeficiente de rugosidad de Manning para conducciones a lámina libre sin revestimiento de paredes, con lo cual el valor de este coeficiente es de 0.050, como lo sugiere la norma NS-085 de la EAAB. Este coeficiente se asumió con el fin de tener en cuenta el estado natural de funcionamiento, es decir con cobertura vegetal baja. A pesar de que este valor de rugosidad es un poco alto para las condiciones de un cauce reconformado, se considera que incorpora el efecto

integral generado por obras de paso, caídas y material de arrastre, a lo largo del cauce, así como también las condiciones futuras de las márgenes, cuando estas se encuentren cubiertos de matorrales bajos y vegetación arbustiva de mediano porte, como lo que busca la restauración ecosistémica del corredor ecológico.

Para la definición de la sección del canal en tierra se empleó la ecuación de Manning así:

$$Q = \frac{A R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

En donde:

Q: caudal en m³/s.

A: área mojada en m².

R: radio hidráulico en m.

S: pendiente del canal: 0.0005 m/m (Pendiente de equilibrio)

n: coeficiente de rugosidad.

Basados en los criterios geométricos descritos, se procede a realizar un predimensionamiento inicial de la sección adoptada a cada tramo de las quebradas, de acuerdo con las condiciones topográfica actuales del lecho (pendiente longitudinal), la geometría de las bancas y el caudal estimado para cada subtramo de la cuenca a tratar. En la **Tabla 19** se presenta el predimensionamiento de la sección de adecuación en cada cauce por tramos.

Tabla 19. Predimensionamiento de la adecuación de cauces de quebradas

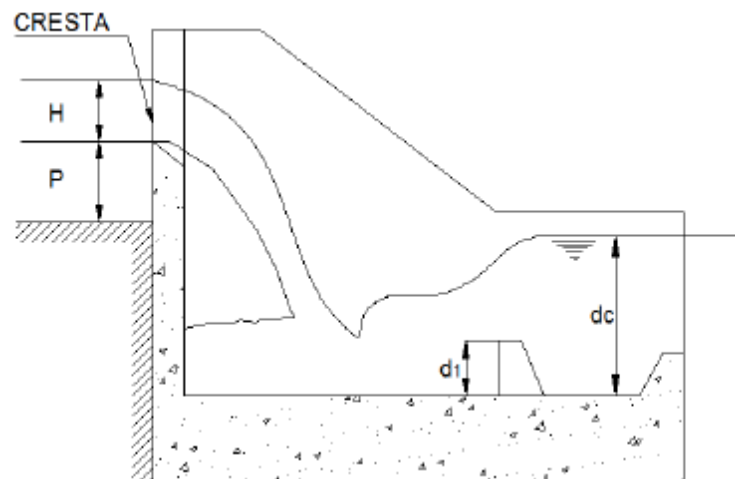
Quebrada	Tramo	Q	B	Yn	Yt	z	Area	Pw	Rh	S	n	Fr	Veloc	T
		m3/s	m	m	m	m/m	m2	m	m	m/m			m/s	m
Tibabita	Carrera 7 - Carrera 9	12.00	2.00	2.210	2.60	4.000	23.9651	20.23	1.18	0.0005	0.050	0.145	0.501	19.68
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	15.20	3.00	2.328	2.74	4.000	28.6628	22.20	1.29	0.0005	0.050	0.147	0.530	21.62
	Av. Sta Bárbara - Canal Torca	18.75	3.00	2.544	2.99	4.000	33.5267	23.98	1.40	0.0005	0.050	0.149	0.559	23.35
Aguas Calientes	Carrera 7 - Carrera 9	6.38	3.00	1.727	2.03	3.000	14.1275	13.92	1.01	0.0005	0.050	0.140	0.452	13.36
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	12.63	3.00	2.342	2.76	3.000	23.4879	17.81	1.32	0.0005	0.050	0.146	0.538	17.05
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.91	3.00	2.791	3.28	3.000	31.7457	20.65	1.54	0.0005	0.050	0.150	0.596	19.75
Patiño	Carrera 7 - Carrera 9	4.45	2.00	1.588	1.87	3.000	10.7404	12.04	0.89	0.0005	0.050	0.137	0.414	11.53
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	6.27	2.00	1.843	2.17	3.000	13.8728	13.65	1.02	0.0005	0.050	0.140	0.452	13.06
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	14.40	2.00	2.621	3.08	3.000	25.8442	18.57	1.39	0.0005	0.050	0.147	0.557	17.72
San Juan	Carrera 7 - Carrera 9	6.43	4.00	1.511	1.78	4.000	15.1773	16.46	0.92	0.0005	0.050	0.139	0.424	16.09
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	7.05	4.00	1.577	1.85	4.000	16.2482	17.00	0.96	0.0005	0.050	0.140	0.434	16.61
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.14	4.00	2.407	2.83	4.000	32.8018	23.85	1.38	0.0005	0.050	0.149	0.553	23.26
Las Pilas	Carrera 7 - AutoNorte	9.22	3.00	1.624	1.91	3.000	12.7893	13.27	0.96	0.0005	0.050	0.230	0.721	12.75
	AutoNorte - Humedal	14.24	3.00	1.951	2.30	3.000	17.2774	15.34	1.13	0.0005	0.050	0.243	0.824	14.71
La Floresta	Carrera 7 - Carrera 9	26.24	3.00	2.181	2.57	4.000	25.5793	20.99	1.22	0.0005	0.050	0.293	1.026	20.45
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	28.02	3.00	3.011	3.54	4.000	45.2878	27.83	1.63	0.0005	0.050	0.153	0.619	27.09
Cañiza	Carrera 9 - AutoNorte	3.28	2.00	1.278	1.50	4.000	9.0896	12.54	0.72	0.0005	0.050	0.134	0.361	12.22
	AutoNorte - Canal Guaymaral	5.47	2.00	1.591	1.87	4.000	13.3081	15.12	0.88	0.0005	0.050	0.138	0.411	14.73
Nóvita	Carrera 7 - Carrera 9	5.54	2.00	1.747	2.06	3.000	12.6478	13.05	0.97	0.0005	0.050	0.139	0.438	12.48
	Carrera 9 - AutoNorte	7.71	2.00	2.014	2.37	3.000	16.1912	14.74	1.10	0.0005	0.050	0.142	0.476	14.08
	AutoNorte - Canal Guaymaral	8.99	2.00	2.149	2.53	3.000	18.1596	15.59	1.16	0.0005	0.050	0.143	0.495	14.90
Torca	Total	4.43	2.00	1.455	1.71	4.000	11.3727	13.99	0.81	0.0005	0.050	0.136	0.389	13.64

Fuente: WSP, 2020

Para mantener esta condición, al pie de cada estructura de caída deberá disiparse la energía cinética ganada por el chorro, desarrollándose un sistema con cambios de régimen subcrítico-supercrítico-subcrítico de manera alternada. En estas condiciones puede afirmarse que el flujo se encuentra bajo control.

La disipación de la energía cinética puede lograrse aplicando diferentes medidas, a saber: generación de resalto hidráulico, impacto o incremento de la rugosidad. La estructura disipadora de energía es una parte importante de la obra de excedencia que tiene por objeto disipar la energía cinética que el agua adquiere en su caída desde el vaso hasta un sitio adecuado en el fondo del cauce, donde no genere problemas de erosión o socavación. Estas estructuras se diseñarán para que el agua, que sale del canal de descarga, se aleje lo máximo posible, dentro de lo económico, de la cortina o de alguna estructura complementaria.

Figura 89. Detalle del resalto a la salida de control geomorfológico



Teniendo en cuenta la erodabilidad de los lechos actuales de las quebradas, se implementa un lecho de amortiguación en concreto fundamentado en la ampliación de la rugosidad para la generación del resalto hidráulico del Tipo USBR (Chow, 1994).

Al final del lecho se considerado pertinente el empleo de una zona de transición en enrocado para el control, de la posible erosión del lecho de amortiguación. Se considera que esta es la obra disipadora de energía más apropiada para pequeñas presas de almacenamiento de acuerdo con las condiciones topográficas y morfológicas propias de cada quebrada.

Estos azudes tienen una altura entre 0.50 a 1.00 m por lo que no afectarán a la punta del hidrograma en el caso de eventos de avenidas extremos; es decir que su función básica será la retención de sedimentos y no como amortiguación de eventos hidrológicos.

Diseño del lecho amortiguador

Estos elementos de protección del cauce frente a la erosión de las aguas de vertido se fundamentan en evitar que estas aguas estén en contacto con los materiales incoherentes

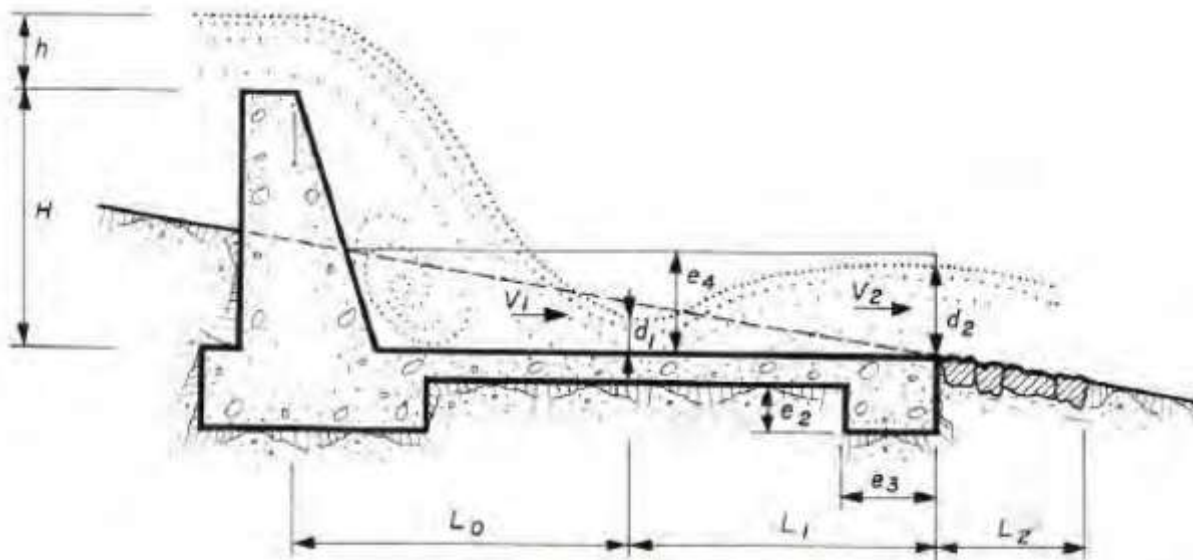
del cauce mientras mantengan una velocidad superior a la del régimen ordinario en el tramo libre de aguas abajo, por causa del régimen rápido producido por el escalón en la corriente a que da lugar el azud.

Esto se consigue gracias a la interposición de una solera de materiales resistentes a la erosión, bien por su tamaño superior a la capacidad de arrastre de las velocidades del agua existente en el tramo, bien por formar una estructura no erosionable, con fábrica de mampostería ordinaria o concreto.

El tipo de disipador de energía que se ha diseñado depende de la clase de material del lecho. Cuando se tenga roca sana, se puede descargar el agua directamente del vertedor, en régimen rápido, sin necesidad de pasar a régimen tranquilo. Si el material es erosionable, se diseña un hecho de amortiguación en concreto fundamentado en la ampliación de la rugosidad para la generación del resalto hidráulico (Chow, 1994).

La **Figura 90** se presenta algunas características básicas de importancia en un resalto, hidráulico a considerar en el diseño de los azudes y el colchón de amortiguación a la salida.

Figura 90. Esquema de funcionamiento del lecho disipador de energía en un canal



Al final del lecho se ha considerado pertinente el empleo de una zona de transición en enrocado para el control, de la posible erosión del lecho de amortiguación. Se considera que esta es la obra disipadora de energía más apropiada para pequeñas presas de almacenamiento de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas propias de la descarga.

El dimensionamiento geométrico es como sigue:

$$e2 = 0.5 m$$

$$e3 < 2e2$$

$$e4 = 1.2 d2$$

$$L_0 = (2Hh + h^2)0.5$$

$$L_2 = 4d^2$$

Para la contracción o control del resalto hidráulico e impedir que este se extienda hacia aguas abajo, se propone la instalación de bloques en el fondo del colchón, según lo se define en el Manual de Pequeñas Obras Hidráulicas el USBR. Para las condiciones del Número de Froude, el elemento que se propone será el de Tipo IV.

En la **Tabla 20** se presenta el dimensionamiento de los cuencos de disipación para cada tramo de quebrada.

Es de notar la existencia de la Red Matriz Tibitoc-Usaquén de 1.50 m de diámetro, que tiene un trazado paralelo a la Línea Férrea o Futura Avenida Laureano Gómez, la cual ha sido tenido en cuenta dentro de los cruces de las quebradas bajo esta vía, mediante la incorporación de una estructura hidráulica y la modificación del fondo de reconfiguración de cada cuerpo de agua en el sector de la vía. En el Anexo 5 se presenta el informe de identificación de las interferencias, así como las recomendaciones para su manejo.

Modelamiento hidráulico

Para el modelamiento del comportamiento hidráulico de las quebradas se aplicó el software Hec-RAS 1D, en el cual se consideraron los siguientes parámetros de control, de borde:

- Batimetrías: A partir del modelo de terreno (MDT) generado en el Producto 2.
- Caudal de diseño: Caudal máximo estimado en la Tabla 16.
- Rugosidad de Manning: aplicado para canales sin revestimiento con vegetación baja.
- Régimen de simulación: subcrítico, con control general en la desembocadura de la quebrada y local en las estructuras de vertedero (azud)
- Nivel de entrega: Nivel para Tr 100 años en el Canal Torca, Humedal o el Canal Guaymaral.

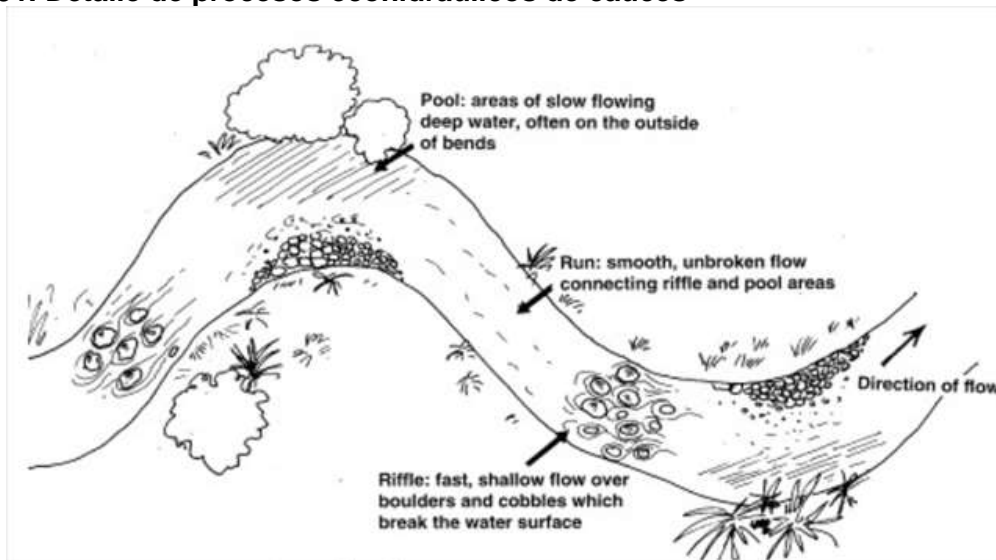
La definición de la lámina máxima de inundación para la condición de reconfiguración se estableció a partir de los resultados del modelamiento hidráulico de cada quebrada, asumiendo una sección trapezoidal, de base entre 2 y 3 m y taludes 1:3 a 1:4, como se ha recomendado desde el componente ecosistémico para posibilitar la regeneración vegetal en las márgenes de los cauces. El ancho de fondo mínimo establecido para las adecuaciones de las quebradas, corresponde al de un cauce que permita, durante la ocurrencia de los caudales medios, la generación de sinuosidades, áreas de depositación (*pools*) y de resaltos (*riffles*), que permitan la ocurrencia de microhábitats, así como la aireación de la corriente (Figura 91).

Tabla 20. Dimensionamiento de cuencos de disipación en los cauces de quebradas

QUEBRADA	TRAMO	Caudal m ³ /s	DISEÑO DE VERTEDEROS							Resalto Hidráulico				Cuenco de amortiguación Tipo IV				
			TR100	ANCHO	Hd 100	V1	Y1	F1	Y2	Yn	Tipo	Lo	L1	L2	e2	e3	e4	L/D2
Tibabita	Carrera 7 - Carrera 9	12.00	2.00	2.20	7.60	0.79	2.73	2.68	2.21	Control de Fondo	2.85	7.17	10.72	0.80	1.60	3.22	3.31	8.86
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	15.20	3.00	1.96	7.29	0.69	2.79	2.42	2.33	Control de Fondo	2.61	6.40	9.68	0.80	1.60	2.90	3.32	8.04
	Av. Sta Bárbara - Canal Torca	18.75	3.00	2.26	7.68	0.81	2.72	2.75	2.54	Control de Fondo	2.91	7.37	10.99	0.80	1.60	3.30	3.30	9.08
Aguas Calientes	Carrera 7 - Carrera 9	6.38	3.00	1.10	6.02	0.35	3.24	1.45	1.73	Ahogado	1.69	3.59	5.80	0.80	1.60	1.74	3.44	4.98
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	12.63	3.00	1.74	6.98	0.60	2.87	2.16	2.34	Ahogado	2.37	5.66	8.66	0.80	1.60	2.60	3.34	7.24
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.91	3.00	2.27	7.70	0.82	2.72	2.76	2.79	Ahogado	2.93	7.41	11.05	0.80	1.60	3.31	3.30	9.12
Patiño	Carrera 7 - Carrera 9	4.45	2.00	1.14	6.08	0.37	3.21	1.49	1.59	Ahogado	1.73	3.70	5.95	0.80	1.60	1.79	3.43	5.10
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	6.27	2.00	1.43	6.53	0.48	3.01	1.82	1.84	Ahogado	2.04	4.65	7.27	0.80	1.60	2.18	3.38	6.14
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	14.40	2.00	2.48	7.96	0.90	2.67	3.00	2.62	Control de Fondo	3.15	8.10	11.99	0.80	1.60	3.60	3.29	9.86
San Juan	Carrera 7 - Carrera 9	6.43	4.00	0.91	5.71	0.28	3.44	1.23	1.51	Ahogado	1.49	2.98	4.94	0.80	1.60	1.48	3.48	4.30
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	7.05	4.00	0.97	5.81	0.30	3.37	1.30	1.58	Ahogado	1.55	3.17	5.20	0.80	1.60	1.56	3.47	4.51
	Av. Sta. Bárbara - Humedal	18.14	4.00	1.82	7.10	0.64	2.84	2.26	2.41	Ahogado	2.46	5.95	9.05	0.80	1.60	2.72	3.33	7.55
Las Pilas	Carrera 7 - AutoNorte	9.22	3.00	1.41	6.50	0.47	3.02	1.80	1.62	Control de Fondo	2.02	4.59	7.18	0.80	1.60	2.16	3.38	6.07
	AutoNorte - Humedal	14.24	3.00	1.88	7.18	0.66	2.82	2.33	1.95	Control de Fondo	2.52	6.13	9.31	0.80	1.60	2.79	3.33	7.75
La Floresta	Carrera 7 - Carrera 9	26.24	3.00	2.83	8.37	1.04	2.62	3.38	2.18	Control de Fondo	3.50	9.22	13.51	0.80	1.60	4.05	3.28	11.06
	Carrera 9 - Av. Sta. Bárbara	28.02	3.00	2.95	8.52	1.10	2.60	3.52	3.01	Control de Fondo	3.63	9.63	14.07	0.80	1.60	4.22	3.27	11.51
Cañiza	Carrera 9 - AutoNorte	3.28	2.00	0.93	5.73	0.29	3.42	1.25	1.28	Ahogado	1.50	3.02	4.99	0.80	1.60	1.50	3.48	4.35
	AutoNorte - Canal Guaymaral	5.47	2.00	1.30	6.34	0.43	3.08	1.68	1.59	Control de Fondo	1.91	4.24	6.71	0.80	1.60	2.01	3.40	5.70
Nóvita	Carrera 7 - Carrera 9	5.54	2.00	1.31	6.36	0.44	3.08	1.69	1.75	Ahogado	1.92	4.28	6.76	0.80	1.60	2.03	3.40	5.74
	Carrera 9 - AutoNorte	7.71	2.00	1.64	6.84	0.56	2.91	2.05	2.01	Control de Fondo	2.27	5.34	8.22	0.80	1.60	2.46	3.35	6.89
	AutoNorte - Canal Guaymaral	8.99	2.00	1.81	7.09	0.63	2.84	2.25	2.15	Control de Fondo	2.45	5.91	9.00	0.80	1.60	2.70	3.34	7.51
Torca	Total	4.43	2.00	1.13	6.07	0.36	3.21	1.48	1.45	Control de Fondo	1.73	3.69	5.93	0.80	1.60	1.78	3.43	5.09

Fuente: WSP, 2020

Figura 91. Detalle de procesos ecohidráulicos de cauces



Fuente: Water Quality, Prevention, Identification and Management of diffuse Pollution, 1994.

Básicamente los cálculos hidráulicos se efectuaron utilizando el modelo HEC RAS. El modelo HEC RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) especialmente para el análisis de ríos y canales.

El modelo está en capacidad de manejar flujo no permanente y permanente en régimen subcrítico, supercrítico y mixto. HEC RAS utiliza la ecuación de fuerza específica, que es derivada de la ecuación de cantidad de movimiento, para determinar qué tipo de régimen controla el flujo y la localización de resaltos hidráulicos en caso que se presenten. En el caso de régimen mixto el modelo sigue un procedimiento basado en los perfiles subcrítico y supercrítico y en la fuerza específica. A pesar de que la morfología de la adecuación de la quebrada sugiere la ocurrencia de los tres regímenes de flujo, para el caso del dimensionamiento de los canales de reconfiguración del cauce principal de las quebradas, se ha considerado el régimen subcrítico, dado que es el que genera los mayores niveles en la lámina de agua transitada en cada canal, con miras a la definición de la profundidad del cauce rectificado.

En el caso de las obras de cruce a flujo libre, HEC RAS realiza un procedimiento basado en la cantidad de movimiento en el que define si el flujo es completamente subcrítico, si pasa por la profundidad crítica en el sitio de control aguas abajo, o si se presenta un resalto hidráulico.

Para los casos en que se tiene flujo libre los métodos de energía y cantidad de movimiento son aplicables. Ambos métodos tienen en cuenta pérdidas por fricción y cambios en geometría a través de la obra de cruce.

Los perfiles hidráulicos se calculan de una sección transversal a la siguiente aplicando el método de los pasos Standard.

El procedimiento parte de la ecuación de energía expresada así:

$$Y_2 + Z_2 + V_2^2/2g = Y_1 + Z_1 + V_1^2/2g + h_e$$

donde:

Y: Profundidad del flujo en las secciones transversales
Z: Elevación del fondo del canal principal
V: Velocidad media del flujo
g: aceleración de la gravedad
h_e: Pérdidas de la cabeza de energía

Las pérdidas de la cabeza de energía entre dos secciones consecutivas consisten en las pérdidas por fricción y las pérdidas por expansión y contracción y se expresan así:

$$h_e = L S_f + C[V_2^2/2g - V_1^2/2g]$$

donde:

L: Distancia ponderada entre secciones consecutivas
C: Coeficiente de pérdidas por expansión o contracción
S_f : Pendiente de la línea de energía entre dos secciones
La pendiente de la línea de energía en cada sección se calcula con base en la ecuación de Manning así:

$$S_f = (Q/k)^2 \\ K = (AR^2/3)/n$$

donde:

n : Coeficiente de rugosidad de Manning
Q : Caudal
A: Área del flujo
R: Radio hidráulico

La definición de la lámina máxima de inundación para la condición de reconformación se estableció a partir de los resultados del modelamiento hidráulico de cada quebrada, asumiendo una sección trapezoidal, de base entre 3 y 4 m y taludes 1:4, como se ha recomendado desde el componente ecosistémico para posibilitar la regeneración vegetal en los márgenes de los cauces.

El archivo de instalación de la versión del programa HecRAS 5.0.5 se incluye en el Anexo 3. (3.2.3 Reconformación de Quebradas).

En el Anexo 3 – Modelos Hidráulicos, se presentan los modelos de simulación hidráulica para las adecuaciones de las quebradas de la zona oriental de la cuenca Torca-Guaymaral.

Análisis de Resultados

Quebrada Tibabita

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Tibabita para la consideración de reconformación es la que se presenta en la Tabla 21, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 0.50 m a 2.0 m y velocidades de flujo entre 0.83 m/s a 2.4 m/s. En este trazado se localizan tres obras de cruce tipo box culvert que corresponden a las que se proyectan sobre la Avenida Santa Bárbara (5.0x2.5m), sobre la Avenida Jorge Uribe Botero (5.0x2.0m) y sobre la Avenida Laureano Gómez (6.0x1.35m doble).

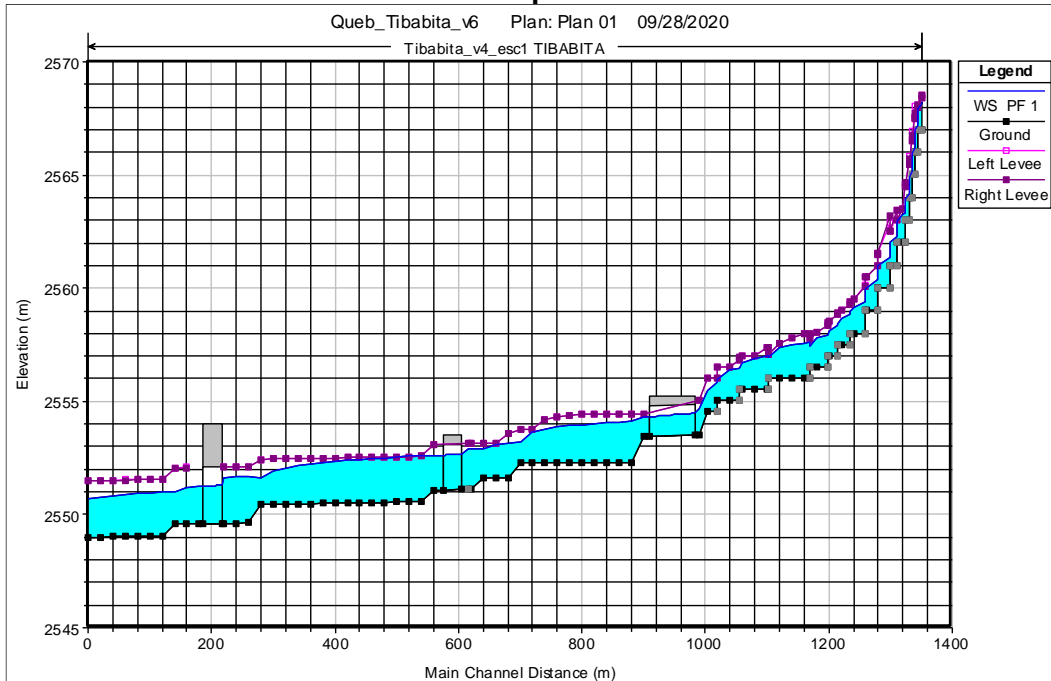
Tabla 21. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Tibabita

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1351.04	12	2567.02	2568.2	1.18	1.51	7.96	11.44	0.58
1300	12	2561.02	2562.01	0.99	2.04	5.87	9.9	0.85
1200	12	2557.04	2558.11	1.07	1.79	6.72	10.56	0.72
1100	12	2555.54	2557	1.46	1.14	10.57	12.52	0.39
1000	12	2554.54	2555.45	0.91	2.33	5.15	9.3	1
900	12	2553.45	2554.29	0.84	2.3	5.21	9.4	0.99
800	15.2	2552.28	2553.97	1.69	0.92	16.55	16.55	0.29
700	15.2	2552.28	2553.22	0.94	2.39	6.36	10.53	0.98
615	15.2	2551.11	2552.91	1.8	0.82	18.47	17.45	0.26
500	18.74	2550.55	2552.54	1.99	0.86	21.76	18.90	0.26
400	18.74	2550.5	2552.34	1.84	0.99	18.96	17.69	0.3
300	18.74	2550.45	2551.94	1.49	1.41	13.27	14.88	0.48
220	18.74	2549.61	2551.64	2.03	0.83	22.54	19.23	0.25
100	18.74	2549.05	2550.97	1.92	0.93	20.14	18.26	0.28
0	18.74	2549	2550.71	1.71	1.11	16.83	16.7	0.35

Fuente: WSP, 2020.

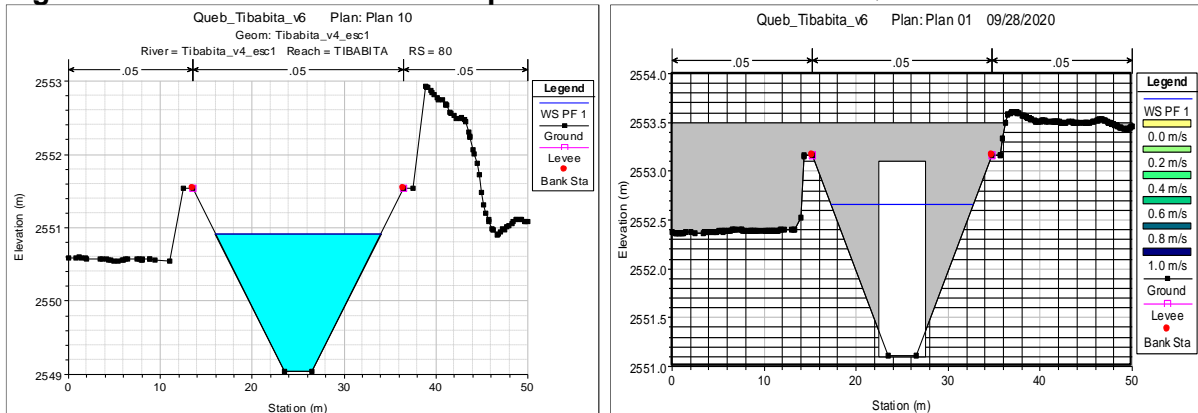
En la Figura 92 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 2.03m en la desembocadura en el canal Torca y de 1.18m en la zona más alta del tramo de reconformación, cercano a la Carrera Séptima. De la misma manera en la Figura 93 se presentan secciones típicas de la reconformación propuesta.

Figura 92. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Tibabita



Fuente: WSP, 2020.

Figura 93. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Tibabita



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Aguas Calientes

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Aguas Calientes para la consideración de reconfiguración es la que se presenta en la Tabla 22, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 3.04m en el sector de la desembocadura en sector Torca del Humedal, y de 1.25m en la zonas altas; las velocidades de flujo varían entre 0.64 m/s a 2.1 m/s. En este trazado se localizan dos obras de cruce tipo box culvert que corresponden a las que se proyectan sobre la Avenida Santa Bárbara (3.0x2.75m doble) y sobre la Avenida Laureano Gómez (4.0x2.0m). En la Figura 92 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 3.04m en la desembocadura den el canal Torca y de 1.60m en la

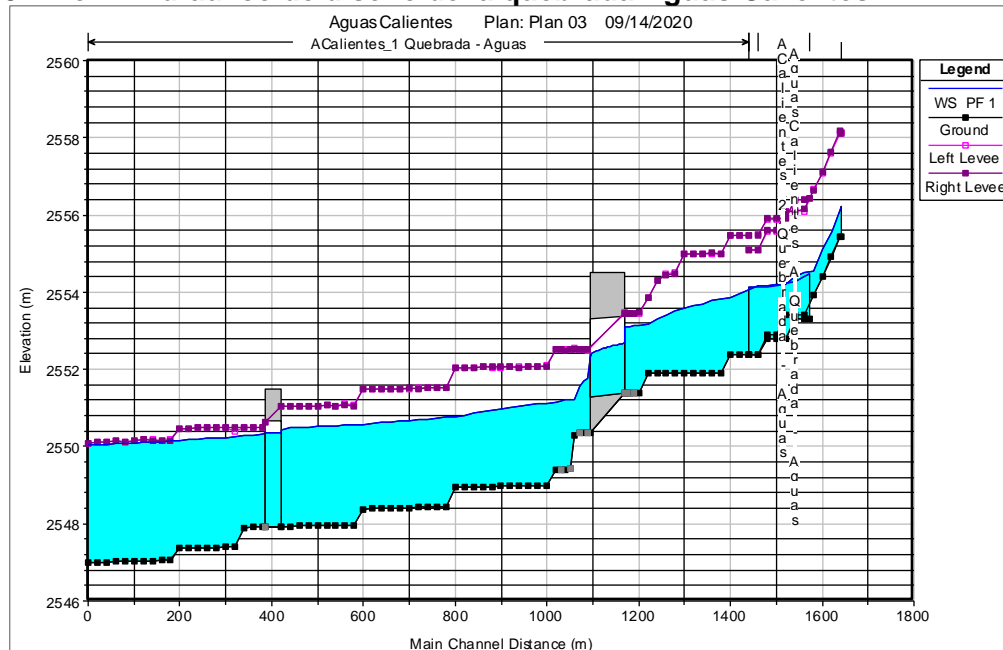
zona más alta del tramo de reconfirmación, cercano a la Carrera Séptima. De la misma manera en la Figura 95 se presentan secciones típicas para el cauce propuesto.

Tabla 22. Resumen de resultados de modelamiento hidráulico de la Q. Aguas Calientes

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Profundidad	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1440	12.63	2552.38	2554.06	1.68	1.18	10.68	9.72	0.36
1300	12.63	2551.9	2553.57	1.67	1.19	10.63	9.71	0.36
1200	12.63	2551.38	2553.15	1.77	0.86	14.66	13.57	0.26
1090	12.63	2550.35	2551.75	1.4	1.29	9.82	11	0.43
1000	12.63	2549	2551.13	2.13	0.82	15.4	11.5	0.23
900	12.63	2548.97	2550.97	2	0.9	14.04	11.01	0.25
800	12.63	2548.94	2550.76	1.82	1.04	12.09	10.28	0.31
700	12.63	2548.41	2550.68	2.27	0.74	17.1	12.07	0.2
600	12.63	2548.38	2550.57	2.19	0.78	16.19	11.77	0.21
500	12.63	2547.95	2550.52	2.57	0.6	20.95	13.29	0.15
385	18.91	2547.91	2550.34	2.43	0.91	20.76	14.06	0.24
300	18.91	2547.39	2550.23	2.84	0.92	20.47	11.53	0.22
200	18.91	2547.36	2550.15	2.79	0.79	23.96	14.17	0.19
100	18.91	2547.03	2550.1	3.07	0.67	28.05	15.27	0.16
0	18.91	2547	2550.04	3.04	0.68	27.61	15.16	0.16

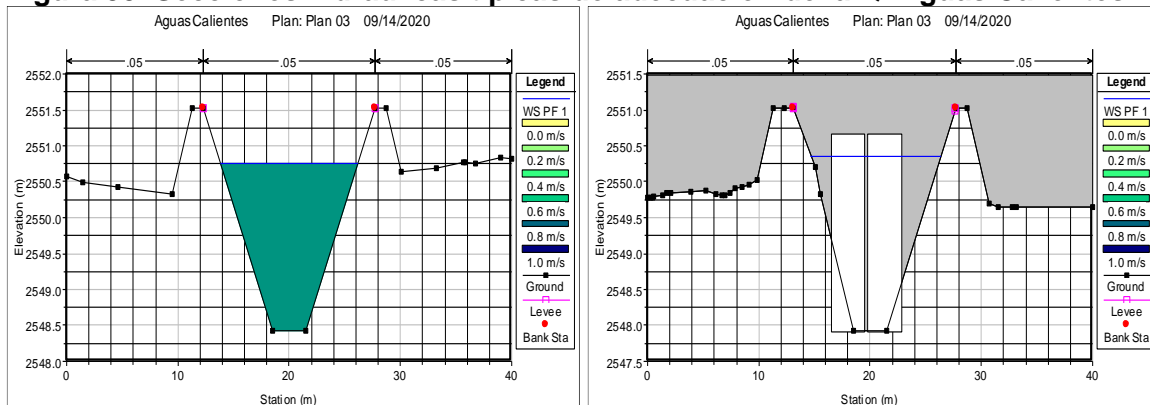
Fuente: WSP, 2020.

Figura 94. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Aguas Calientes



Fuente: WSP, 2020.

Figura 95. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Aguas Calientes



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Patiño

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Patiño para la consideración de reconformación es la que se presenta en la Tabla 23, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 0.55 m a 2.50 m y velocidades de flujo entre 0.30 m/s a 2.3 m/s. En este trazado se localizan dos obras de cruce tipo box culvert que corresponden a las que se proyectan sobre la Avenida Santa Bárbara (3.0x2.0m) y sobre la Avenida Laureano Gómez (5.0x1.20m).

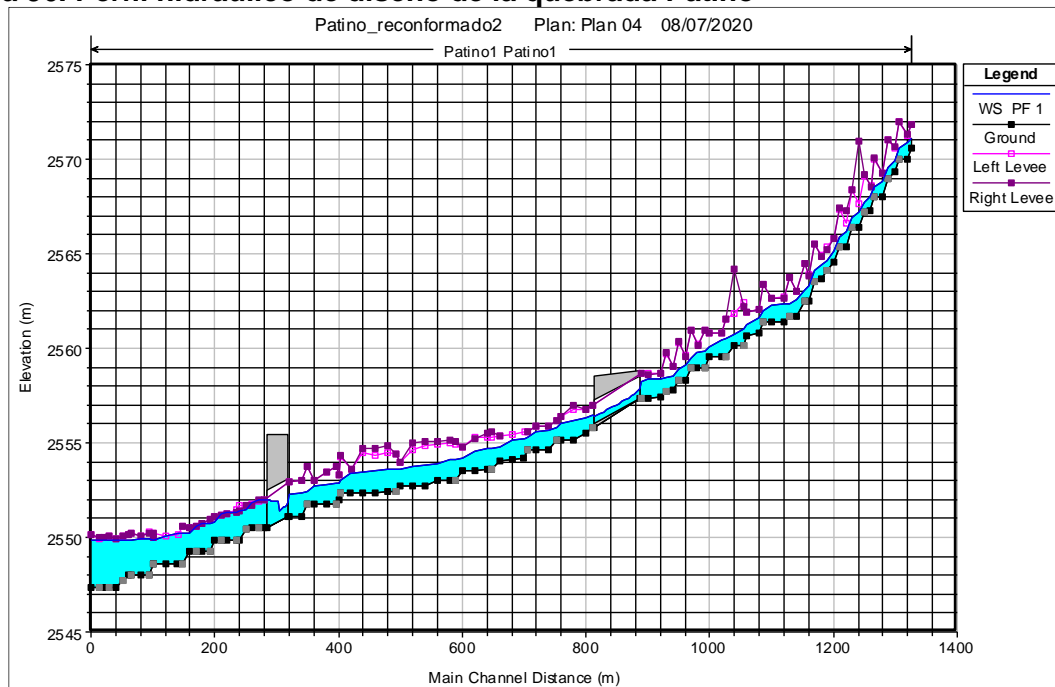
Tabla 23. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Patiño

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1325.32	4.45	2570.55	2571.11	0.56	1.86	2.39	6.5	0.98
1300	4.45	2569.32	2569.93	0.61	1.66	2.68	6.85	0.85
1200	4.45	2564.55	2565.12	0.57	1.85	2.41	6.51	0.97
1100	4.45	2561.4	2562.25	0.85	0.97	4.58	8.79	0.43
1000	4.45	2559.55	2560.1	0.55	1.89	2.36	6.46	1
900	4.45	2557.38	2558.35	0.97	0.78	5.7	9.76	0.33
800	6.27	2555.5	2556.29	0.79	1.53	4.1	8.34	0.7
700	6.27	2554.23	2555.22	0.99	1.05	5.99	9.99	0.43
600	6.27	2553.55	2554.21	0.66	2.04	3.07	7.29	1
500	6.27	2552.7	2553.62	0.92	1.19	5.27	9.4	0.51
400	6.27	2552.02	2552.87	0.85	1.38	4.55	8.76	0.61
280	6.27	2550.49	2551.96	1.47	0.53	11.87	14.44	0.19
200	14.41	2549.82	2550.82	1	2.39	6.03	10.03	0.98
100	14.41	2548.59	2549.86	1.27	1.67	8.61	11.54	0.62
20	14.41	2547.36	2549.86	2.5	0.48	30.19	24.63	0.13

Fuente: WSP, 2020.

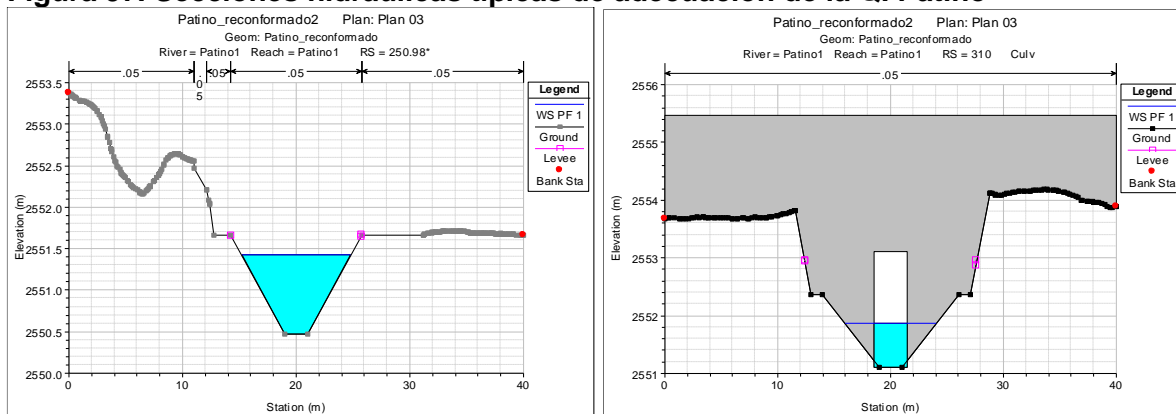
En la Figura 96 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 2.50m en la desembocadura en el Humedal, sector Torca y de 0.56m en la zona más alta del tramo de reconformación, cercano a la Carrera Séptima. De la misma manera en la Figura 97 se presentan secciones típicas de la reconformación propuesta.

Figura 96. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Patiño



Fuente: WSP, 2020.

Figura 97. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Patiño



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada San Juan

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada San Juan para la consideración de reconformación es la que se presenta en la Tabla 24, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 1.82m en el sector de la desembocadura en sector Torca del Humedal, y de 0.55m en la zonas altas; las velocidades de flujo varían entre 0.39 m/s a 2.11 m/s. En este trazado se localizan tres obras de cruce tipo box culvert que corresponden a las que se proyectan sobre la Avenida Santa Bárbara (3.0x2.0m doble) y dos obras sobre la Avenida Laureano Gómez (4.0x1.0m y 5.0x1.20m).

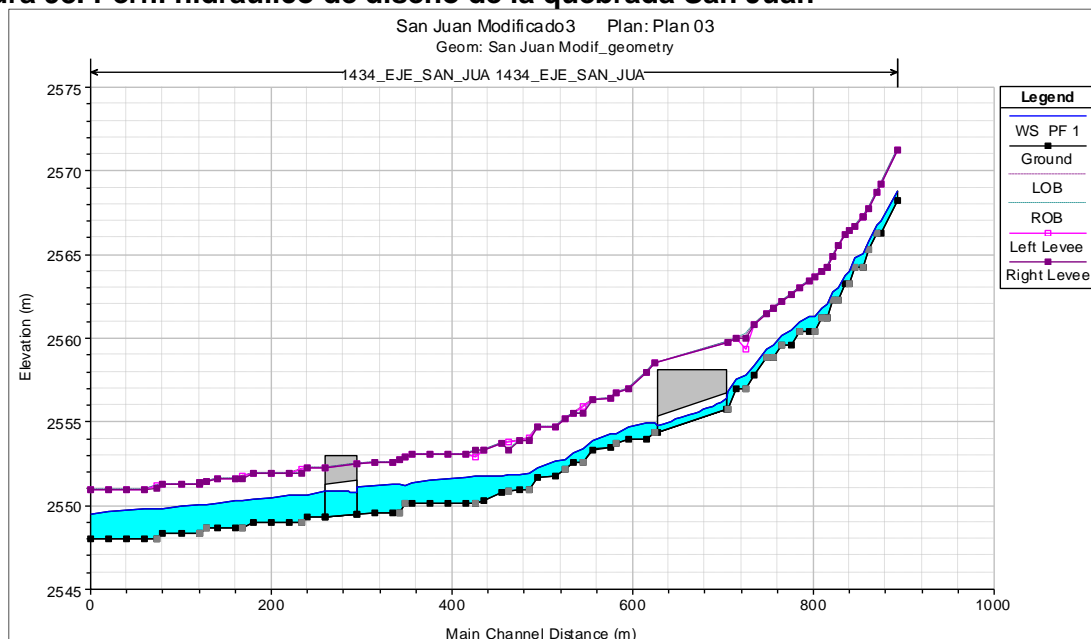
Tabla 24. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. San Juan

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Profundidad	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
898.77	6.65	2568.27	2568.82	0.55	1.96	3.39	8.38	0.99
800	6.65	2560.44	2561.32	0.82	1.01	6.61	11.04	0.42
710	6.65	2555.76	2556.45	1.06	1.06	6.27	8.7	0.4
600	7.05	2554	2554.71	0.71	1.46	4.82	9.65	0.66
500	7.05	2551.7	2552.29	0.59	1.97	3.58	8.91	0.99
400	18.14	2550.12	2551.65	1.53	1.18	15.44	16.22	0.38
300	18.14	2549.5	2551.12	1.62	1.11	16.33	16.11	0.35
200	18.14	2548.97	2550.39	1.42	1.32	13.73	15.35	0.45
100	18.14	2548.34	2549.87	1.53	1.20	15.11	16.07	0.40
40	18.14	2548.02	2549.67	1.65	1.03	17.56	17.23	0.33
0	18.14	2548.02	2549.52	1.50	1.21	15.00	16.00	0.40

Fuente: WSP, 2020.

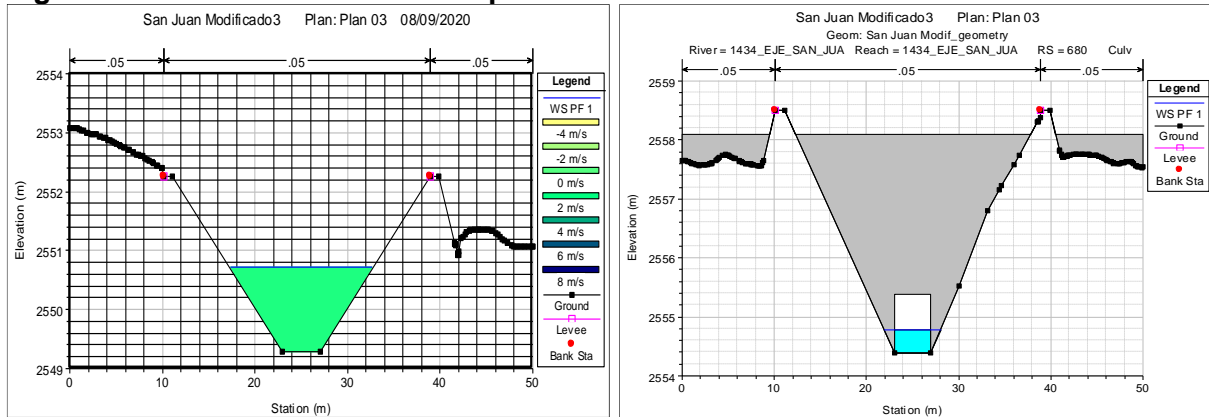
En la Figura 98 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 1.65m y 0.55m. De la misma manera en la Figura 99 se presentan secciones típicas para el cauce propuesto.

Figura 98. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada San Juan



Fuente: WSP, 2020.

Figura 99. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. San Juan



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Las Pilas

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Las Pilas para la consideración de reconfiguración es la que se presenta en la Tabla 25, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 0.65 m a 3.05 m y velocidades de flujo entre 0.48 m/s a 2.22 m/s. En este trazado se localizan una obra de cruce tipo box culvert que corresponde a la que se proyecta sobre la Avenida Laureano Gómez (3.0x1.50m).

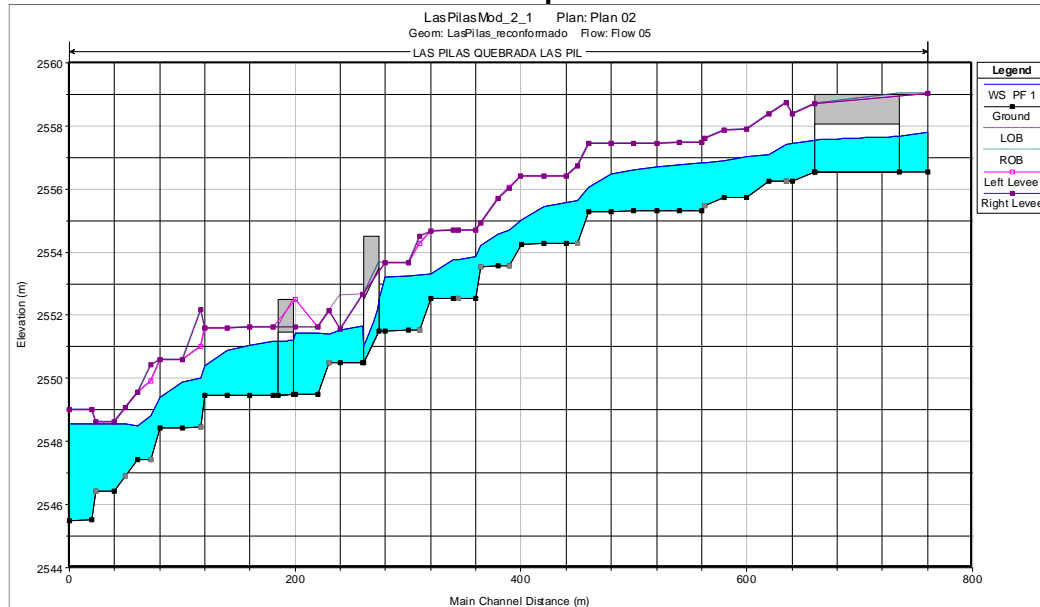
Tabla 25. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Las Pilas

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
734.67	5.08	2556.55	2557.81	1.26	0.76	6.67	7.58	0.26
640	9.22	2556.25	2557.45	1.2	1.12	8.22	11.3	0.42
600	9.22	2555.74	2557.03	1.29	1.17	7.89	9.51	0.41
500	9.22	2555.3	2556.6	1.3	1.17	7.89	9.41	0.41
400	9.22	2554.26	2555.03	0.77	2.22	4.15	7.83	0.97
300	9.22	2551.52	2553.24	1.72	0.69	13.39	15.07	0.23
260	9.22	2550.5	2551.66	1.16	1.37	6.75	8.65	0.49
200	9.22	2549.48	2551.42	1.94	0.54	17.19	18.53	0.18
160	14.24	2549.46	2551.05	1.59	1.28	11.08	12.99	0.44
100	14.24	2548.44	2549.88	1.44	1.47	9.7	11.86	0.52
50	14.24	2546.92	2548.56	1.64	1.1	12.96	14.72	0.37
0	14.24	2545.5	2548.56	3.06	0.48	29.61	16.35	0.11

Fuente: WSP, 2020.

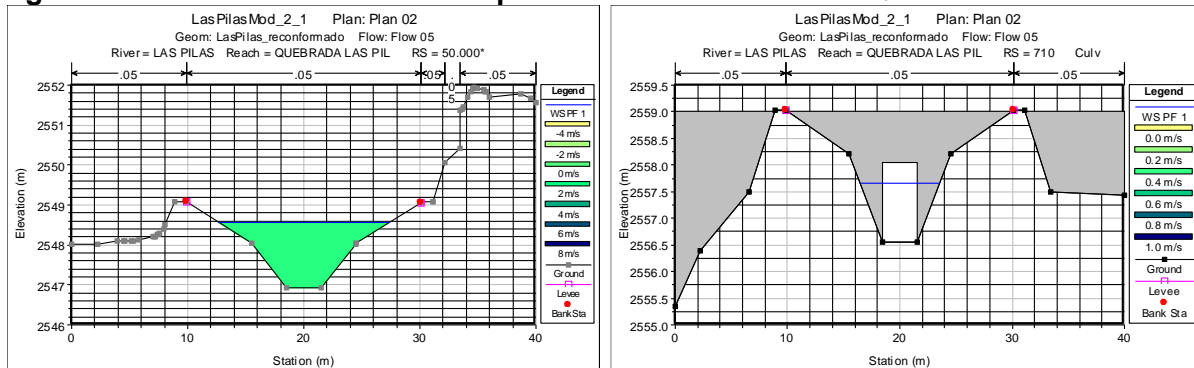
En la Figura 100 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 3.06m en la desembocadura en el Humedal, sector Torca y de 1.26m en la zona más alta del tramo de reconfiguración, cercano a la Carrera Novena. De la misma manera en la Figura 101 se presentan secciones típicas de la reconfiguración propuesta.

Figura 100. Perfil hidrutico de dise o de la quebrada Las Pilas



Fuente: WSP, 2020.

Figura 101. Secciones hidruticas típicas de adecuación de la Q. Las Pilas



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada La Floresta

Los resultados del modelamiento hidrutico de la quebrada La Floresta para la consideración de reconformación es la que se presenta en la Tabla 26, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 1.24 m a 5.23 m y velocidades de flujo entre 0.27 m/s a 2.82 m/s. En este trazado se localizan una obra de cruce tipo box culvert que corresponde a la que se proyecta sobre la Avenida Laureano Gómez (4.50x2.00m, doble).

Tabla 26. Resumen de resultados del modelamiento hidrutico de la Q. La Floresta

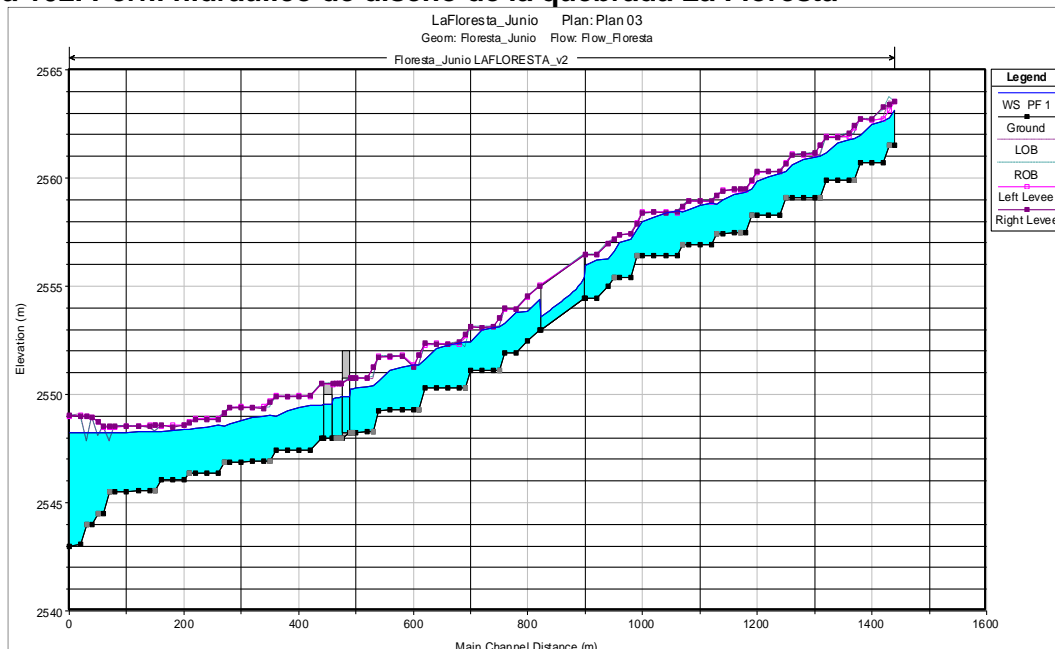
River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch EI (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1440	26.24	2561.53	2563.12	1.59	1.75	14.99	15.91	0.58
1400	26.24	2560.73	2562.45	1.72	1.54	17.02	16.77	0.49

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1300	26.24	2559.1	2560.94	1.84	1.43	18.41	16.54	0.43
1200	26.24	2558.26	2559.84	1.58	1.78	14.71	15.63	0.59
1100	26.24	2556.93	2558.71	1.78	1.46	17.97	17.22	0.46
1000	26.24	2556.4	2557.98	1.58	1.78	14.71	15.63	0.59
900	26.24	2554.45	2555.93	1.48	1.93	13.58	15.29	0.65
800	28.02	2552.5	2553.76	1.26	2.7	10.38	13.41	0.98
700	28.02	2551.11	2552.38	1.27	2.74	10.23	13.14	0.99
600	28.02	2549.29	2551.27	1.98	1.3	21.53	18.8	0.39
500	28.02	2548.25	2550.15	1.9	1.39	20.12	18.19	0.42
400	28.02	2547.42	2549.32	1.9	1.4	20.06	18.16	0.42
300	28.02	2546.89	2548.73	1.84	1.47	19.09	17.73	0.45
200	28.02	2546.06	2548.36	2.3	1	27.94	21.36	0.28
100	28.02	2545.53	2548.24	2.71	0.75	37.55	24.69	0.19
0	28.02	2543	2548.23	5.23	0.24	115.69	42.53	0.05

Fuente: WSP, 2020.

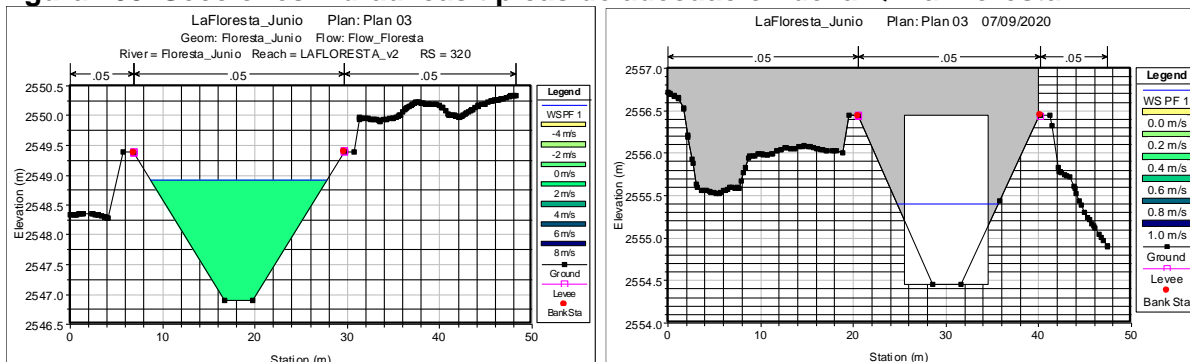
En la Figura 102 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que las profundidades varían entre 5.23m en la desembocadura a la salida del Humedal, sector Guaymaral y de 1.84m en la zona más alta del tramo de reconfiguración, cercano a la Carrera Séptima. De la misma manera en la Figura 103 se presentan secciones típicas de la reconfiguración propuesta.

Figura 102. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada La Floresta



Fuente: WSP, 2020.

Figura 103. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. La Floresta



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Cañiza

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Cañiza para la consideración de reconfiguración es la que se presenta en la Tabla 27, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 0.75 m a 4.18 m y velocidades de flujo entre 0.08 m/s a 2.06 m/s. En este trazado se localizan una obra de cruce tipo box culvert que corresponde a la que se proyecta sobre la Avenida Laureano Gómez (2.0x1.0m).

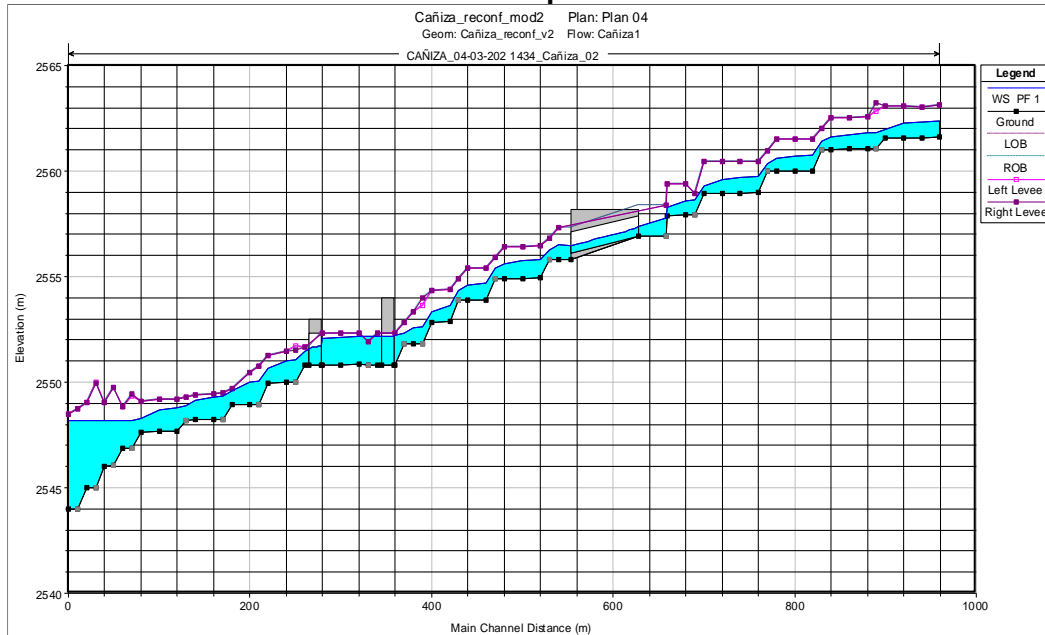
Tabla 27. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Cañiza

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
959.01	2.19	2561.62	2562.37	0.75	0.58	3.75	8	0.27
900	2.19	2561.58	2561.96	0.38	1.62	1.35	5.06	1
800	2.19	2560	2560.7	0.7	0.66	3.32	7.56	0.32
700	2.19	2558.93	2559.32	0.39	1.58	1.38	5.11	0.97
658	2.19	2556.9	2557.76	0.86	0.47	4.67	8.87	0.21
500	3.28	2554.92	2555.74	0.82	0.76	4.34	8.57	0.34
400	3.28	2552.85	2553.33	0.48	1.74	1.88	5.84	0.98
300	5.47	2550.83	2552.02	1.19	0.68	8.00	11.49	0.26
200	5.47	2548.95	2549.93	0.98	0.95	5.76	9.81	0.4
100	5.47	2547.68	2548.62	0.94	1.02	5.38	9.49	0.43
50	5.47	2546.04	2548.18	2.14	0.24	22.59	19.12	0.07
0	5.47	2544	2548.18	4.18	0.07	78.24	35.44	0.02

Fuente: WSP, 2020.

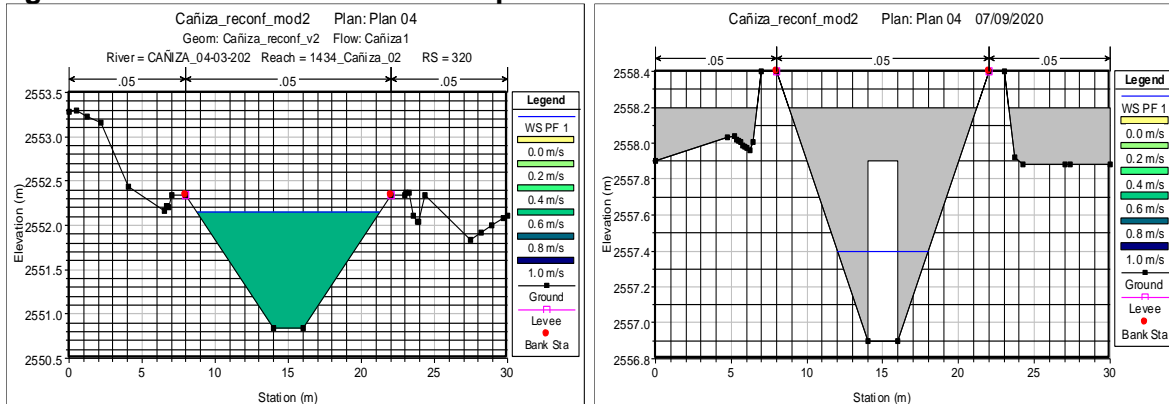
En la Figura 104 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica que la variación de las profundidades. De la misma manera en la Figura 105 se presentan secciones típicas de la reconfiguración propuesta.

Figura 104. Perfil hidrutico de diseño de la quebrada Cañiza



Fuente: WSP, 2020.

Figura 105. Secciones hidruticas típicas de adecuación de la Q. Cañiza



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Novita

Los resultados del modelamiento hidrutico de la quebrada Novita para la consideración de reconfiguración es la que se presenta en la Tabla 28, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 5.46m en el sector de la desembocadura en el canal Guaymaral, y de 0.60m en la zonas altas, cercanas a la Carrera Séptima; las velocidades de flujo varían entre 0.10 m/s a 2.43 m/s. En este trazado se localizan una obra de cruce tipo box culvert que corresponden a las que se proyectan sobre la Avenida Laureano Gómez (5.0x1.0m).

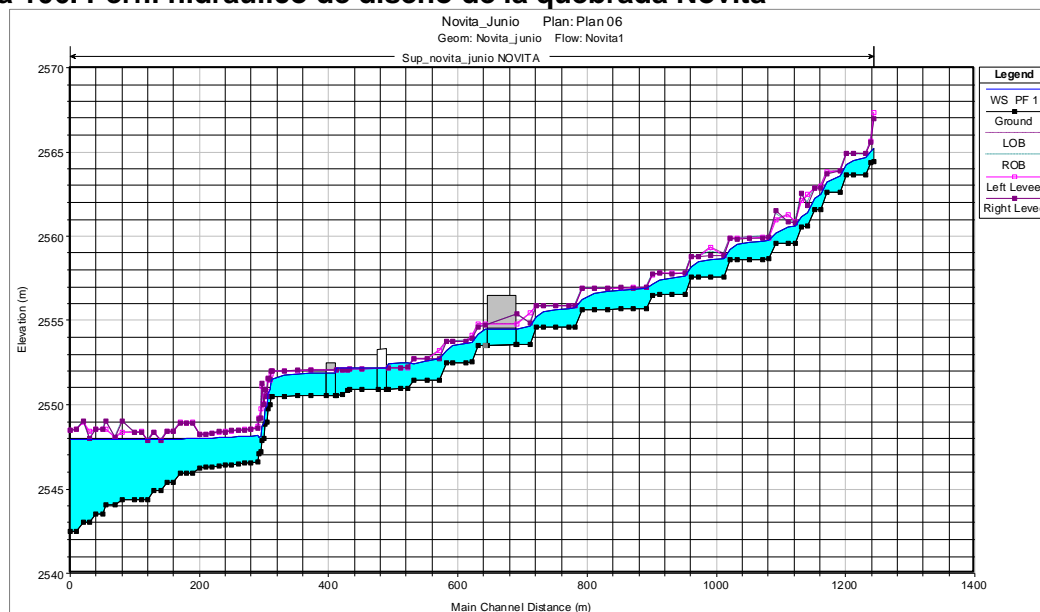
Tabla 28. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Novita

River Sta	Q Total	Min Ch EI	W.S. Elev	Profundidad	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1243.8	5.54	2564.44	2565.19	0.75	1.47	3.77	8.03	0.68
1201.79	5.54	2563.62	2564.23	0.61	1.91	2.9	7.53	0.98
1111.79	5.54	2559.56	2560.54	0.98	0.95	5.82	9.86	0.4
1011.79	5.54	2557.59	2558.67	1.08	0.81	6.83	10.65	0.32
911.79	5.54	2556.52	2557.41	0.89	1.12	4.95	9.12	0.48
811.79	5.54	2555.65	2556.63	0.98	0.95	5.82	9.86	0.4
711.79	5.54	2553.58	2554.68	1.1	0.78	7.08	10.83	0.31
611.79	7.71	2552.51	2553.66	1.15	1.01	7.63	11.26	0.39
511.79	7.71	2550.94	2552.48	1.54	0.62	12.92	14.58	0.19
411.79	7.71	2550.57	2552.13	1.56	0.58	13.2	14.58	0.2
311.79	8.99	2550.49	2551.47	0.98	1.67	5.39	8.95	0.69
310.95	8.99	2550.46	2551.32	0.86	2.28	3.94	7.34	0.99
210	8.99	2546.28	2547.99	1.71	0.74	12.18	12.25	0.24
110	8.99	2544.38	2547.96	3.58	0.2	45.76	23.52	0.04
50	8.99	2543.54	2547.96	4.42	0.13	68.13	28.43	0.03
0	8.99	2542.5	2547.96	5.46	0.09	100.36	34.76	0.02

Fuente: WSP, 2020.

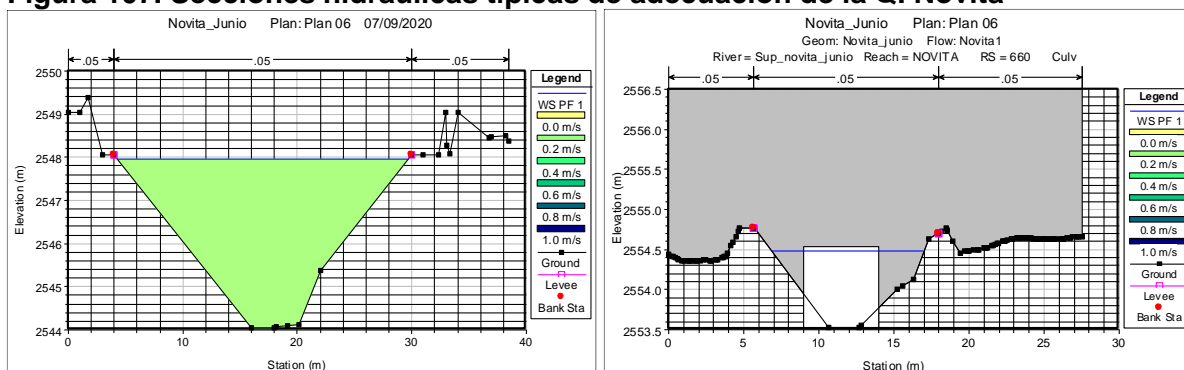
En la Figura 106 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica la variación de las profundidades. De la misma manera en la Figura 107 se presentan secciones típicas para el cauce propuesto.

Figura 106. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Novita



Fuente: WSP, 2020.

Figura 107. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Novita



Fuente: WSP, 2020.

Quebrada Torca

Los resultados del modelamiento hidráulico de la quebrada Torca en el extremo norte de Lagos de Torca, para la consideración de reconfiguración es la que se presenta en la Tabla 29, en la cual se indica que la variación de la profundidad la lámina de agua se encuentra entre 4.53m en el sector de la desembocadura en el canal Guaymaral, y de 0.83m en el sector hacia la Autopista Norte; las velocidades de flujo varían entre 0.05 m/s a 2.05 m/s.

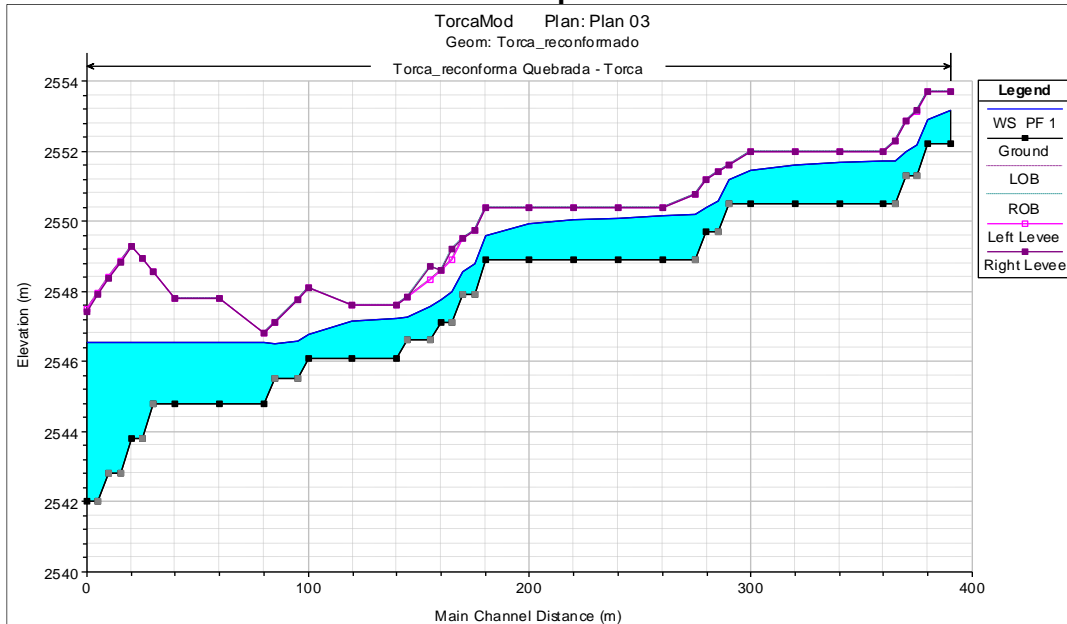
Tabla 29. Resumen de resultados del modelamiento hidráulico de la Q. Torca

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Profundidad (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
389.97	4.43	2552.21	2553.04	0.83	1.01	4.4	8.64	0.45
360	4.43	2550.5	2551.56	1.06	0.67	6.65	10.5	0.27
300	4.43	2550.5	2551.33	0.83	1.01	4.39	8.62	0.45
260	4.43	2548.9	2549.99	1.09	0.64	6.91	10.7	0.25
200	4.43	2548.9	2549.8	0.9	0.87	5.07	9.22	0.38
160	4.43	2547.1	2547.66	0.56	1.86	2.38	6.49	0.98
100	4.43	2546.1	2546.66	0.56	1.86	2.38	6.49	0.98
60	4.43	2544.8	2546.53	1.73	0.29	15.5	15.87	0.09
10	4.43	2542.8	2546.53	3.73	0.07	63.06	31.83	0.02
0	4.43	2542	2546.53	4.53	0.05	91.14	38.23	0.01

Fuente: WSP, 2020.

En la Figura 108 se presenta el perfil longitudinal de la quebrada modelada en el cual se indica la variación de las profundidades. De la misma manera en la Figura 109 se presentan secciones típicas para el cauce propuesto.

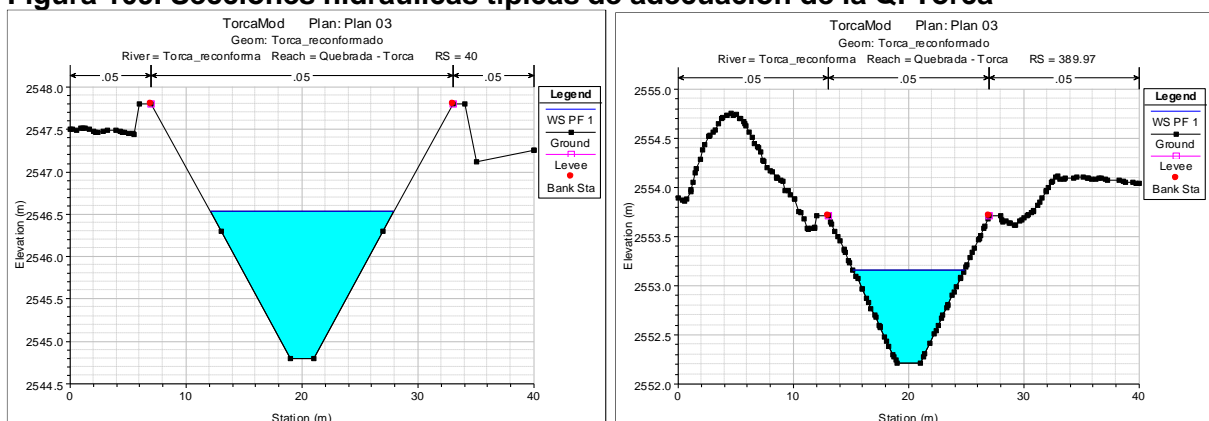
Figura 108. Perfil hidráulico de diseño de la quebrada Torca



Fuente: WSP, 2020.

En lo que respecta a los niveles de la lámina de agua dentro de los cauces de quebradas reconformados y la del terreno natural adyacente, se observa particularmente que en los tramos cercanos a la desembocadura en el humedal o al canal Guaymaral, se requiere un confinamiento elevado en el terraplén de la reconformación, debido al control de los niveles ejercido por estos cuerpos de agua receptores. De esta manera será necesario que las zonas adyacentes, prevean rellenos en esta zona inmediata, para garantizar la ocurrencia del drenaje a gravedad de dichas áreas. Estas zonas principalmente corresponden a las del Parque Metropolitano Distrital de Guaymaral que circunda el límite del Humedal, para el cual, en fases de diseño posterior a las que se encuentra actualmente este equipamiento, se deberá considerar este tipo de requerimientos.

Figura 109. Secciones hidráulicas típicas de adecuación de la Q. Torca



Fuente: WSP, 2020.

Los resultados de los modelamientos hidráulicos en todas las quebradas indican que la profundidad de la lámina de agua generada en cada cauce se encuentra contenida dentro de la reconformación de márgenes propuesta, lo cual garantizaría el principal determinante del diseño que es la contención de la amenaza por desborde de la quebrada. Yendo un poco más en detalle al funcionamiento hidráulico del sistema, se evidencia que las velocidades, para el escenario de caudal de diseño, corresponden a los definidas para la condición de taludes sin revestimiento (1.0-1.2 m/s), aunque en algunos sectores que corresponden a los sitios de cruce las estructuras hidráulicas (descoles) y las estructuras de azudes, tienen velocidades que varían entre 2.0 a 2.5 m/s, que requerirán de la implementación de revestimientos en concreto o mampostería de piedra pegada, con lo cual se garantizará el control de la socavación generada por ese tipo de condiciones. La velocidad máxima establecida para este tipo de revestimientos es de 5.0 m/s y 4.0 m/s, respectivamente.

En lo que respecta a las estructuras de caída y el resalto generado a la salida de la misma, es posible que se obtengan láminas de agua mayores a los calados de flujo normal en el canal de salida, con lo cual será necesario realizar un control de la localización y profundidad de este resalto, mediante la implementación de cuencos de disipación, que serán objeto de un diseño de detalle para cada uno de los casos en donde estos se presentan y de esta manera prever las obras de confinamiento de la lámina máxima de agua.

La definición de la lámina máxima de inundación para la condición de reconformación se estableció a partir de los resultados del modelamiento hidráulico de cada quebrada, asumiendo una sección trapezoidal, de base entre 3 y 4 m y taludes 1:4, como se ha recomendado desde el componente ecosistémico para posibilitar la regeneración vegetal en las márgenes de los cauces.

El archivo de instalación de la versión del programa HecRAS 5.0.5 se incluye en el Anexo 3. (3.2.3 Reconformación de Quebradas).

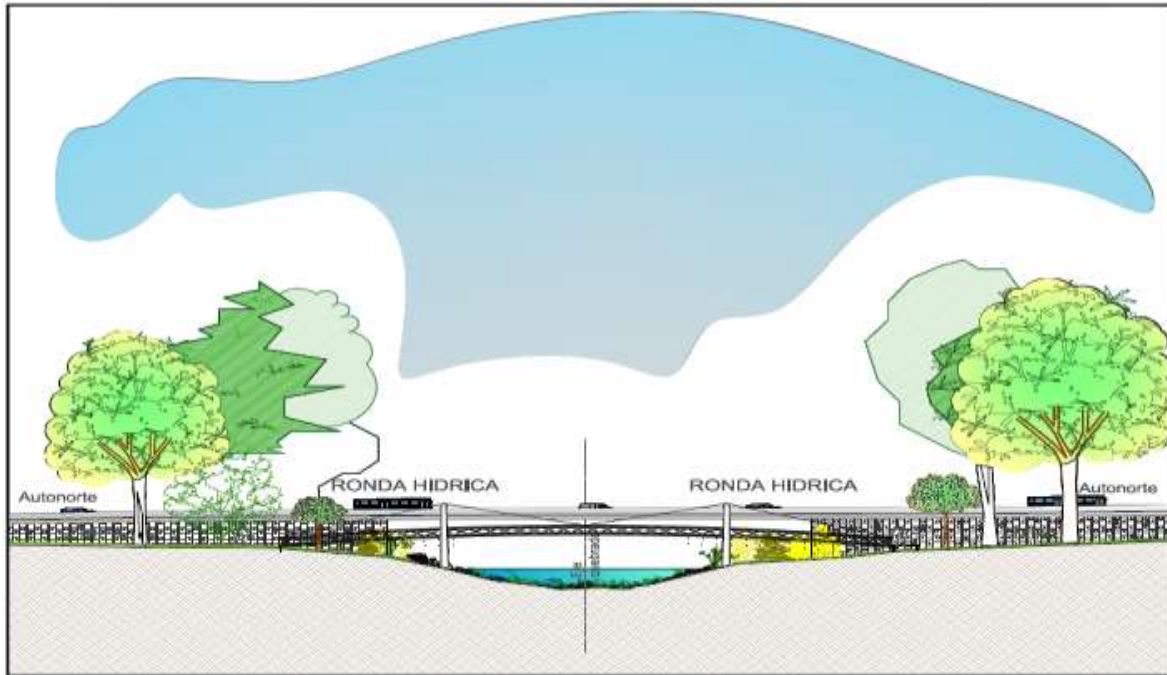
Es de notar la existencia de la Red Matriz Tibitoc-Usaquén de 1.50 m de diámetro, que tiene un trazado paralelo a la Línea Férrea o Futura Avenida Laureano Gómez, la cual ha sido tenido en cuenta dentro de los cruces de las quebradas bajo esta vía, mediante la incorporación de una estructura hidráulica y la modificación del fondo de reconformación de cada cuerpo de agua en el sector de la vía. En el Anexo 5 se presenta el informe de identificación de las interferencias, así como las recomendaciones para su manejo.

En el Anexo 3 – Modelos Hidráulicos, se presentan los modelos de simulación hidráulica para las adecuaciones de las quebradas de la zona oriental de la cuenca Torca-Guaymaral.

En la Figura 110 y la Figura 111 se presenta en planta como en perfil las áreas de reconformación hidrogeomorfológica y ecosistémica propuesta para las quebradas localizadas en la cuenca del sistema hídrico Torca – Guaymaral.

Así mismo en el (Anexo 4 – Planos), se presentan los planos conceptuales de las propuestas de adecuación hidrogeomorfológica para las ZMPAS y Corredores de Ronda para las 9 quebradas que conforman esta zona de la cuenca de análisis, a partir del detalle mostrado en la Figura 111. En esta propuesta se incorpora el manejo ecosistémico de cada franja de protección y la zona de transición paisajística, al borde de cada corredor o ZMPA.

Figura 110 Sección típica de restauración hidráulica, geomorfológica y ecosistémica para las quebradas del sistema hídrico Torca – Guaymaral.



Fuente: WSP, 2020.

Figura 111 Planta general de restauración propuesta para las quebradas del sistema hídrico Torca - Guaymaral.



Fuente: WSP, 2020.

6.4.3.2.2 Propuesta de adecuación del canal Guaymaral

Con respecto a la adecuación del Canal Guaymaral, será necesario realizar la adecuación del trazado en lo que respecta a la sección transversal y el trazado longitudinal, lo que incluye la reconformación de los jarillones laterales para evitar los desbordes laterales para confinar la posible sobreelevación generada por el déficit de almacenamiento requerido.

En el tramo inicial entre el origen y la salida del Humedal Guaymaral, en el sector de Bima, este canal tiene una conformación de trazado bastante irregular y de sinuosidad muy elevada que, aunada a la baja velocidad, han contribuido a la sedimentación y por lo tanto la disminución de la sección hidráulica.

Bajo el escenario de la condición actual en el comportamiento de la lámina de inundación y la simulación del confinamiento en el canal Guaymaral, surge la necesidad de proponer la adecuación general de este canal en el tramo comprendido entre su origen a la altura de Jardines del Recuerdo hasta la desembocadura en el río Bogotá.

La evaluación diagnóstica que se hace a través del modelamiento hidráulico del humedal para la condición de inicio del desborde del cauce de aguas mínimas configurado actualmente por el canal Guaymaral, permite establecer que para garantizar la dinámica hídrica buscada según los lineamientos de la restauración ecosistémica, se hace necesario realizar la adecuación del canal del canal de aguas mínimas hacia la margen donde se procura el desborde.

Teniendo en cuenta la importancia que reviste la adecuación del canal dentro de la contención de los eventos de inundación, especialmente en la zona baja de la cuenca, se ha considerado necesario que todas las alternativas de drenaje propuestas, contemplen la adecuación total de está sistema en los tramos establecidos.

Dado que el Canal conserva un cauce de agua mínimas al interior del Humedal en el sector comprendido entre la abscisa K0+930 y el K3+000, y dado que la adecuación del Humedal incorpora la reconformación de este cauce menor, se ha considerado necesario realizar una subdivisión en los tramos de intervención del canal.

Tramo K0+000 - K0+930

El tramo de reconformación inicial entre la abscisa K0+000 (Entrada a Jardines del Recuerdo) hasta el K0+930 (Calle 215) consiste en un canal compuesto, con una sección de aguas medias y mínimas para el flujo de los caudales dominantes y una sección de planicie hacia la margen derecha, que permitirá el desborde controlado de los eventos de crecida y convertirse en un sector de amortiguamiento inicial de las escorrentía que fluye a través de primer cruce de la Autopista Norte, proveniente de la zona de Torca al costado oriental de la vía.

Tramo K3+000 - K5+920

El segundo tramo con reconformación total en el Canal entre la abscisa K3+000 (Calle 235) hasta la K5+930 en la desembocadura al Río Bogotá.

El resumen de las características geométricas de la adecuación del canal Guaymaral, son las que se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Características geométricas de diseño del canal Guaymaral

ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	SECCIÓN	BASE (m)	PENDIENTE (m/m)	HMEDIA (m)	TALUD
K0+000	K0+930	Trapezoidal	5	0.00080	3.5	1:4
K3+000	K3+757	Trapezoidal	10	0.00077	4	1:4
K3+757	K4+937	Trapezoidal	10	0.00044	5	1:4
K4+937	K5+920	Trapezoidal	10	0.00041	5	1:4

Fuente: WSP, 2020.

La adecuación del canal de aguas medias y mínimas en el tramo comprendido entre las abscisas K0+930 al K3+000, se incorpora dentro de la adecuación general que se propone para el Humedal Guaymaral, como se detalla en la Tabla 31.

Tabla 31. Características geométricas de diseño del cauce de aguas medias y mínimas

ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	SECCIÓN	BASE (m)	PENDIENTE (m/m)	HMEDIA (m)	TALUD DE CONFINAMIENTO
K0+930	K1+101	Trapezoidal	5	0.00080	3.5	1:4
K1+101	K2+492	Trapezoidal	5	0.00116	3.5	1:4
K2+492	K3+000	Trapezoidal	10	0.00077	4	1:4

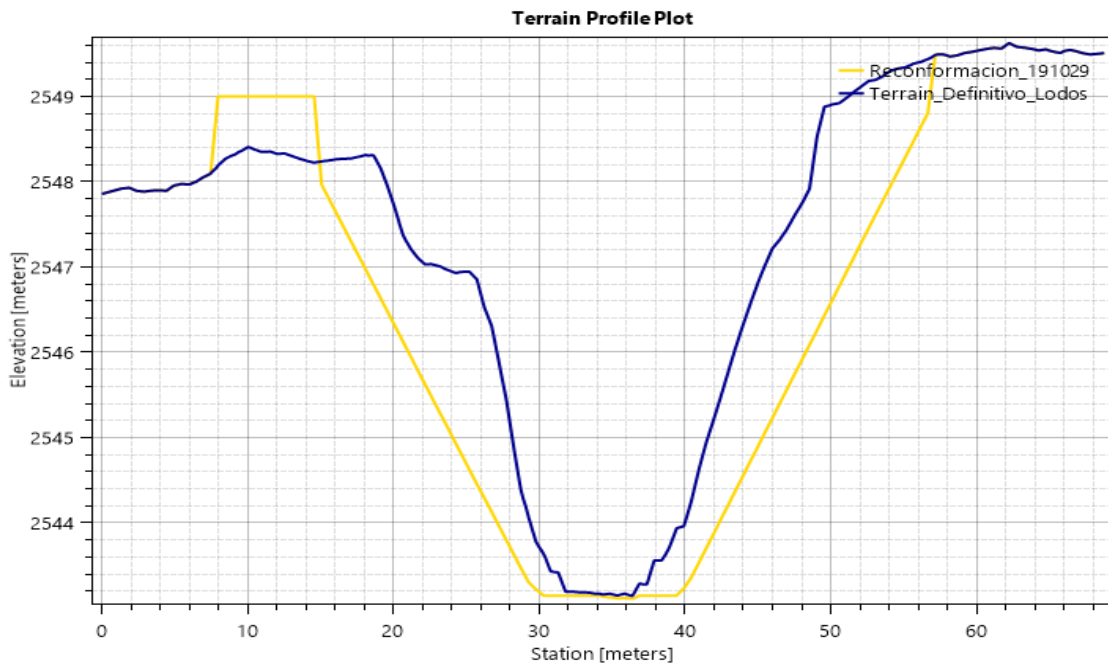
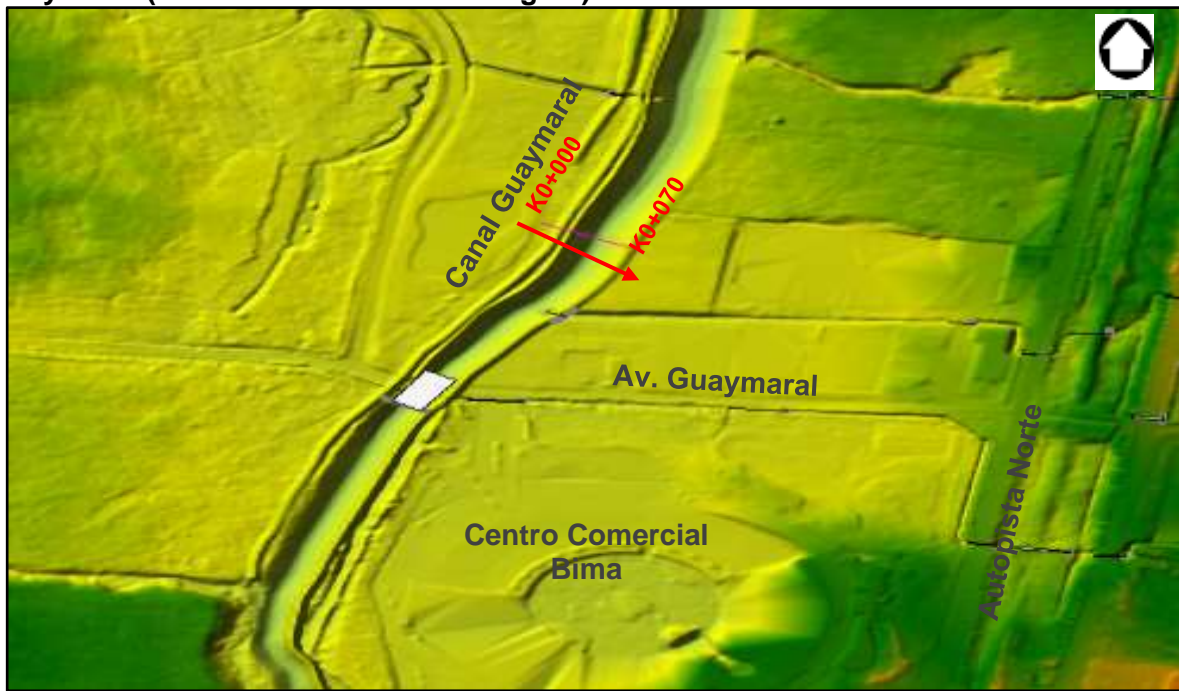
Fuente: WSP, 2020.

Es conveniente observar que para el tramo final del Canal Guaymaral, comprendido entre la abscisa K5+050 hasta la desembocadura en el río Bogotá (K5+920), tiene una definición parcial del Corredor Ecológico de Ronda (CER), por lo que en fases posteriores del diseño, será necesario realizar la gestión para lograr la intervención de este tramo, bajo los criterios en los cuales se ha basado el presente análisis hidráulico y que hacen posible su intervención: el primero es el hecho de que este tramo se localiza dentro de la Ronda Hidráulica del Río Bogotá y el segundo, la funcionalidad del sistema hídrico, es decir que la adecuación del canal se requiere para permitir la solución integral a las inundaciones en esta zona baja de la cuenca Torca-Guaymaral, incluso bajo los escenarios de crecida en el río Bogotá.

En la Figura 112 se muestra la propuesta de adecuación en el tramo comprendido entre el C.C. Bima y el Río Bogotá. En la Figura 113 se presenta un detalle de conformación de la sección del canal de aguas medias y mínimas en el Canal Guaymaral en el sector 2 del Humedal (K1+750, abscisado del canal).

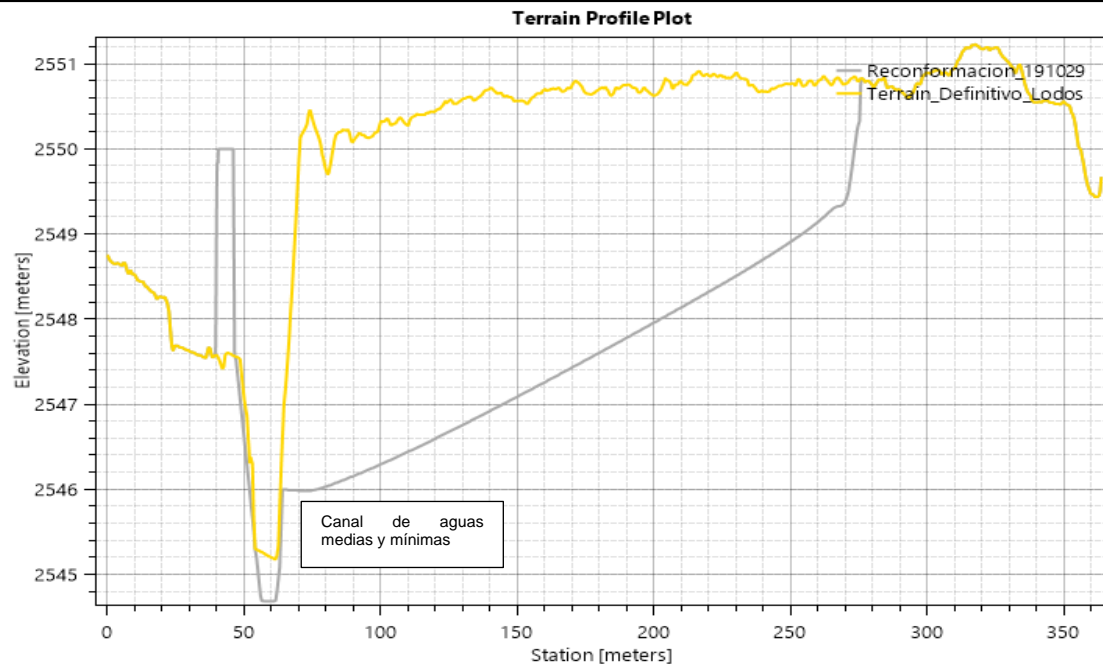
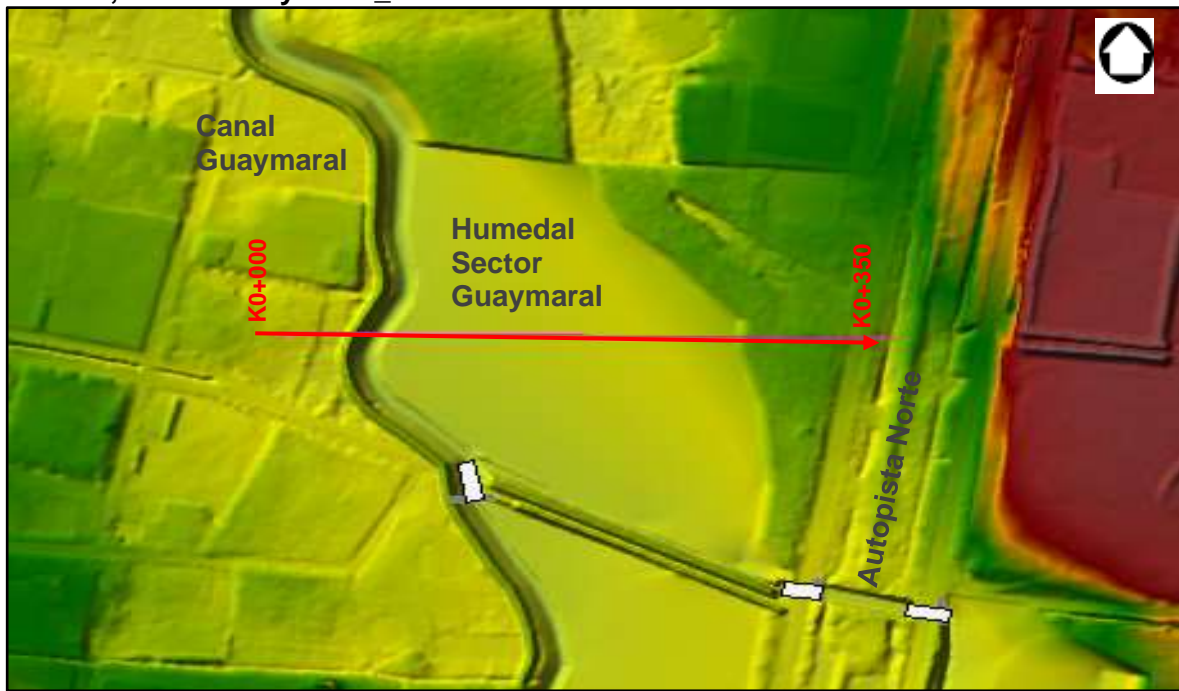
En el Anexo 4 Planos se presentan los diseños conceptuales para la adecuación hidrogeomorfológica para el canal Guaymaral.

Figura 112 Detalle preliminar de la sección de modelamiento para adecuación del canal Guaymaral (Tramo C.C. Bima – Río Bogotá).



Fuente: WSP, 2020.

Figura 113 Detalle de la adecuación del canal de aguas medias y geomorfológica del Humedal, sector Guaymaral_2.



Fuente: WSP, 2020.

En lo que respecta a las obras de cruce existentes sobre este curso de agua, las actuaciones de reconfiguración del canal prevén el reemplazo de las estructuras de cruce actual por obras con la capacidad hidráulica adecuada. Estas estructuras son las que se relacionan en la Tabla 32.

Tabla 32. Obras de drenaje para cruce de vías en el canal Guaymaral

CRUCE VIAL	SECCIÓN	BASE (m)	ALTURA (m)	NUMERO DE SECCIONES
Calle 209	Rectangular	5	3.0	2
Acceso a colegio San Viator	Rectangular	5	3.5	2
Calle 215	Rectangular	5	3.5	2
Calle 222	Rectangular	5	4.0	2
Calle 235	Rectangular	5	4.0	2
Calle 242	Rectangular	6	5.0	2
Calle 245 Acceso Club Guaymaral	Rectangular	10	5.0	2

Fuente: WSP, 2020.

Realizadas las adecuaciones geomorfológicas del sistema Torca – Guaymaral, se logra establecer que existe una disminución del perfil de inundaciones en todo el sistema, entre 85 cm en el humedal Guaymaral, y de 50 cm en el humedal Torca, como se ilustra en la Figura 159.

Es importante anotar que las propuestas de reconfiguración hidrogeomorfológica y ecosistémica de los humedales como de las quebradas que componen el sistema hídrico de la cuenca Torca-Guaymaral, han sido presentadas ante la Gerencia Ambiental de la EAAB, la Secretaría de Ambiente Distrital, como a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, eventos de los cuales se ha recogido recomendaciones en procura de mejorar las propuestas de restauración e incrementar los servicios ambientales en este sector de la Ciudad.

En el Anexo 2 se presentan los reportes de cantidades de obra para las adecuaciones geomorfológicas definidas para los humedales y quebradas.

6.4.3.3 Componente Redes de alcantarillado

La adecuación de las quebradas, el canal Guaymaral y el Humedal, se espera mejoren las condiciones hidráulicas del sistema hídrico del proyecto, reduciendo el riesgo por inundación en los futuros desarrollos y permitiendo que se hagan las descargas de los colectores pluviales a los mencionados cuerpos de agua, en la mayoría de los casos.

De igual forma es importante resaltar que para el estudio hidráulico de las alternativas, se nombraron siete (7) cuencas de estudio las cuales se relacionan en las memorias de cálculo y planos de diseño. Cabe aclarar que para las demás alternativas se mantienen los mismos nombres de cuencas.

Las redes de alcantarillado proyectado corresponden a las presentadas en la Figura 117 y que se describen a continuación:

- Cuenca 1:

Tramo 1: Colector que inicia en la Avenida Villas colindando con el Plan Parcial 1, continuando su recorrido hasta llegar a la Avenida San Antonio (Calle 183), las tuberías de este tramo manejan diámetros de Ø39", Ø45" y Ø51" tiene una longitud aproximada de 800m. Este colector capta las aguas del Plan Parcial 1.

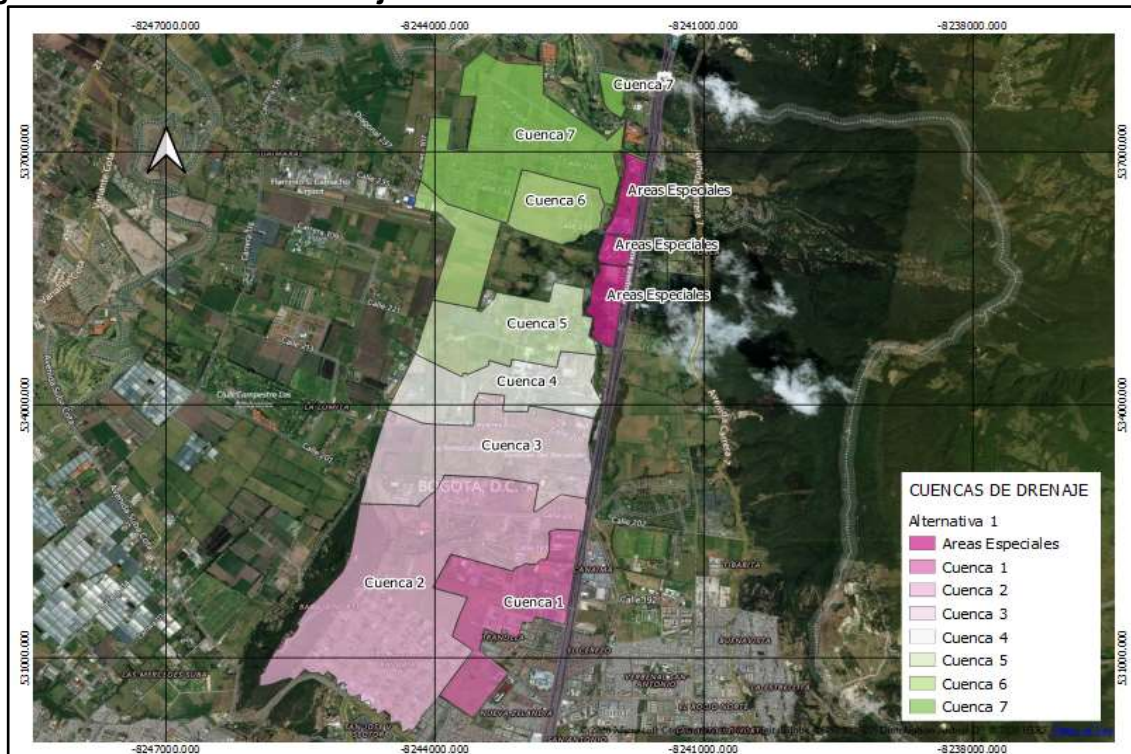
Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Villas desde la Av. San Antonio hasta la Av. Tibabita con diámetros de Ø51" y Ø60" con una longitud cercana a 500m. Esta red conduce las aguas del tramo 1 de esta cuenca.

Tramo 3: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde la Av. Boyacá hasta la Av. Villas, presentando diámetros de Ø30", Ø33" y Ø42" con una longitud aproximada de 700m. Recogiendo las aguas del Plan Parcial 3.

Tramo 4: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde la Av. Villas hasta la Autopista Norte, presentando diámetros de Ø64" y Ø80" con una longitud aproximada de 900m. Recogiendo las aguas del Plan Parcial 3.

Tramo 5: Ubicado sobre la Autopista Norte entre Av. Tibabita y Av. Polo, manejando diámetros de Ø80" y Ø84" con una longitud aproximada de 1300m.

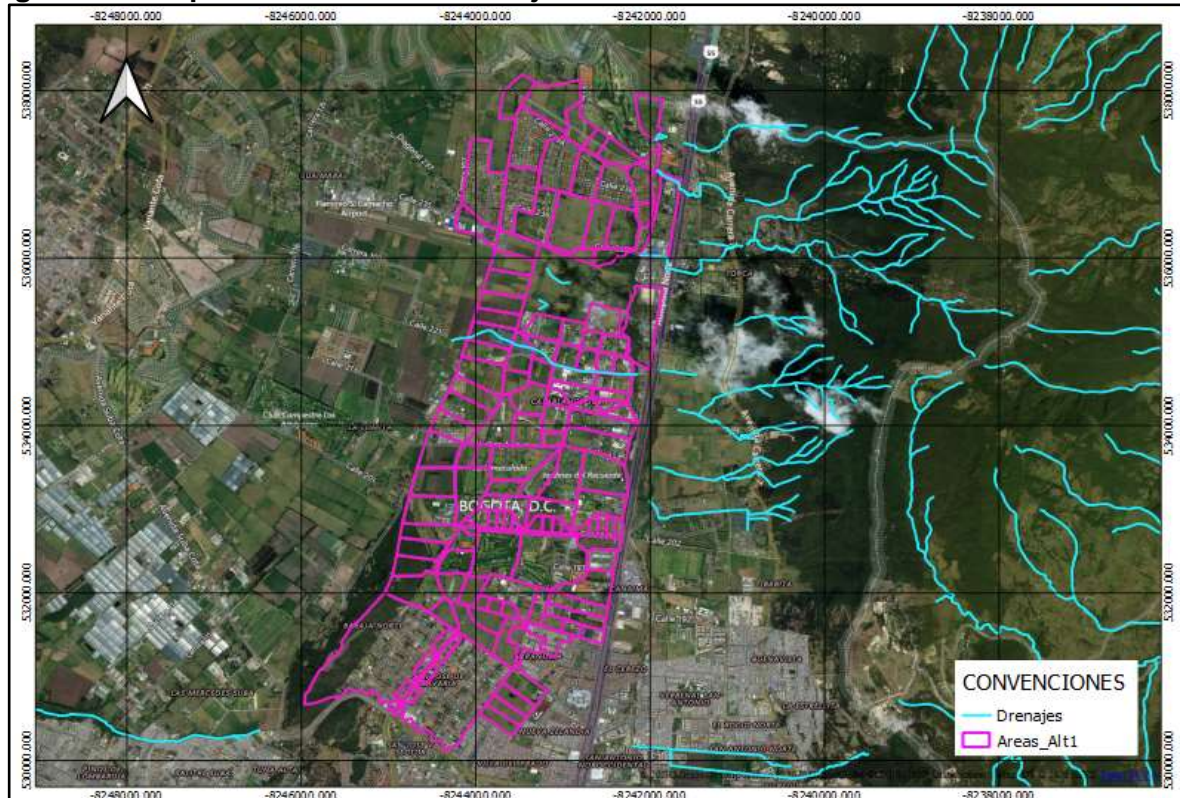
Figura 114 Cuenchas de Drenaje Alternativa 1



Fuente: WSP; 2020

En la Figura 115 se presenta la representación esquemática de las áreas de drenaje de la Alternativa 1.

Figura 115 Esquema de áreas de drenaje de la Alternativa 1



Fuente: WSP; 2020

- Cuenca 2:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Calle 183 hasta la Av. Polo con diámetro de Ø112" y Ø120" y longitud cercana a 1300m. Esta red conduce las aguas de San José de Bavaria y del Plan Parcial 2.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Tibabita desde la Av. Villas hasta la Av. Boyacá con diámetro de Ø42" y Ø45" y longitud cercana a 300m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 2.

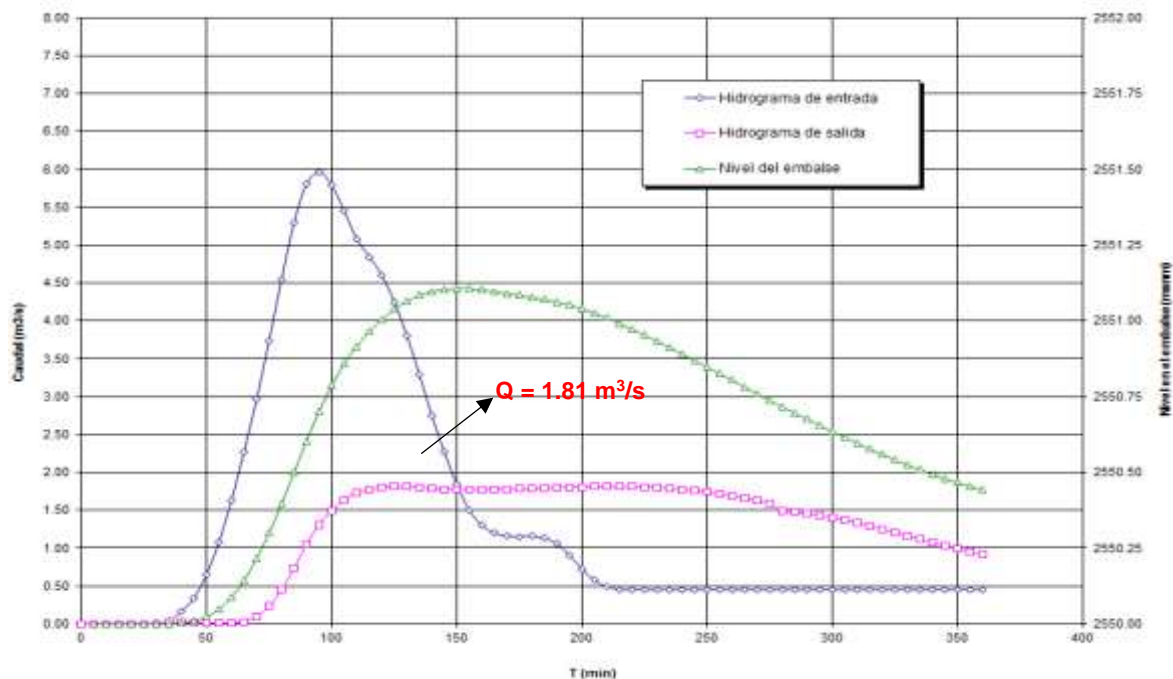
Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Avenida Polo desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetro de Ø120" y una longitud aproximada de 2000m. Esta red conduce las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

Es importante mencionar que en proximidades del Plan Parcial 7 "El Otoño" se localizan actualmente tres pondajes interconectados entre si (Rancho (Pondaje 4), Búho (Pondaje 3) y Otoño (Pondaje 2-1)) cuya área total corresponde a 81.44 ha (Rancho = 9.87 ha, Búho = 26.68 ha y Otoño = 44.89 ha). De acuerdo con lo anterior para el cálculo de caudal de la

tubería proyectada a lo largo de la Avenida Polo, no es posible considerar de manera directa las áreas anteriormente citadas, razón por la cual la presente consultoría realiza el tránsito de hidrogramas entre los pondajes teniendo en cuenta la regulación y control que éstos ejercen en la zona.

Teniendo esto como precedente el caudal neto real aferente a la tubería proyectada sobre la avenida polo corresponde a 1.813 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, el cual es ingresado de manera puntual a la red (Pozo 67) a través de dos tuberías de 36”.

Figura 116 Hidrograma Pondajes Existentes



Fuente: WSP; 2020

Tramo 4: Red pluvial localizada sobre la Autopista Norte hasta la entrega en el inicio del Canal Guaymaral, con una estructura de Box Culvert de dos celdas de dimensiones de 3.20m X 2.60m y una longitud aproximada de 600m.

- Cuenca 3:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Polo hasta la Av. Arrayanes con diámetro de Ø45”, Ø51” y Ø60” con una longitud cercana a 900m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 18, 19 30, 32 y 31.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Arrayanes desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø60”, Ø64”, Ø68”, Ø76” y Ø84”, con una longitud cercana a 1900m. Esta red conduce parte de las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

- Cuenca 4:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Arrayanes hasta la calle 215 con diámetro de Ø45" y Ø51" y una longitud aproximada de 700m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 20.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la calle 215 desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø51", Ø54", Ø60", Ø64" y Ø72" y longitud cercana a 1600m. Esta red conduce parte de las aguas de los planes Parcial 18, 19, 20 y 21.

- Cuenca 5:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la calle 215 hasta la Av El Jardín con diámetro de Ø36", Ø45" y Ø51" y longitud aproximada de 850m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 20.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Boyacá hasta antes de la Av. Villas con diámetro de Ø51" y Ø54" con una longitud cercana a 500m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 19, 20, 22.

Tramo 3: Red pluvial desde la Avenida El Jardín hasta la descarga en el humedal Guaymaral, posee diámetros de Ø64" y Ø68" y longitud cercana a 300m.

Tramo 4: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Villas hasta después de la Av. Villas con diámetro de Ø42" y longitud aproximada de 260m.

- Cuenca 6:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. El Jardín hasta la Av. Guaymaral con diámetro de Ø39", Ø48", Ø51" y Ø60" y longitud aproximada a 1100m.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Guaymaral desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetros de Ø60", Ø72", Ø76" y Ø80" y longitud aproximada de 1000m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 26 y 27.

- Cuenca 7:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Guaymaral hasta el corredor proyectado de la Av. ALO con diámetro de Ø54" y Ø72" y longitud aproximada de 1100m.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre el corredor proyectado para la Av. ALO desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetro de Ø76", Ø88" y Ø104" con una longitud aproximada de 1600m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 27 y 29.

Tramo 2: Red pluvial localizada al norte de la Av. Novita (Calle 242), tiene un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 80m hasta su descarga en el Canal Guaymaral. Esta se encargará de recolectar y transportar las aguas lluvias generadas en una manzana urbanizable del Plan Parcial 29 "Mudela del Río".

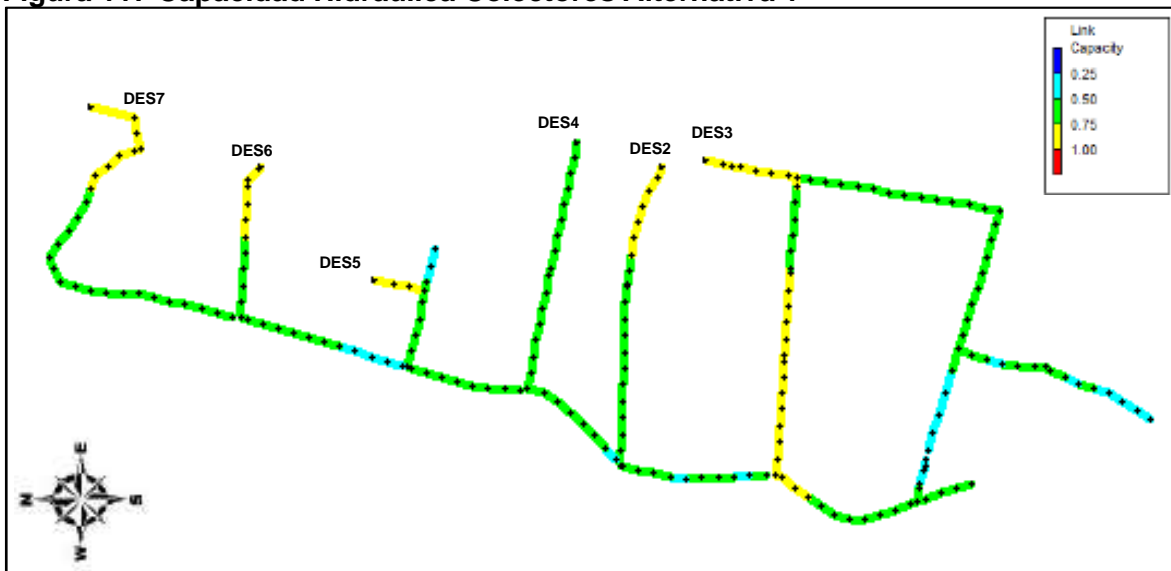
6.4.3.3.1 Diseño hidráulico de la Alternativa 1

En este capítulo se presentan los resultados de la modelación hidráulica realizada para los colectores propuestos en la alternativa 1. Se evaluó el criterio capacidad hidráulica (relación de llenado) y de la velocidad máxima, de igual forma se realizó el análisis de los remansos generados en los colectores debidos al control en las descargas, impuesto por las cotas de inundación estimadas para Tr 100 años en los cuerpos de agua receptores: Canal Torca y Humedal Guaymaral.

En la Figura 117 se presenta la relación de llenado Y/D en donde se evidencia que los colectores presentan un buen funcionamiento hidráulico y ninguno funciona a presión. Con respecto a la velocidad se evidencia que las redes proyectadas presentan un buen funcionamiento toda vez que ningún colector presenta una velocidad por encima de 5m/s tal como puede observarse en la Figura 118.

Al evaluar los perfiles hidráulicos y considerar la condición de remanso debido a la cota de inundación para un periodo de retorno Tr 100 años de los cuerpos de agua receptores como son: el canal Torcal y el Humedad Guaymaral, se evidencia que incluso para estas condiciones críticas de descarga, los colectores siguen funcionando adecuadamente realizando descargas a flujo libre y no se presentan reboses para ninguno de los pozos proyectados.

Figura 117 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 1



Fuente: WSP; 2020

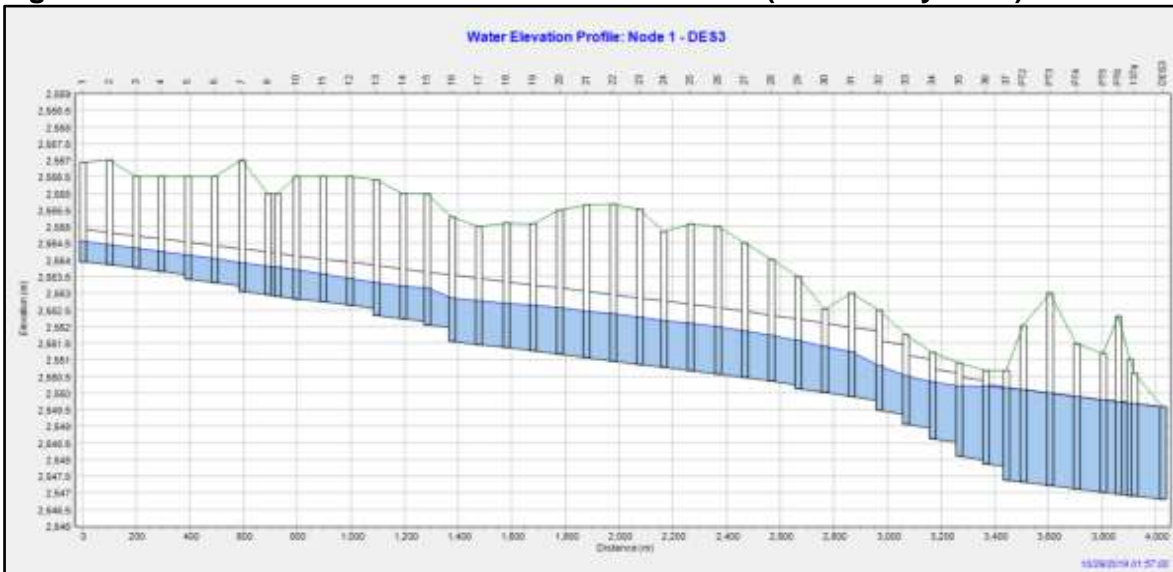
Figura 118 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 1



Fuente: WSP; 2020

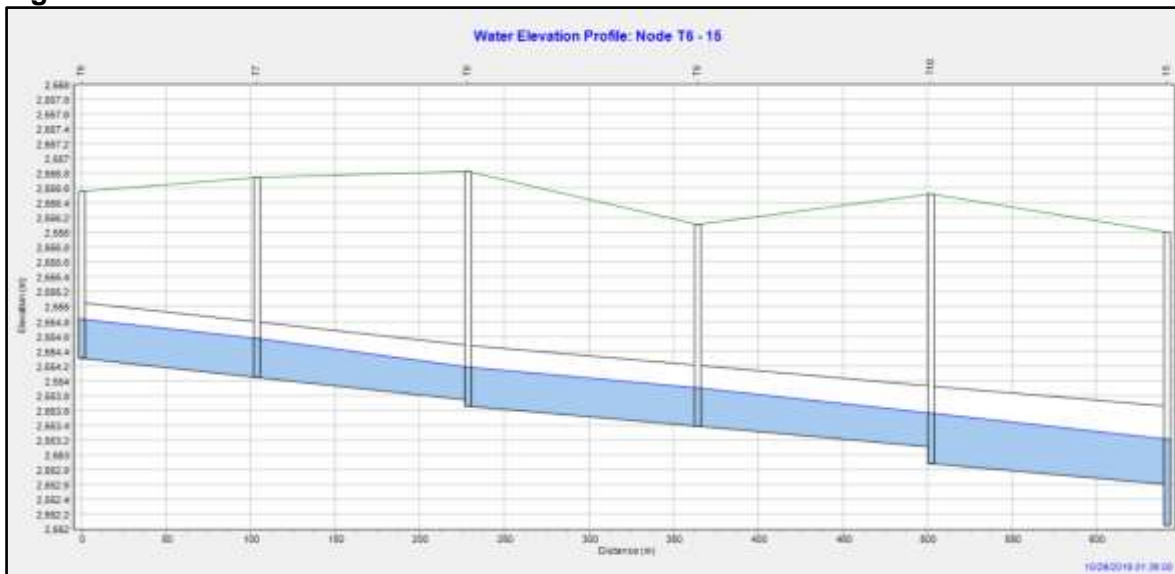
De la Figura 119 a la Figura 127, se presentan los perfiles hidráulicos por cuenca para el caudal pico, en donde se evidencian las condiciones críticas en las que funcionara la red.

Figura 119 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)



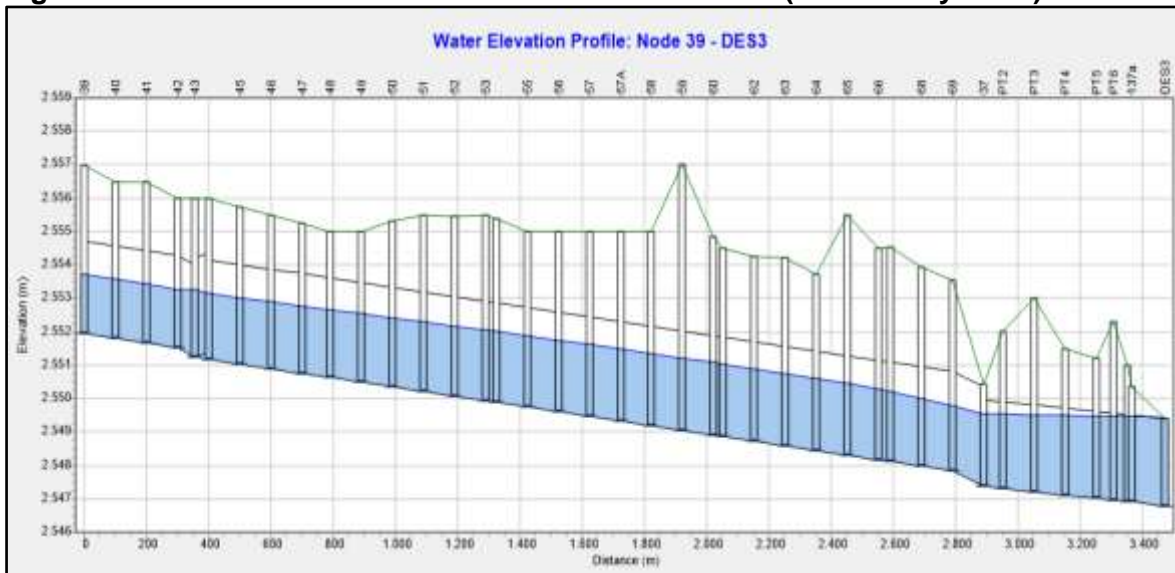
Fuente: WSP; 2020

Figura 120 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15



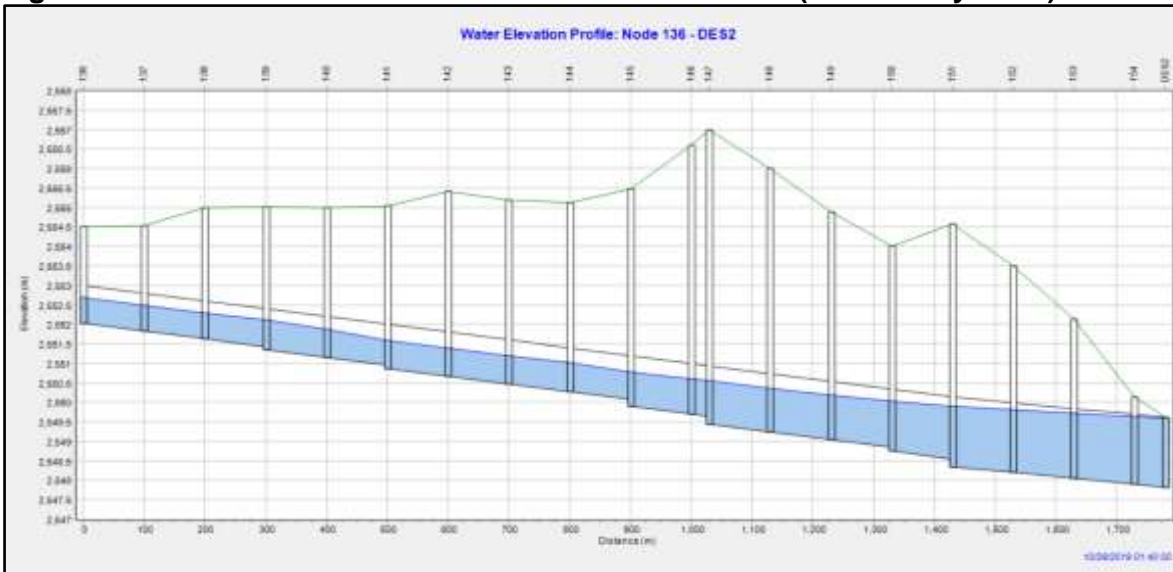
Fuente: WSP; 2020

Figura 121 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo 39 a DES3 (Canal Guaymaral)



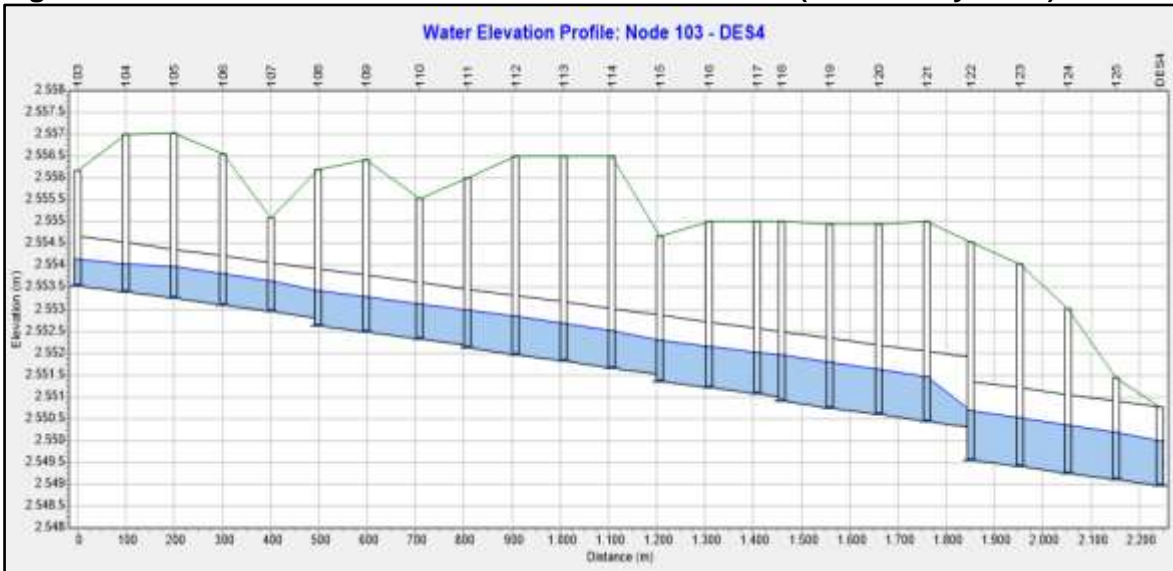
Fuente: WSP; 2020

Figura 122 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)



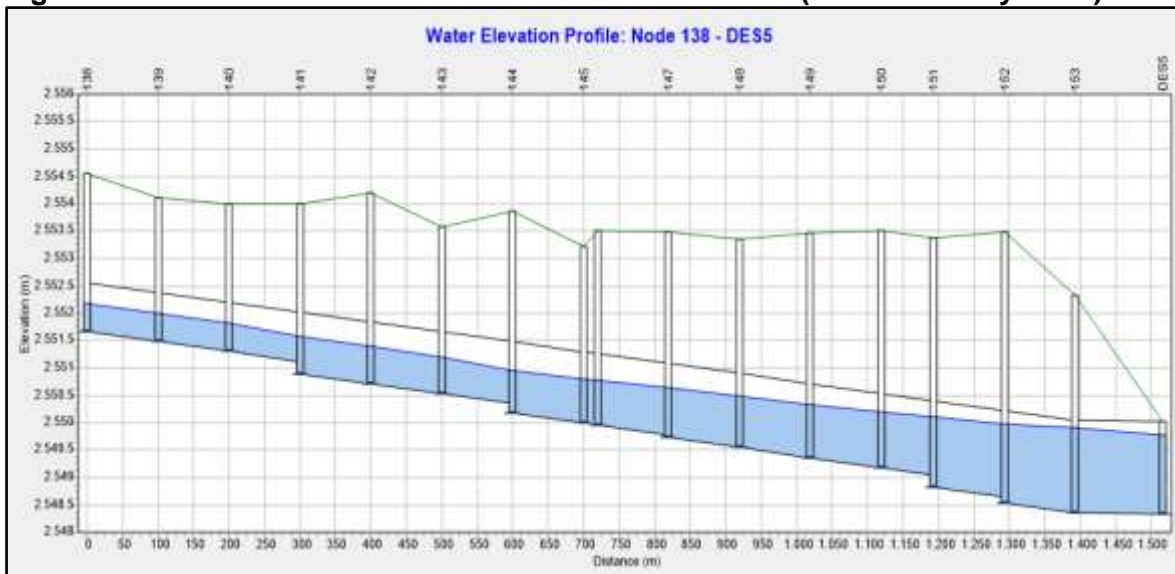
Fuente: WSP; 2020

Figura 123 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 103 a DES4 (Canal Guaymaral)



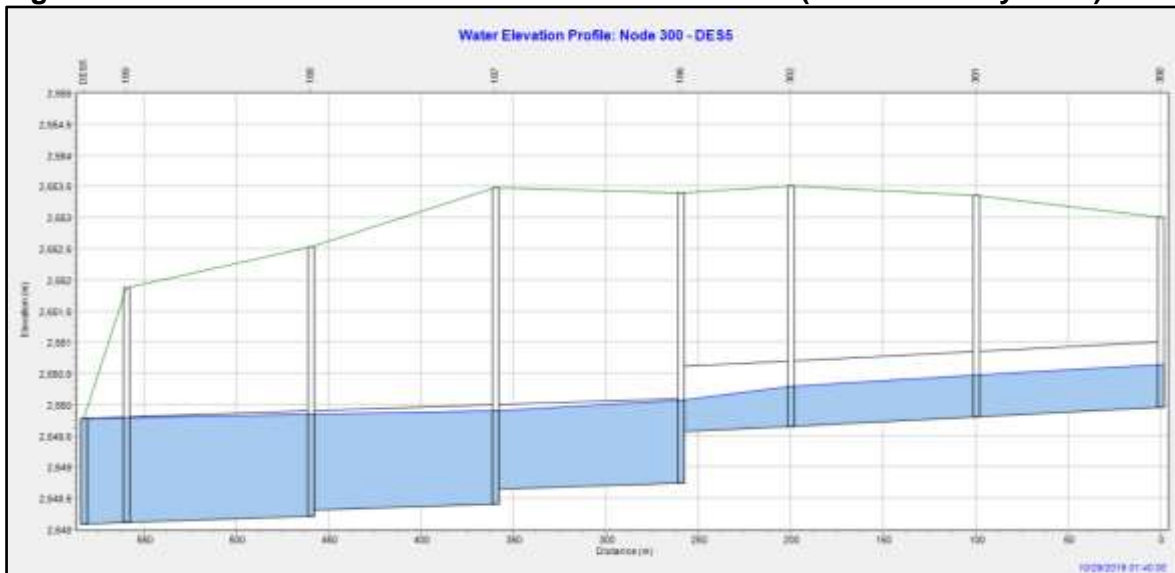
Fuente: WSP; 2020

Figura 124 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 138 a DES5 (Humedal Guaymaral)



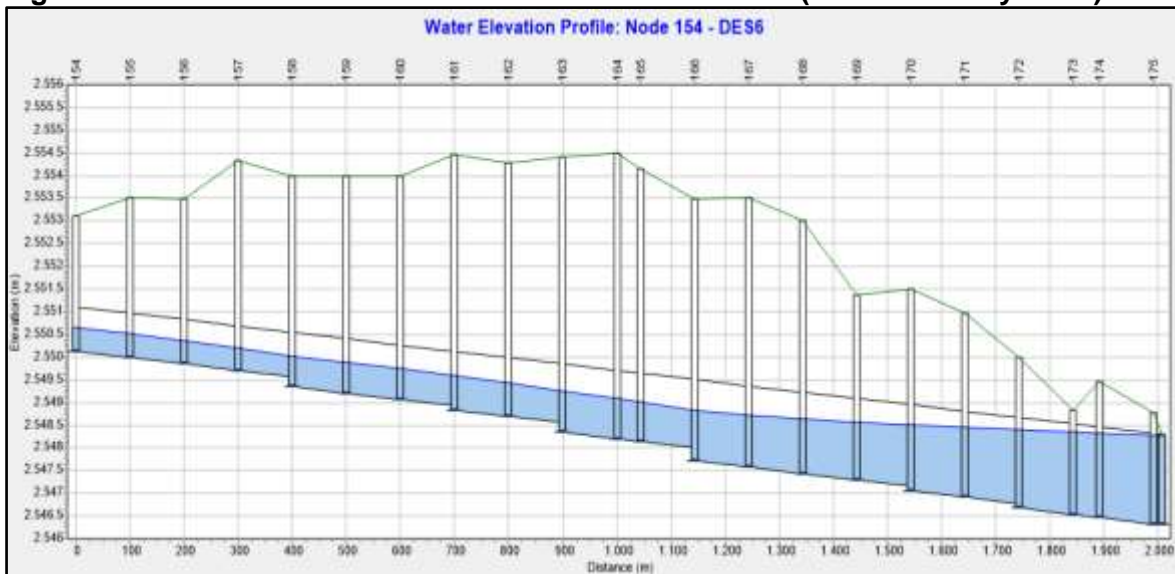
Fuente: WSP; 2020

Figura 125 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)



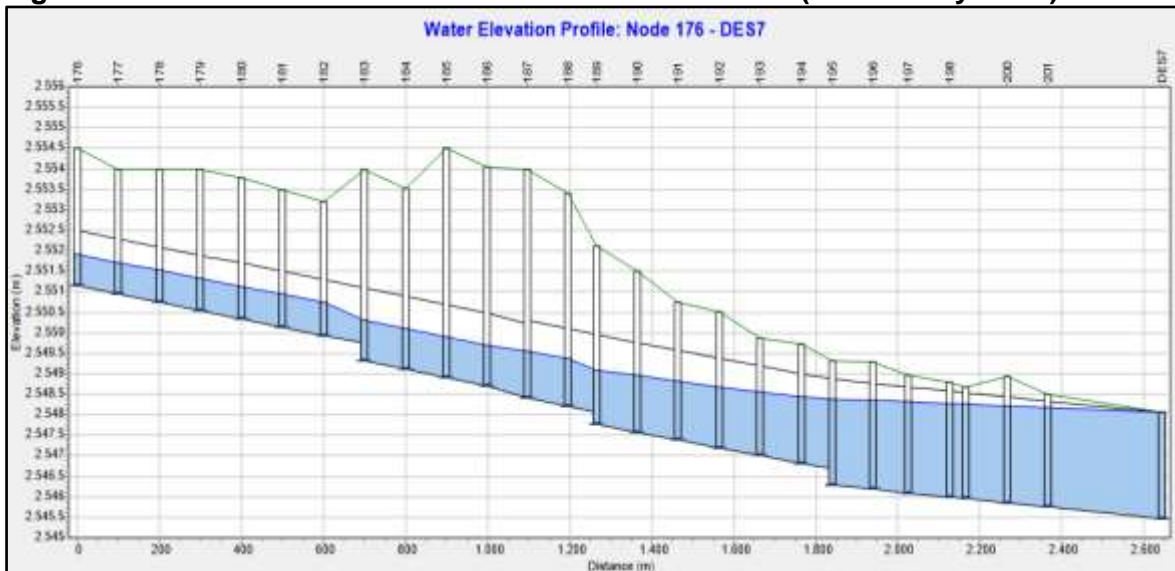
Fuente: WSP; 2020

Figura 126 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 154 a DES6 (Humedal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

Figura 127 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 176 a DES7 (Canal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

A continuación, se presentan los niveles de descarga en los cuerpos hídricos receptores para la Alternativa 1

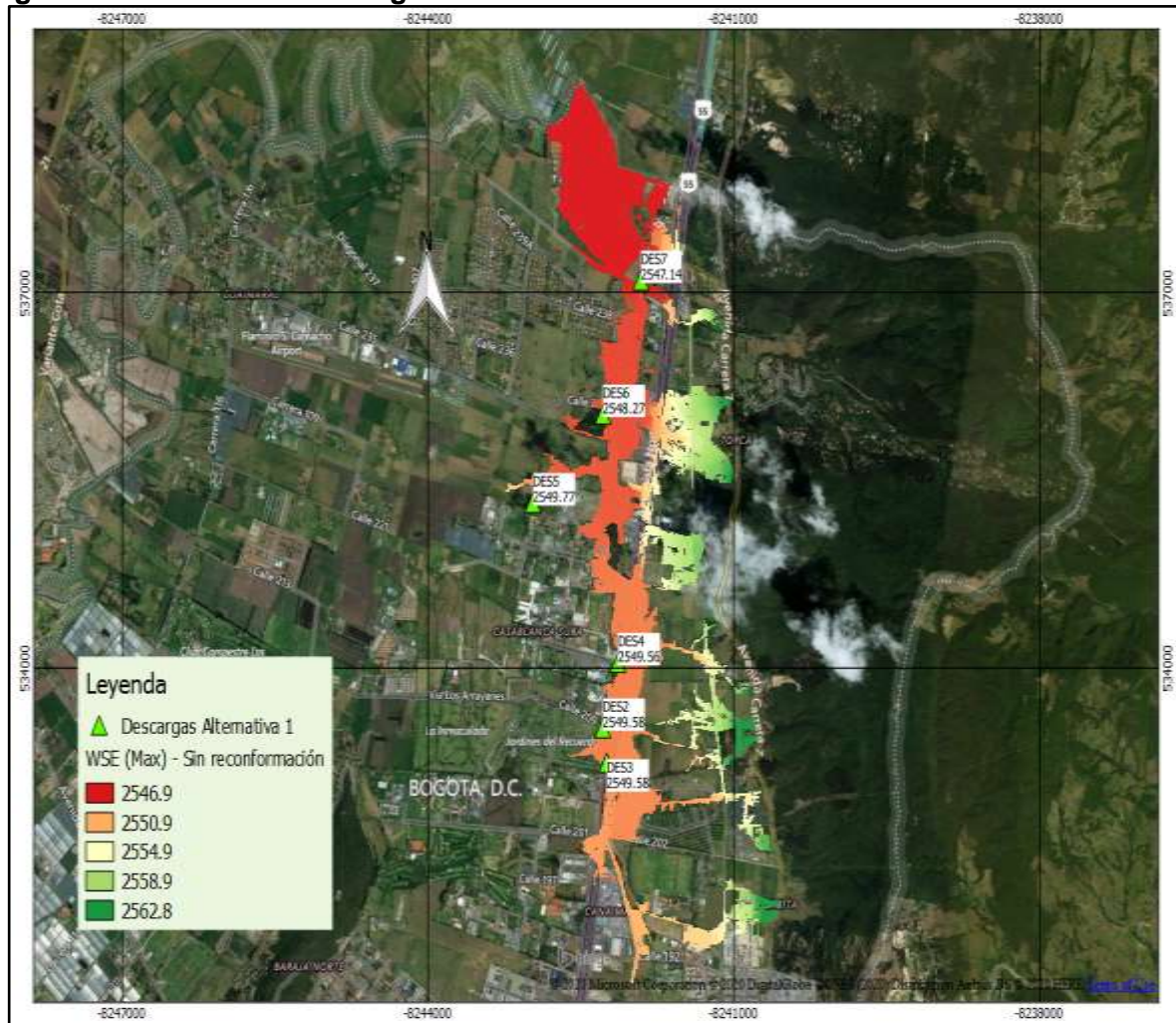
Tabla 33. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 1

CUENCA	COD	COTA MAXIMA DE INUNDACION TR 100AÑOS	COTA CLAVE DE DESCARGA
CUENCA 1 y 2	DESC 3	2549.58	2549.60

CUENCA	COD	COTA MAXIMA DE INUNDACION TR 100AÑOS	COTA CLAVE DE DESCARGA
CUENCA 3	DESC 2	2549.58	2549.60
CUENCA 4	DESC 4	2549.56	2550.76
CUENCA 5	DESC 5	2549.77	2550.03
CUENCA 6	DESC 6	2548.27	2548.30
CUENCA 7	DESC7	2547.15	2548.06

Fuente: WSP; 2020

Figura 128 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 1



Fuente: WSP; 2020

Cabe anotar que, para efecto del dimensionamiento hidráulico de colectores, no se ha tenido en cuenta la reducción de los caudales pico generados en la vía ni tampoco desde el interior de los Planes Parciales, que se ocasionarían con la implementación de SUDS. El procedimiento de dimensionamiento siguió los requerimientos establecidos en la Norma NS-085 de la EAAB, como se muestra en el Anexo 1.

6.4.3.4 Obras propuestas para la Alternativa 1

Esta alternativa contempla la adecuación de los cuerpos de agua y la proyección del sistema de redes, en resumen, se proyectan las obras definidas de esta alternativa a continuación.

Tabla 34 Obras propuestas reconformación Humedales en la Alternativa 1

RECONFORMACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 1
Excavación en suelo blando	m ³	317,665.76
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	66,623.74
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	10,443,348.03
Construcción Box Culvert ((incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	300.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	90,274.20
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	60,182.80

Tabla 35 Obras propuestas reconformación Canal Guaymaral en la Alternativa 1

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL	UN	ALTERNATIVA 1
Excavación en suelo blando	m ³	287,162.60
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	128,450.63
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	6,602,417.95
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	m	120.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	194.900.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	89,500.00

Tabla 36 Obras propuestas para la adecuación geomorfológica, restauración ecológica y paisajística de quebradas (Todas las Alternativas)

OBRAS_QUEBRADAS	RUBROS PRINCIPALES	CANTIDAD	UNIDAD
Q. TIBABITA	EXCAVACIONES	20,140.36	m3
	RELLENOS	4,833.07	m3
	REST. PAISAJISTICA	19,950.00	m2
	REST. ECOLOGICA	59,850.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	135.00	ml
Q. AGUAS CALIENTES	EXCAVACIONES	14,103.22	m3
	RELLENOS	26,619.88	m3
	REST. PAISAJISTICA	14,900.00	m2
	REST. ECOLOGICA	74,500.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	145.00	ml
Q. PATIÑO	EXCAVACIONES	35,666.77	m3
	RELLENOS	360.60	m3
	REST. PAISAJISTICA	16,900.00	m2
	REST. ECOLOGICA	84,500.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	110.00	ml
Q. SAN JUAN	EXCAVACIONES	30,590.23	m3
	RELLENOS	3,006.26	m3
	REST. PAISAJISTICA	17,200.00	m2
	REST. ECOLOGICA	86,000.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	220.00	ml
Q. PILAS	EXCAVACIONES	6,487.63	m3
	RELLENOS	4,309.27	m3
	REST. PAISAJISTICA	10,275.00	m2
	REST. ECOLOGICA	30,825.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	75.00	ml
Q. FLORESTA	EXCAVACIONES	22,553.25	m3
	RELLENOS	2,008.60	m3
	REST. PAISAJISTICA	72,500.00	m2
	REST. ECOLOGICA	72,500.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	75.00	ml
Q. CAÑIZA	EXCAVACIONES	12,548.25	m3
	RELLENOS	4,438.80	m3
	REST. PAISAJISTICA	14,250.00	m2
	REST. ECOLOGICA	42,750.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	75.00	ml
Q. NOVITA	EXCAVACIONES	12,899.81	m3
	RELLENOS	6,347.67	m3
	REST. PAISAJISTICA	46,000.00	m2
	REST. ECOLOGICA	57,500.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	45.00	ml
Q. TORCA	EXCAVACIONES	3,239.10	m3
	RELLENOS	1,657.37	m3
	REST. PAISAJISTICA	23,100.00	m2
	REST. ECOLOGICA	18,900.00	m2
	ESTRUCTURAS BOX	85.00	ml

Fuente: WSP; 2020

Tabla 37 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 1

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
PRELIMINARES		
Replanteo	KM	18.53
MOVIMIENTO DE TIERRAS		
EXCAVACIONES		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	115,112.25
Excavación en suelo blando 2 < h <= 4 m	M3	101,491.29
Excavación en suelo blando h > 4 m	M3	8,844.29
ENTIBADO		
Entibado continuo con láminas metálicas en acero o aluminio EC-4	M2	66,328.23
RELLENOS		
Relleno mezc gravilla y arena lavada río	M3	145,496.54
Recebo	M3	80,227.38
RETIRO Y DISPOSICIÓN MATERIALES SOBANTES		
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	9,378,629.73
TUBERÍAS		
SUMINISTRO TUBERÍAS		
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D24"	M	-
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D27"	M	-
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D30"	M	248.31
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D33"	M	298.64
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D36"	M	326.04
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D39"	M	861.19
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D42"	M	599.64
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D45"	M	1,539.36
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D48"	M	326.05
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D51"	M	1,769.12
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D54"	M	1,600.95
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D60"	M	1,292.66
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1600	M	963.29
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1700	M	893.31
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1800	M	1,289.68
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1900	M	617.52
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2000	M	1,686.93
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2100	M	1,350.99
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2200	M	625.26
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2400	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2500	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2600	M	874.27
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2800	M	385.89
Tubería GRP PN1 SN2500 DN3000	M	3,091.75
INSTALACIÓN TUBERÍAS		
Inst tub flexibles alcant Dn20 y 24"	M	-

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
Inst tub flexibles alcant Dn27 y 30"	M	546.95
Inst tub flexibles alcant, Dn36"-1.00m	M	1,786.87
Inst tub flexibles alcant Dn1.10 y 1.20m	M	1,865.41
Inst tub flexibles alcant Dn1.30 y 1.40m	M	3,370.07
Inst tub flexibles alcant Dn1.50 y 1.60m	M	2,255.95
Inst tub flexibles alcant Dn1.70 y 1.80m	M	2,182.99
Inst tub flexibles alcant Dn1.90m	M	617.52
Inst tub flexibles alcant Dn 2.00m	M	1,686.93
Inst tub flexibles alcant Dn2.20m	M	1,976.25
Inst tub flexibles alcant Dn 2.45m	M	-
Inst tub flexibles alcant Dn2.60m	M	874.27
Inst tub flexibles alcant Dn 2.75m	M	3,477.64
BOX CULVERT		
CONSTRUCCION BOX CULVERT Sección (3.2x2.6) m (Incluye concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	1,128.68
CÁMARAS Y POZOS		
CAMARA DE INSPECCIÓN D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	7,300.61
Relleno en recebo común (Incluye suministro, extendido mecánico, humedecimiento, compactación mecánica)	m3	4,699.77
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	303,705.38
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	2,600.84
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	154,036.00
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	58.20
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	194.00
Inst plac cub circ D 1.0m + arobase 1-2 pestañas, pozo cónico	UN	194.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	194.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	2,048.64
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	2,048.64
POZOS DE INSPECCIÓN Dmax=0.60 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	672.00
Recebo	M3	464.00
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	27,955.20
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	55.76
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	4,389.60
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	1.04
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	8.00
Inst plac cubta circ E0.25m D1.70m cilín	UN	8.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	8.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	84.48

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	84.48
CABEZALES		
CABEZAL DE DESCARGA D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	178.50
Recebo	M3	124.74
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	7,425.60
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	53.76
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	5,913.60
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	4.20

Fuente: WSP; 2020

6.4.4 Alternativa 2

6.4.4.1 Objetivos

Esta Alternativa tiene como objetivo principal la disminución de los aportes de aguas lluvias que llegan a través de la cuenca del canal Torca al Humedal, mediante una derivación hasta el río Bogotá, y haciendo su entrega al río, mediante un pondaje y un sistema de bombeo. En esta opción, dada la extracción de agua del canal, se ha previsto hacer menores intervenciones en el humedal y el canal Guaymaral, garantizando la contención de inundaciones en la zona de influencia de los planes parciales de Lagos de Torca. Para esta Alternativa se requiere la implementación de un sistema de elevación del flujo a su llegada al río Bogotá debido a que topográficamente no es posible realizar una descarga directamente a gravedad desde el Canal Torca.

6.4.4.2 Componente Adecuación hidrogeomorfológica

La Alternativa 2 en adecuación geomorfológica consiste en la intervención de cuatro (4) áreas del Humedal en el sector Guaymaral y la adecuación del Canal Guaymaral entre el K0+000 en la Calle 209 y el K0+930 (Calle 215) y entre la abscisa K3+000 (Calle 235) hasta la abscisa K5+920 en la desembocadura al río Bogotá. Esta Alternativa no contempla adecuaciones en el sector Torca del humedal. Para este caso se prevé hacer una captación del 50% de del caudal máximo generado en la cuenca del Canal Torca y conducirlo mediante un colector expreso Torca a través del corredor de la Avenida Los Arrayanes hasta un pondaje ubicado en la margen izquierda del río Bogotá, para posteriormente mediante una estación de bombas, elevar las aguas al río Bogotá. Aunque esta propuesta es la que más agua extrae al sistema hídrico Torca Guaymaral (más de 80 m³/s) y reduce de manera importante las obras de reconfiguración del humedal, requiere de una importante infraestructura de drenaje que hacen que la solución sea la más costosa de las propuestas.

La alternativa consiste en la Adecuación Geomorfológica del Humedal y Canal Guaymaral (Áreas Achuradas). Drenaje mediante colector expreso Torca por Av. Arrayanes + Pondaje + Estación de Bombeo en Río Bogotá y sistemas de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

En la Figura 129 se muestra la localización de los cuerpos de agua a reconfigurar en la Alternativa 2 y los colectores proyectados de aguas lluvias consideradas en esta alternativa.

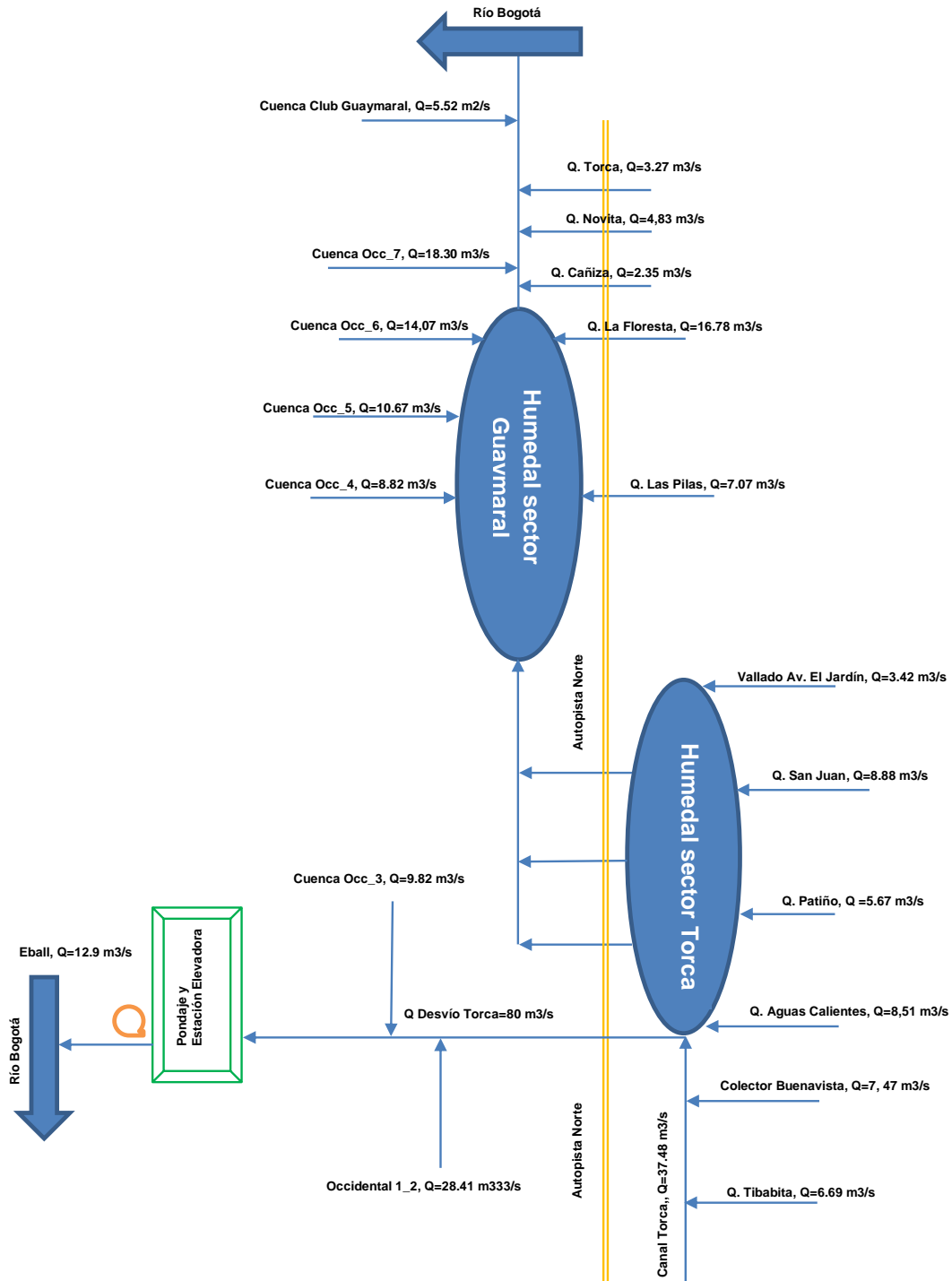
Figura 129 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

El esquema hidrológico evaluado en esta Alternativa, es que el que se muestra en la Figura 130.

Figura 130 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 2.

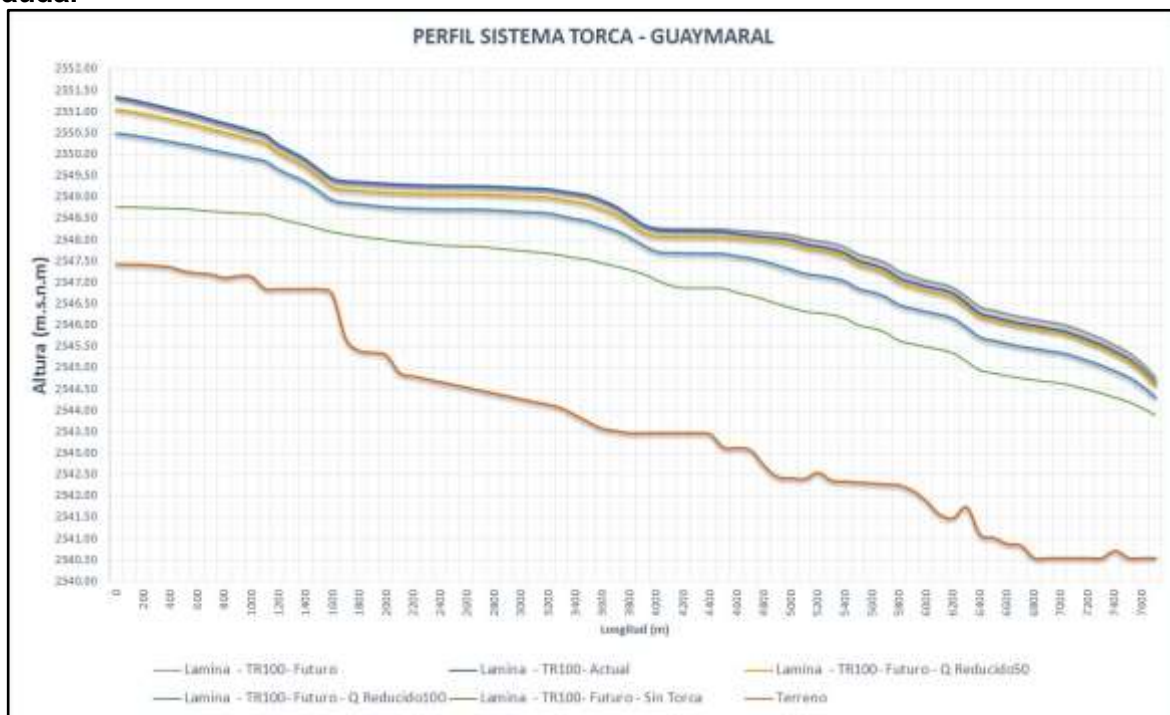


Fuente: WSP; 2020

Es de anotar que la configuración topográfica del perfil de terreno entre el Canal Torca al ingreso al Humedal hasta el río Bogotá, impide realizar una descarga a gravedad entre los dos sitios, se hace necesario implementar una estación elevadora en la margen izquierda de este, que eleve las aguas desviadas a través del conducto hasta la cota máxima de diseño del río Bogotá en este punto. De igual forma, en el caso en que las condiciones ecosistémicas lo requieran, se deberá diseñar un elemento adicional que permita hacer una derivación del caudal del canal Torca hacia el Interceptor propuesto.

Para establecer el caudal que debe ser derivado a partir del Canal Torca, se efectuaron modelamientos para diversos porcentajes de caudal desviado, con el objeto de observar el comportamiento del descenso de los niveles en el humedal. Los perfiles hidráulicos del sistema Torca-Guaymaral, son los que se muestran en la Figura 131.

Figura 131 Perfiles hidráulicos Sistema Torca-Guaymaral- Escenarios de desvío de caudal

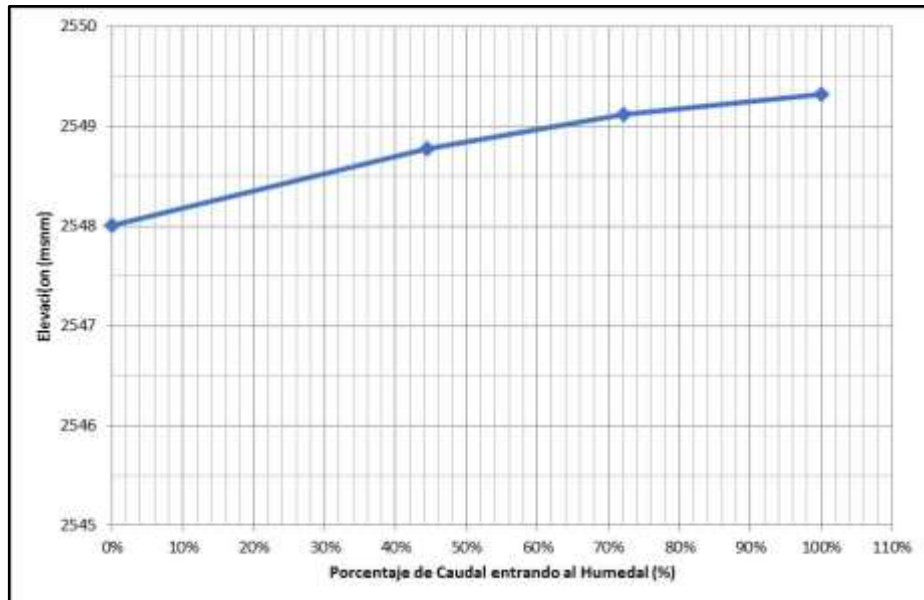


Fuente: WSP; 2020

De esta manera se generó una curva de sensibilidad, para definir los descensos alcanzados en el nivel del humedal, con respecto al caudal que se mantiene ingresando en el Humedal, para una creciente con periodo de retorno 100 años, como se ilustra en la Figura 132.

Esta representación muestra que para en el caso de que se lleve a cabo una derivación del caudal total aportado por el canal Torca, se alcanza una disminución aproximada a los 1.30 m, mientras que para una derivación del 28% del caudal del canal (72% ingresando al Humedal), la disminución alcanzada es de solo 20 cm y para un 65% del caudal desviado (45% ingresando al Humedal), se alcanza una disminución de 50 cm.

Figura 132 Curva de sensibilidad a la inundación según caudal de desvío del Canal Torca



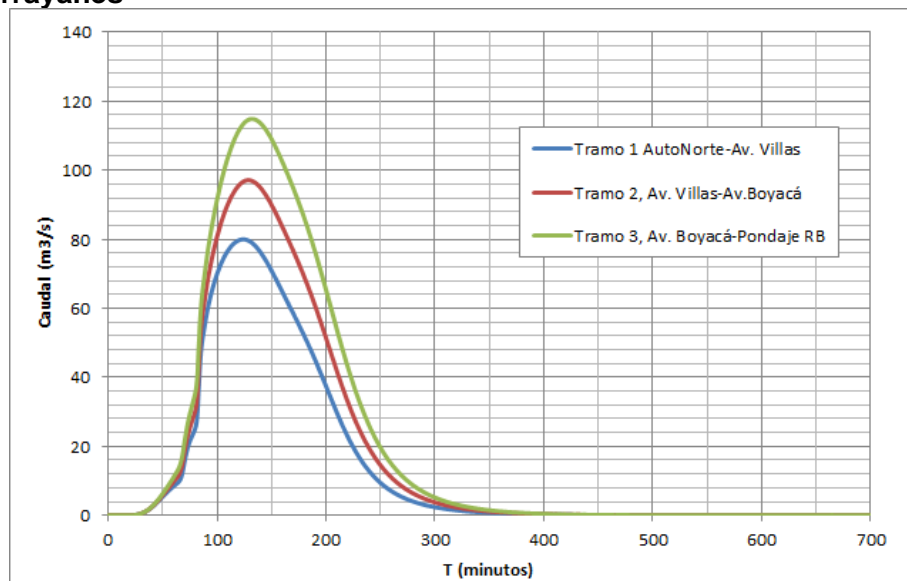
Fuente: WSP; 2020

Dado que desde el punto de vista ambiental y en procura de garantizar la conectividad hídrica del sistema, no se contempla realizar la derivación de la totalidad del caudal del Canal Torca, por lo que esta opción se descarta. Ahora, para los otros dos escenarios, se establece que la mejor opción es derivar 80 m³/s del canal (65% del caudal total) para lograr una disminución apreciable dentro del humedal, sin afectar las condiciones ecohidráulicas del sistema.

De la Figura 132 se obtiene que para lograr un descenso de hasta 0.50 m en el Humedal, se requiere hacer el desvío del 65% del caudal afluente por el Canal Torca, lo que equivale a aproximadamente la evacuación de una total de 80 m³/s, con lo cual al final del sistema, a orillas del río Bogotá, se deberá contar con un almacenamiento temporal (pondaje) y un sistema de elevación al cauce del Río. Estos elementos adicionales harán que el caudal entregado al cauce del río sea controlado. Es de tener en cuenta que en el recorrido a través de la avenida Arrayanes entre la Autopista Norte y la Avenida Boyacá, este conducto recibirá el aporte de las cuencas 1 y 2 de la red de alcantarillado previsto para esta sector de Lagos de Torca, además de la escorrentía generada en el sector de San José de Bavaria, que corresponde a un área total de 270 ha. De este manera el caudal máximo aferente a la estación elevadora del río Bogotá, será de aproximadamente de 114.9 m³/s, como se ilustra en los hidrogramas de la Figura 133.

El recorrido de este colector sigue la franja definida para el trazado de la Avenida Arrayanes entre la Autopista Norte hasta el pondaje en la margen izquierda del Río Bogotá, cruzando las avenidas Las Villas, Boyacá y Longitudinal de Occidente ALO.

Figura 133 Hidrogramas de caudal al interior de la conducción de derivación por la Avenida Arrayanes



Fuente: WSP; 2020

Estos hidrogramas de caudal, además de tener en cuenta el caudal derivado desde el canal Torca, incluye los flujos provenientes de las cuencas 1 y 2 de la Zona sur de Lagos de Torca, así como el caudal de escorrentía del sector de San José de Bavaria, que hace su ingreso hacia el cruce con la Avenida Boyacá.

El dimensionamiento de este conducto se llevó a cabo mediante la aplicación de la teoría de flujo uniforme para la sección finalmente seleccionada que correspondió a un box culver, en tres tramos así:

- Tramo 1: Autopista Norte – Avenida Las Villas, sección 6.0x4.5m
- Tramo 2: Avenida Las Villas – Avenida Boyacá; sección 6.50x4.5m
- Tramo 3: Avenida Boyacá – Pondaje Río Bogotá, sección 7.0x4.5m

La pendiente longitudinal del conducto será de 0.0021 m/m.

La selección del tipo de conducto, Túnel Linner o Box Culvert fue evaluado bajo criterios de tipo geotécnico y constructivo, teniendo en cuenta que la construcción de una pareja de túneles paralelos, requiere que tengan una separación superior a 3 veces el diámetro entre sus paredes finales para evitar la superposición de bulbos de esfuerzos, es decir, que no podrán implementarse de manera independiente sin afectarse entre sí.

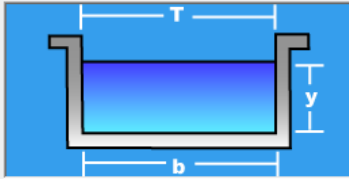
Por otro lados y a raíz del monitoreo de los niveles freáticos realizados por esta consultoría, están muy cercanos a la superficie, lo que ejerce una limitación técnica a la implementación del túnel. Para el caso de la sección en box culvert, construida a cielo abierto, su implementación se puede realizar por tramos en los cuales se pueden hacer un manejo menos exigente del agua freática. Por otro lado, la opción de Box permite conformar un relleno sobre este que mejora las condiciones del subsuelo mientras que el túnel linner puede requerir mejoramientos del terreno posteriores.

Dentro de los conductos el caudal de agua fluye debido a fuerzas como la gravedad, resistencia, presión y viscosidad; que permiten también el arrastre de sedimentos, pero sin causar erosión en las paredes del box culvert.

El predimensionamiento del conducto se presenta en la Figura 134, para el Tramo 1, la Figura 135 para el Tramo 2 y la Figura 136 para el Tramo 3. La velocidad máxima para sector es de 4.54 m/s, 4.77 m/s y 4.99 m/s, respectivamente. De igual manera en los sectores el tipo de flujo esperado es de subcrítico ($Fr < 1.0$).

Figura 134 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 1

Lugar:	Lagos de Torca	Proyecto:	Alternativa 2 P7
Tramo:	Desvio Canal Torca	Revestimiento:	Concreto

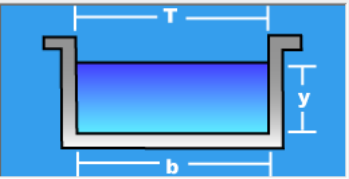
Datos:		
Caudal (Q):	80 m ³ /s	
Ancho de solera (b):	6 m	
Talud (Z):		
Rugosidad (n):	0.015	
Pendiente (S):	0.0021 m/m	

Resultados:		
Tirante normal (y):	3.2460 m	Perímetro (p): 12.4919 m
Área hidráulica (A):	19.4758 m ²	Radio hidráulico (R): 1.5591 m
Espejo de agua (T):	6.0000 m	Velocidad (v): 4.1077 m/s
Número de Froude (F):	0.7279	Energía específica (E): 4.1059 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	

Fuente: WSP; 2020

Figura 135 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 2

Lugar:	Lagos de Torca	Proyecto:	Alternativa 2 P7
Tramo:	Desvio Canal Torca	Revestimiento:	Concreto

Datos:		
Caudal (Q):	97.5 m ³ /s	
Ancho de solera (b):	6.5 m	
Talud (Z):		
Rugosidad (n):	0.015	
Pendiente (S):	0.0021 m/m	

Resultados:		
Tirante normal (y):	3.4751 m	Perímetro (p): 13.4503 m
Área hidráulica (A):	22.5883 m ²	Radio hidráulico (R): 1.6794 m
Espejo de agua (T):	6.5000 m	Velocidad (v): 4.3164 m/s
Número de Froude (F):	0.7393	Energía específica (E): 4.4247 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	

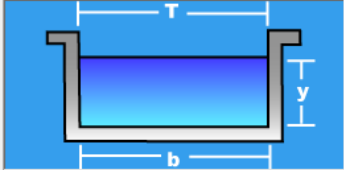
Fuente: WSP; 2020

Figura 136 Dimensionamiento del Interceptor de la Alternativa 2, Tramo 3

Lugar:	<input type="text" value="Lagos de Torca"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Alternativa 2 P7"/>
Tramo:	<input type="text" value="Desvio Canal Torca"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="122"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="7"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value=""/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0021"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="3.8184"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="14.6369"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="26.7291"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="1.8261"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="7.0000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="4.5643"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.7458"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="4.8803"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

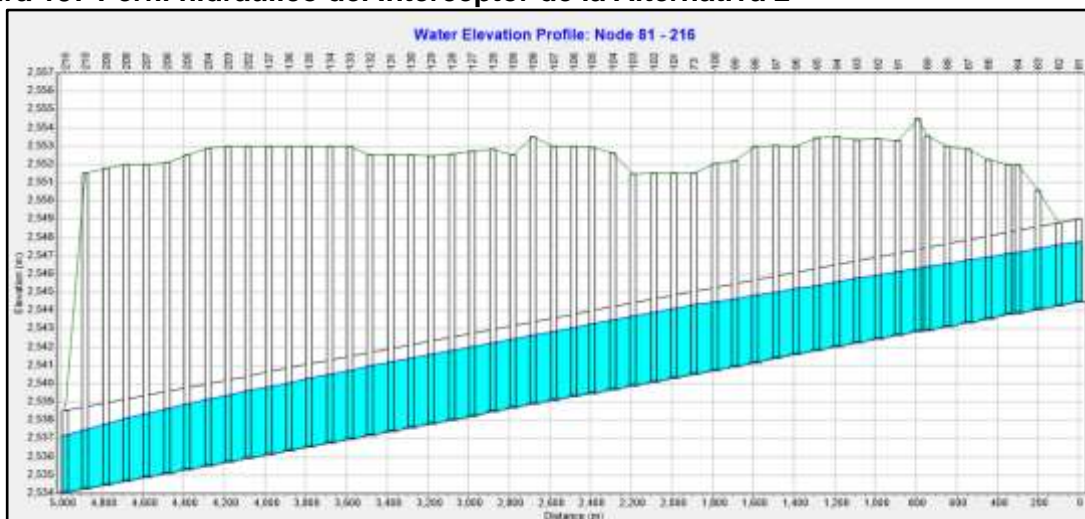
Fuente: WSP; 2020

Para esta alternativa, el pre-dimensionamiento del conducto interceptor da como resultado las siguientes características geométricas, que se obtienen del análisis hidráulico de la estructura de forma que la misma pueda transportar los caudales indicados en cada hidrograma.

- Longitud del Interceptor: 4985 m
- Caudal de diseño máximo: 80, 97 y 117 m³/s
- Pendiente: 0.21%

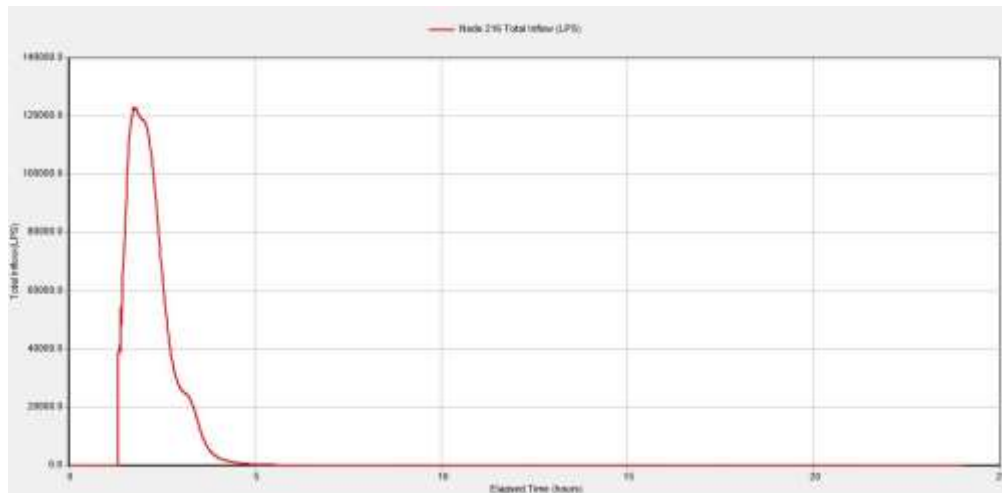
En la Figura 137 se presenta el modelamiento hidráulico llevado a cabo para este conducto a través del programa SWMM. Así mismo en la Figura 138 se presenta el hidrograma final transitado a través del mismo hasta la llegada al pondaje.

Figura 137 Perfil hidráulico del Interceptor de la Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

Figura 138 Hidrograma de crecientes en el Interceptor de la Alternativa 2

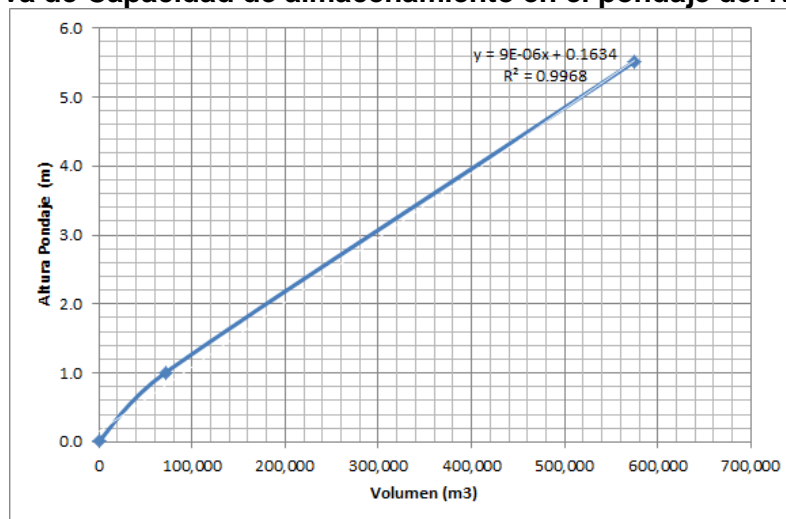


Fuente: WSP; 2020

Para el dimensionamiento del pondaje de retención y la estación elevadora en la margen izquierda del río Bogotá se aplicó el hidrograma total de la creciente indicado antes y mediante un ejercicio de evaluación de diferentes arreglos, se llega a establecer que la mejor opción requiere de la disposición de cuatro bombas tipo tornillo de Arquímedes que elevan un caudal total para la condición máxima, de 12.92 m³/s y un área de pondaje de aproximadamente 12 hectáreas. Este pondaje tendrá una capacidad útil de 687.000 m³ para el evento de creciente de 100 años de período de retorno.

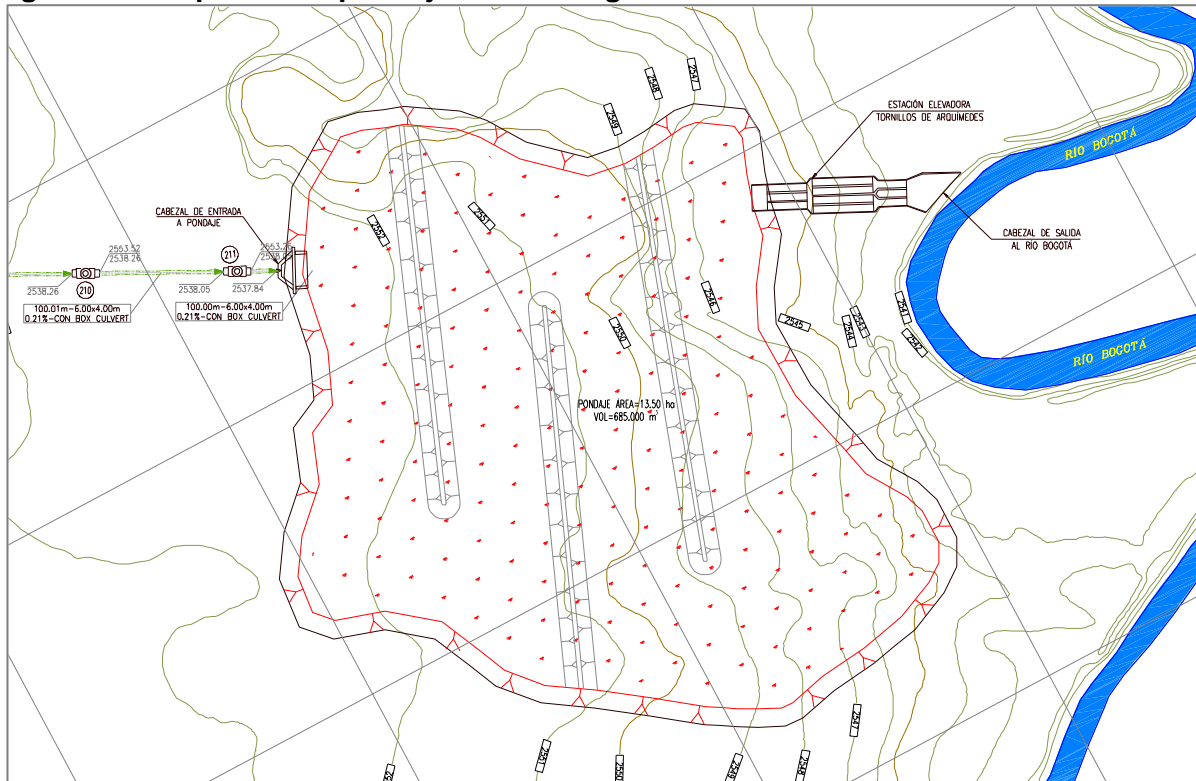
Sección transversal: Se propone para el conducto un box culvert de una sección transversal de 5.0x4.0m en el tramo inicial entre la Autopista Norte y la Avenida Las Villas; de 5.50x4.0m en el tramo intermedio entre la Avenida Las Villas y la Avenida Boyacá; y de 6.0x4.0m en el tramo final comprendido entre la Avenida Boyacá y el Pondaje del Río Bogotá. La curva de capacidad de almacenamiento en el pondaje es la que se indica en la Figura 139.

Figura 139 Curva de Capacidad de almacenamiento en el pondaje del Río Bogotá



Fuente: WSP; 2020

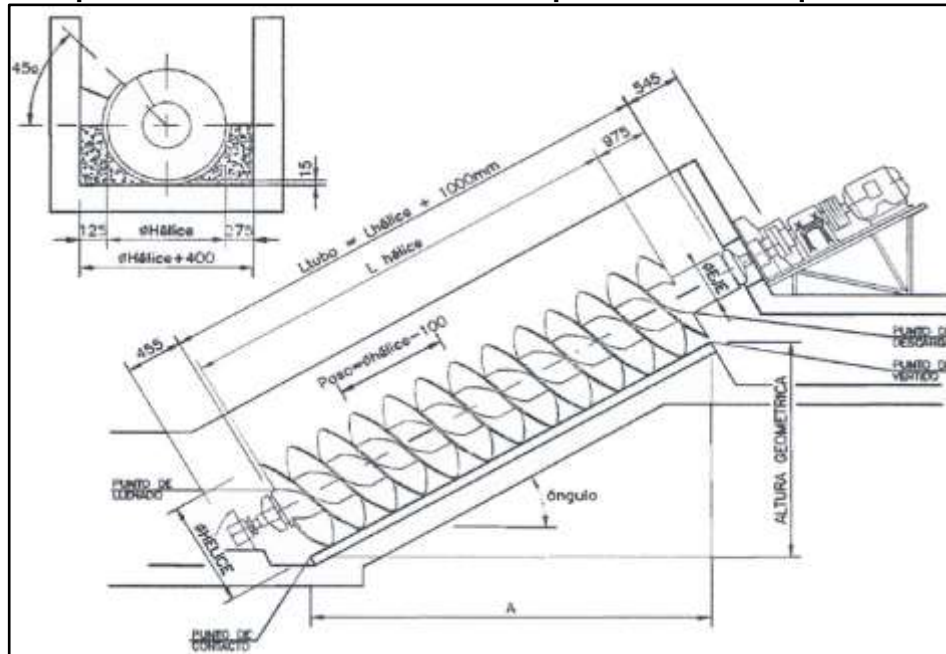
Figura 140 Esquema del pondaje del Río Bogotá



Fuente: WSP; 2020

Para el sistema de elevación se propone una bomba tipo tornillo helicoidal (Tornillo de Arquímedes) apropiado para elevar grandes caudales a alturas menores. En la Figura 141 se presenta el esquema de un sistema de bombas tipo tornillo con la indicación de las variables de dimensionamiento.

Figura 141 Esquema de un sistema de bombas tipo Tornillo de Arquímedes



Fuente: Landustrie, Land y tornillos de Arquímedes & hidrotornillos,

Tabla 38 Dimensionamiento de la geometría de la disposición de la bomba de tornillo

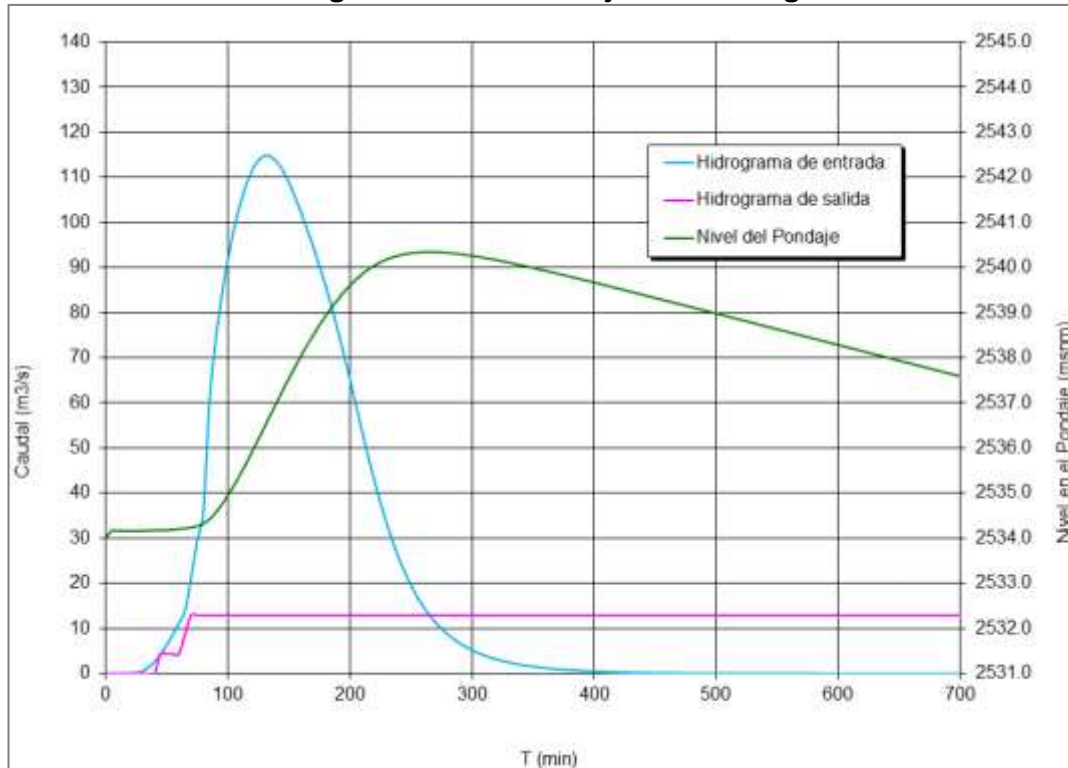
Diámetro (mm)	Rotación máxima (r.p.m.)	30°		35°		38°	
		Capacidad máxima (m³/sg)	Elevación máxima (mm)	Capacidad máxima (m³/sg)	Elevación máxima (mm)	Capacidad máxima (m³/sg)	Elevación máxima (mm)
300	118	0,016	2800	0,012	3200	0,011	3500
450	98	0,041	4000	0,033	4600	0,029	5000
600	75	0,082	4700	0,066	5400	0,059	5900
800	62	0,154	5500	0,125	6300	0,112	6900
1000	53	0,272	6700	0,218	7700	0,196	8400
1250	46	0,430	7700	0,360	8900	0,312	9700
1500	40	0,690	8600	0,556	10000	0,500	10900
1800	36	1,080	9800	0,866	11400	0,777	12500
2100	32	1,500	9200	1,210	10500	1,087	11500
2450	29	2,210	8000	1,770	9100	1,591	10000
2800	26	2,980	10500	2,390	12100	2,150	13300
3200	24	4,070	10600	3,273	12100	2,940	13300
3600	22	5,360	11000	4,306	12600	3,860	13800
4050	21	7,060	11400	5,670	13000	5,090	14200
4500	19	9,000	11700	7,240	13300	6,500	14600
5000	18	11,530	12000	9,260	13600	8,320	14900

Fuente: Landustrie, Land y tornillos de Arquímedes & hidrotornillos,

De acuerdo con la configuración geométrica en la zona de entrega al Río Bogotá, se hace uso de ábacos para el dimensionamiento del equipo de bombeo. Para el caso se seleccionaron tornillos con diámetro de 3600 mm, instalado a 35° y para un a profundidad máxima de 12.6 m. La elevación del nivel de entrega al río Bogotá es la cota 2546.37 msnm y la cota de fondo del pondaje será de 2534.0 msnm.

El tránsito del hidrograma de caudal para la condición máxima de operación implica la intervención de tres de las cuatro unidades de tornillo instaladas, para una capacidad máxima de 12.92 m³/s.

Figura 142 Tránsito de hidrogramas en el Pondaje del Río Bogotá – Alternativa 2

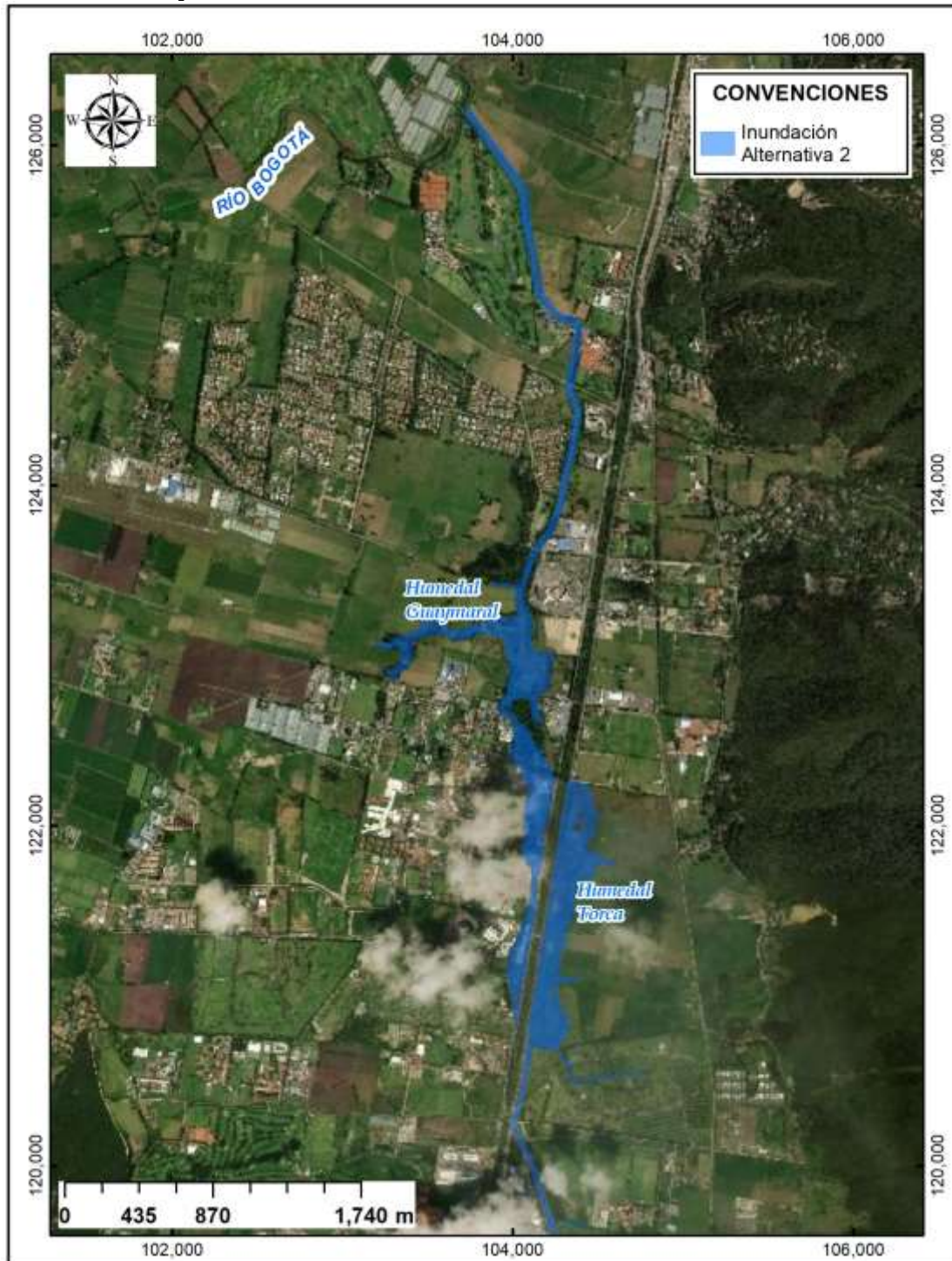


Fuente: WSP; 2020

Los resultados de la modelación del sistema pondaje – estación elevadora, establece que el caudal máximo elevado por el sistema de tornillos es de 12.92 m³/s, con lo cual el volumen de almacenamiento generado deberá ser de 687524 m³. La elevación máxima en el pondaje será la cota 2540.30 msnm.

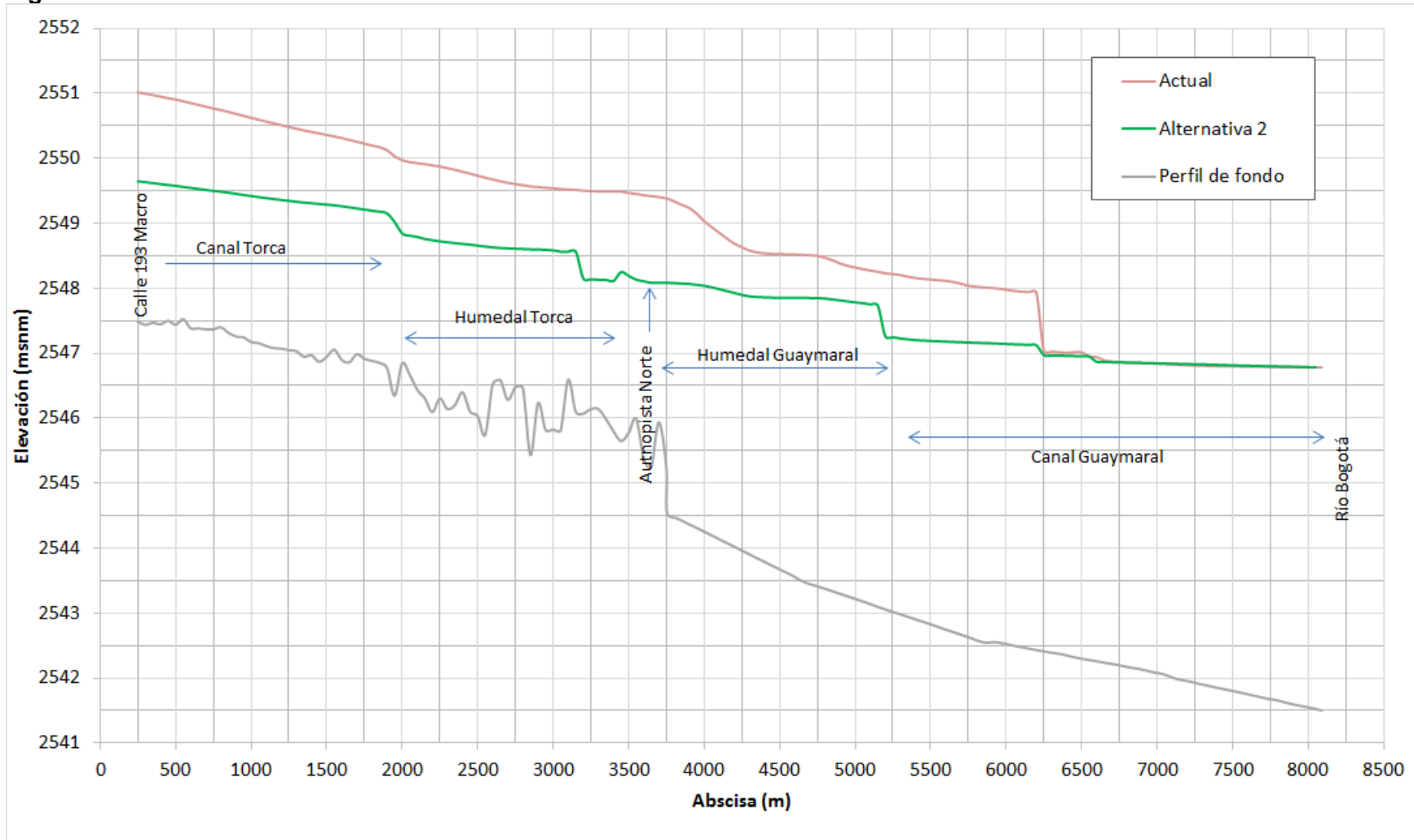
En lo que respecta al sistema hídrico integral, en esta Alternativa la condición de inundación, es la que se presenta en la Figura 143, así como en la Figura 144 se ilustra el comportamiento del perfil hidráulico generado es esta opción de drenaje.

Figura 143 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

Figura 144 Perfil hidráulico reconfomación Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

6.4.4.3 Componente de Redes de alcantarillado de la Alternativa 2

La alternativa 2 incluye las obras correspondientes a la adecuación geomorfológica, la restauración ecológica de: el Humedal Guaymaral y el Canal Torca. También se plantea la incorporación de un colector expresa al río Bogotá por la Av. Arrayanes, para lo cual se construye un túnel que interceptará parte del caudal del canal Torca.

Por otra parte, se plantea la proyección de redes de alcantarillado en los siguientes sistemas de colectores tal como se describe a continuación:

- Cuenca 1 y 2:

Tramo 1: Colector que inicia en la Avenida Boyacá desde la Av. San Antonio hasta la Av. Polo, con diámetro Ø88", Ø104", Ø112", y Ø120" y longitud de 2300m aproximadamente.

Tramo 2: Localizado sobre la Av. Tibabita desde la Av. Villas hasta la Av. Boyacá, con diámetros de Ø42" y longitud aproximada de 1000m.

Tramo 3: Localizado sobre la Av. Villas desde el frente del Plan Parcial 1 hasta la Av. Polo que manejan diámetros de Ø39", Ø42", Ø45", Ø48", Ø51", Ø60", Ø72", Ø76", Ø88", y Ø96" y tiene una longitud aproximada de 3600m.

Tramo 4: red pluvial localizada sobre la Avenida Polo desde la Av. Boyacá hasta la Av. Villas con diámetro de Ø39" y Ø42" y longitud cercana a 690m.

Tramo 4: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Polo hasta la Av. Arrayanes con diámetro de Ø45", Ø51" y Ø60" con una longitud cercana a 900m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 18, 19 30, 32 y 31.

Tramo 5: Red pluvial localizada sobre la Avenida Arrayanes desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø60", Ø64", Ø68", Ø76" y Ø84", con una longitud cercana a 1900m. Esta red conduce parte de las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

- Cuenca 4:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Arrayanes hasta la calle 215 con diámetro de Ø45" y Ø51" y una longitud aproximada de 700m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 20.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la calle 215 desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø51", Ø54", Ø60", Ø64" y Ø72" y longitud cercana a 1600m. Esta red conduce parte de las aguas de los planes Parcial 18, 19, 20 y 21.

- Cuenca 5:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la calle 215 hasta la Av El Jardín con diámetro de Ø36", Ø45" y Ø51" y longitud aproximada de 850m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 20.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Boyacá hasta antes de la Av. Villas con diámetro de Ø51" y Ø54" con una longitud cercana a 500m. Esta red conduce parte de las aguas del Plan Parcial 19, 20, 22.

Tramo 3: Red pluvial desde la Avenida El Jardín hasta la descarga en el humedal Guaymaral, posee diámetros de Ø64" y Ø68" y longitud cercana a 300m.

Tramo 4: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Villas hasta después de la Av. Villas con diámetro de Ø42" y longitud aproximada de 260m.

- Cuenca 6:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. El Jardín hasta la Av. Guaymaral con diámetro de Ø39", Ø48", Ø51" y Ø60" y longitud aproximada a 1100m.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Guaymaral desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetros de Ø60", Ø72", Ø76" y Ø80" y longitud aproximada de 1000m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 26 y 27.

- Cuenca 7:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Av. Guaymaral hasta el corredor proyectado de la Av. ALO con diámetro de Ø54" y Ø72" y longitud aproximada de 1100m.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre el corredor proyectado para la Av. ALO desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetro de Ø76", Ø88" y Ø104" con una longitud aproximada de 1600m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 27 y 29.

Tramo 3: Red pluvial localizada al norte de la Av. Novita (Calle 242), tiene un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 80m hasta su descarga en el Canal Guaymaral. Esta se encargará de recolectar y transportar las aguas lluvias generadas en una manzana urbanizable del Plan Parcial 29 "Mudela del Río.

6.4.4.3.1 Sistema de redes Colector expreso Torca – Río Bogotá.

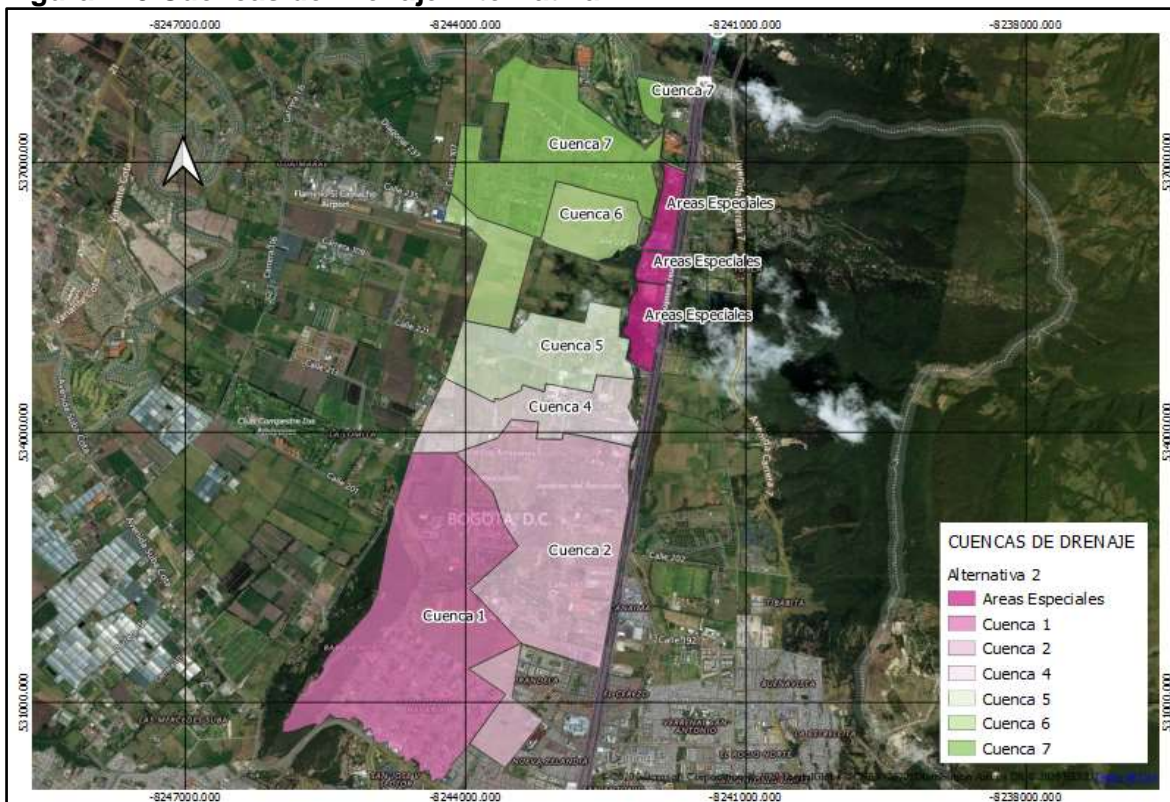
Esta alternativa consiste en la proyección de un Túnel que interceptará las aguas del Canal Torca a la altura de la Avenida Arrayanes y las conducirá de manera expresa hasta el río Bogotá, en un trazado en sentido oriente – occidente, siguiendo el mismo alineamiento de esta Avenida.

Bajo las condiciones topográficas actuales del terreno del sector, el punto de entrega del canal Torca al Túnel Interceptor tendrá como cota de fondo la 2547.50 msnm, y a su vez, la cota de la creciente máxima de diseño en el río Bogotá, al final del trazado propuesto por la Avenida Arrayanes, es la 2544.55 msnm, por lo que a pesar de existir un gradiente hidráulico para drenar a gravedad, las condiciones de esta operación serían precarias, razón por la cual será necesario la implementación de un sistema de elevación a través de un pondaje localizado sobre la margen izquierda el Río (Figura 146).

Para esta alternativa, se destaca que el caudal pico proveniente de la cuenca del Canal Torca intercepta el caudal de cuenca de la quebrada Aguas Calientes y Tibabita. Es decir, las cuencas de las quebradas San Juan y Patiño, seguirán drenando de forma natural hacia el humedal Torca manteniendo en este un volumen de entrada que surta las demandas para el ecosistema, y las quebradas Las Pilas, Novita, La Floresta y Quebrada Torca, seguirán drenando hacia el humedal Guaymaral, para los mismos fines.

En la Figura 145 se presentan las cuencas de drenaje correspondientes a la alternativa 2.

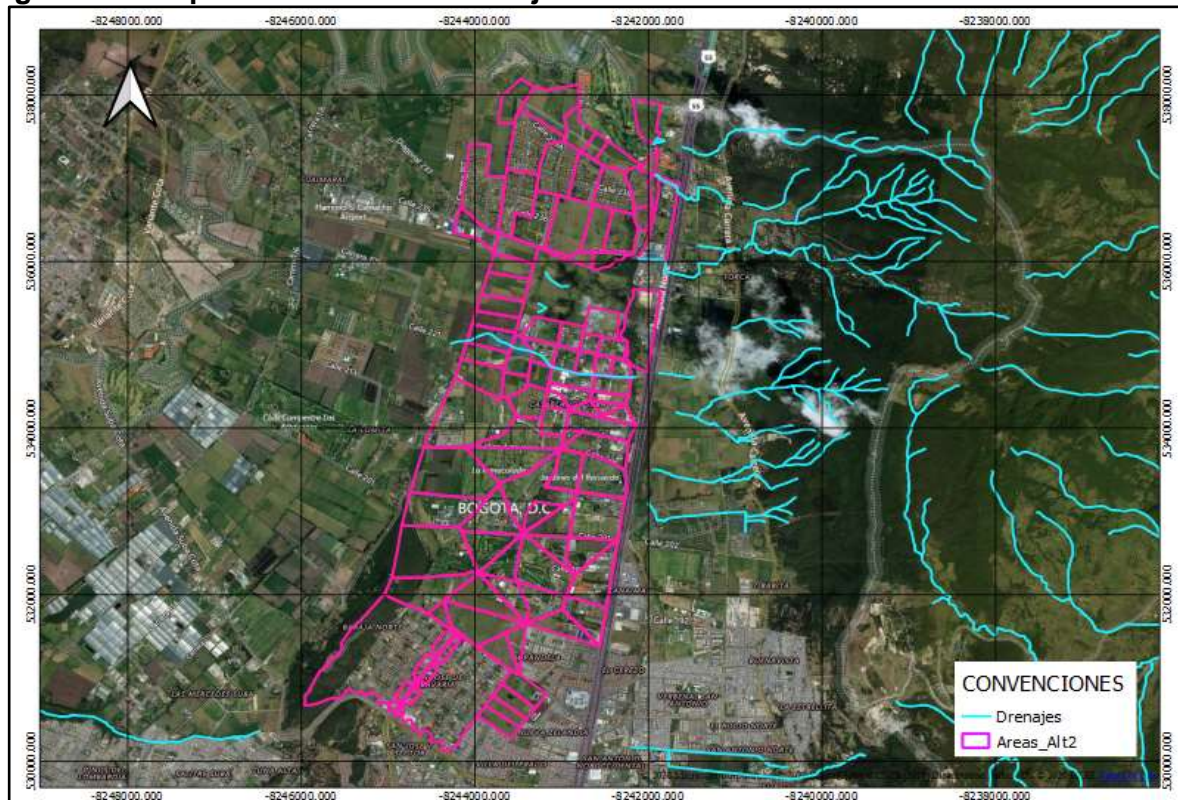
Figura 145 Cuencas de Drenaje Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

Así mismo en la Figura 146 se presenta de manera esquemática las áreas de drenaje de la Alternativa 2.

Figura 146 Esquema de áreas de drenaje de la Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

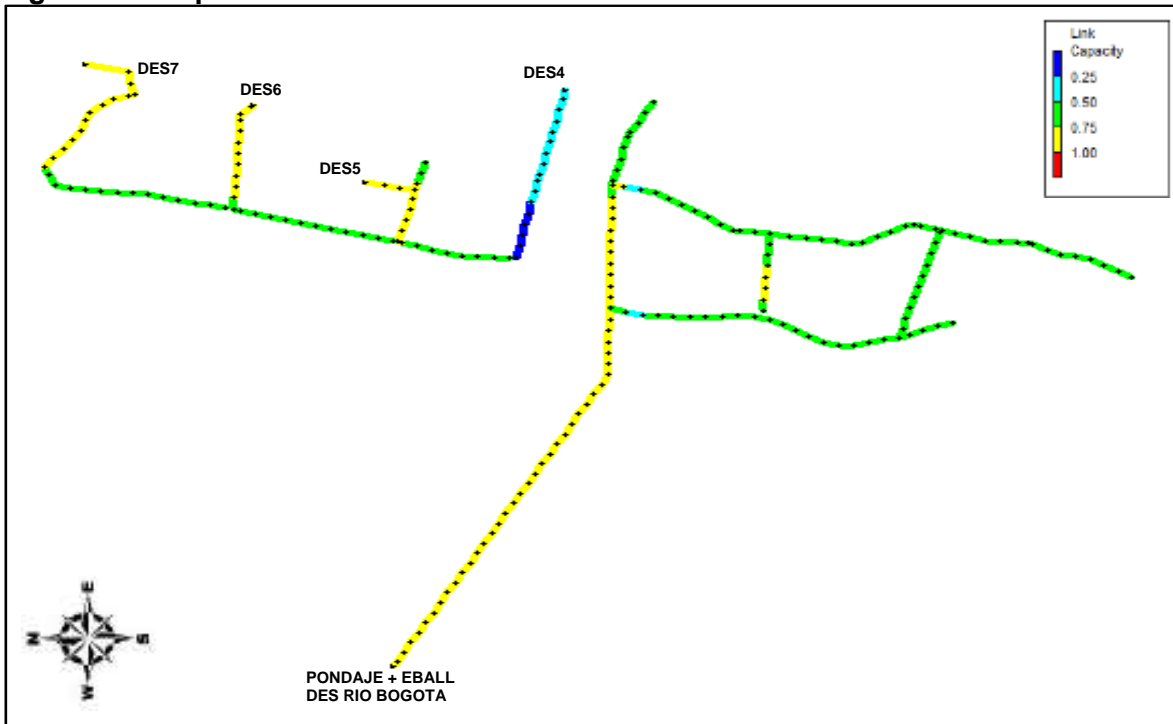
6.4.4.3.2 Diseño hidráulico de la Alternativa 2

En este capítulo se presentan los resultados de la modelación hidráulica realizada para los colectores propuestos en la alternativa 2. Se evaluó el criterio capacidad hidráulica (relación de llenado) y de la velocidad máxima, de igual forma se realizó el análisis de los remansos generados en los colectores debidos al control en las descargas, impuesto por las cotas de inundación estimadas para Tr 100 años en los cuerpos de agua receptores: Canal Torca, Humedal Guaymaral y Río Bogotá.

En la Figura 147 se presenta la relación de llenado Y/D en donde se evidencia que los colectores presentan un buen funcionamiento hidráulico y ninguno funciona a presión. Con respecto a la velocidad se evidencia que las redes proyectadas presentan un buen funcionamiento toda vez que ningún colector presenta una velocidad por encima de 5m/s tal como puede observarse en la Figura 148.

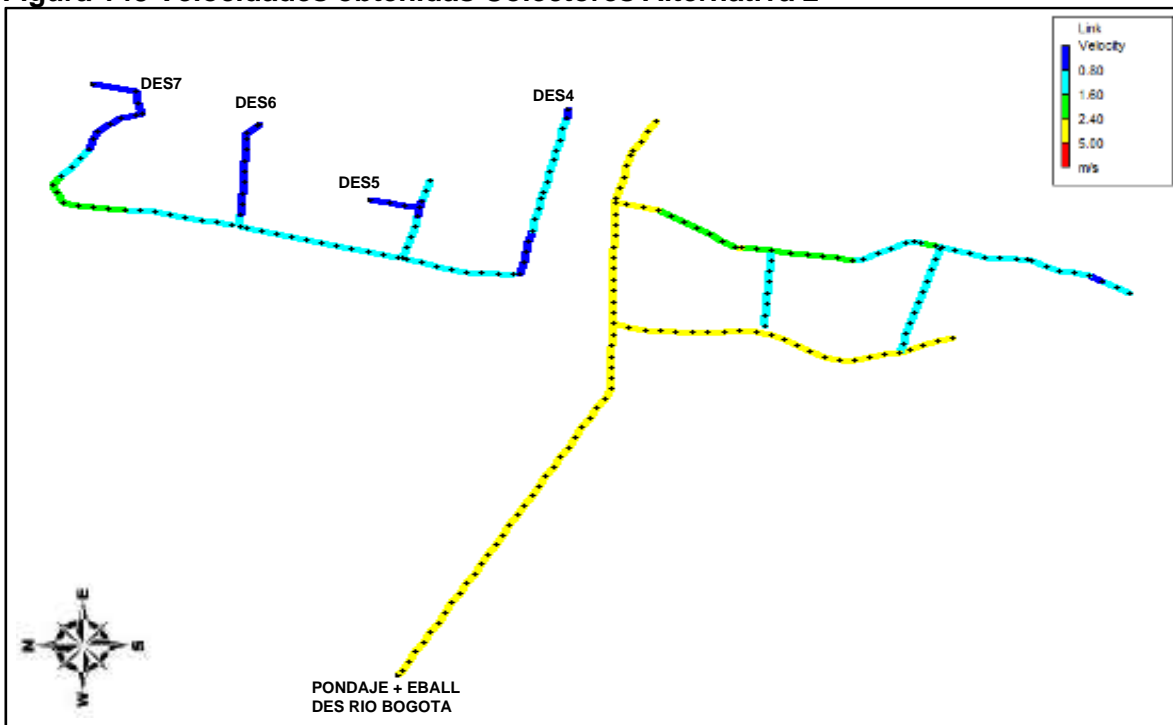
Al evaluar los perfiles hidráulicos y considerar la condición de remanso debido a la cota de inundación para un periodo de retorno Tr 100 años de los cuerpos de agua receptores como son: el canal Torcal y el Humedad Guaymaral, se evidencia que incluso para estas condiciones críticas de descarga, los colectores siguen funcionando adecuadamente realizando descargas a flujo libre y no se presentan reboses para ninguno de los pozos proyectados.

Figura 147 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

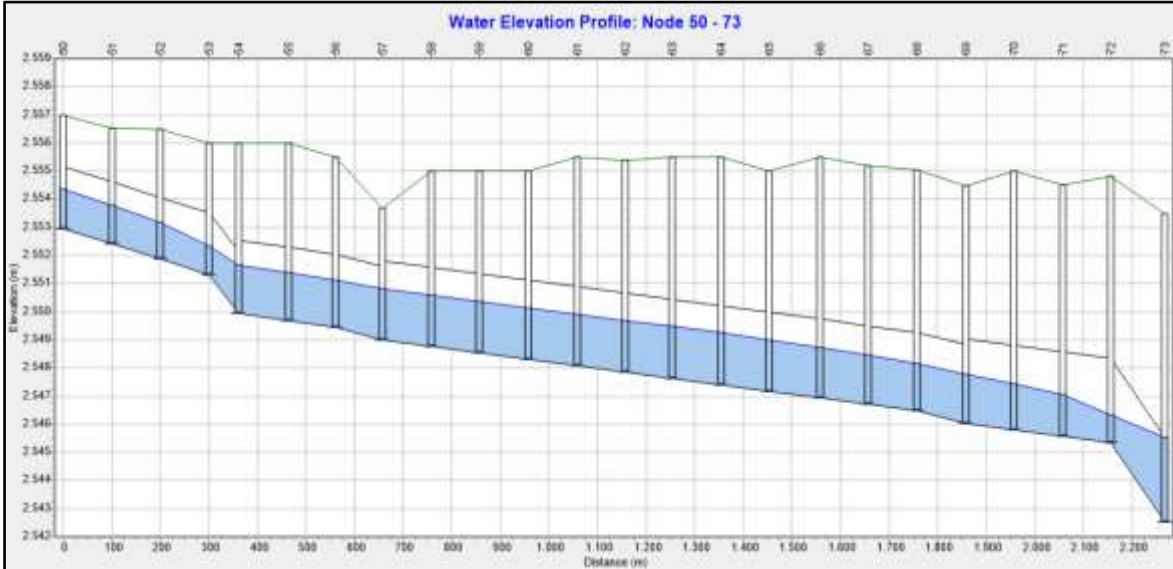
Figura 148 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

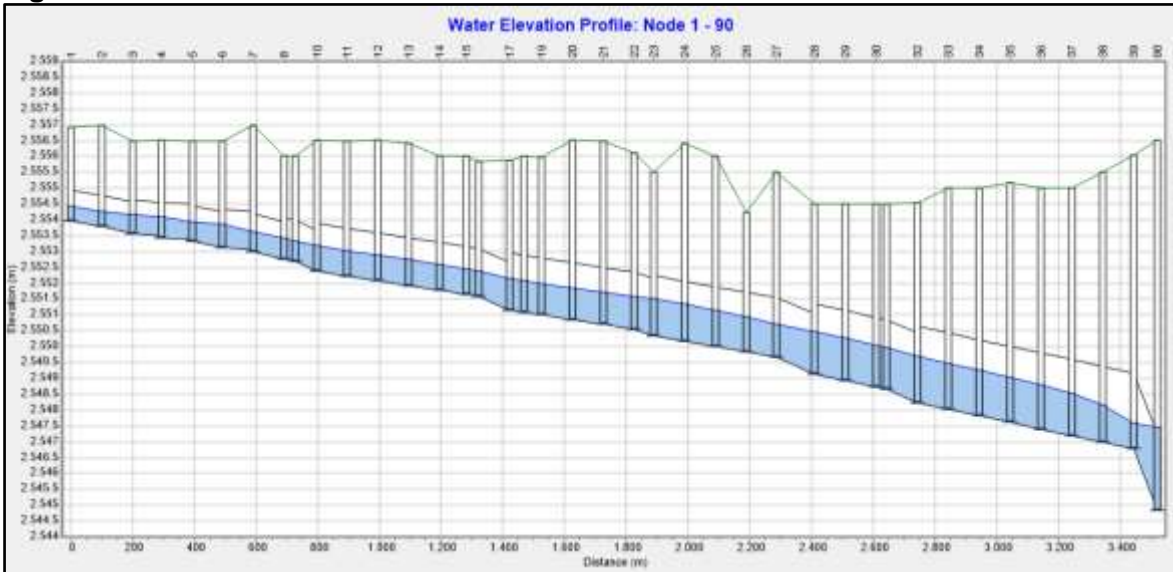
De la Figura 149 a la Figura 155, se presentan los perfiles hidráulicos por cuenca para el caudal pico, en donde se evidencian las condiciones críticas en las que funcionara la red.

Figura 149 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 50 a 73 Box Culvert



Fuente: WSP; 2020

Figura 150 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo 1 a 90 Box Culvert



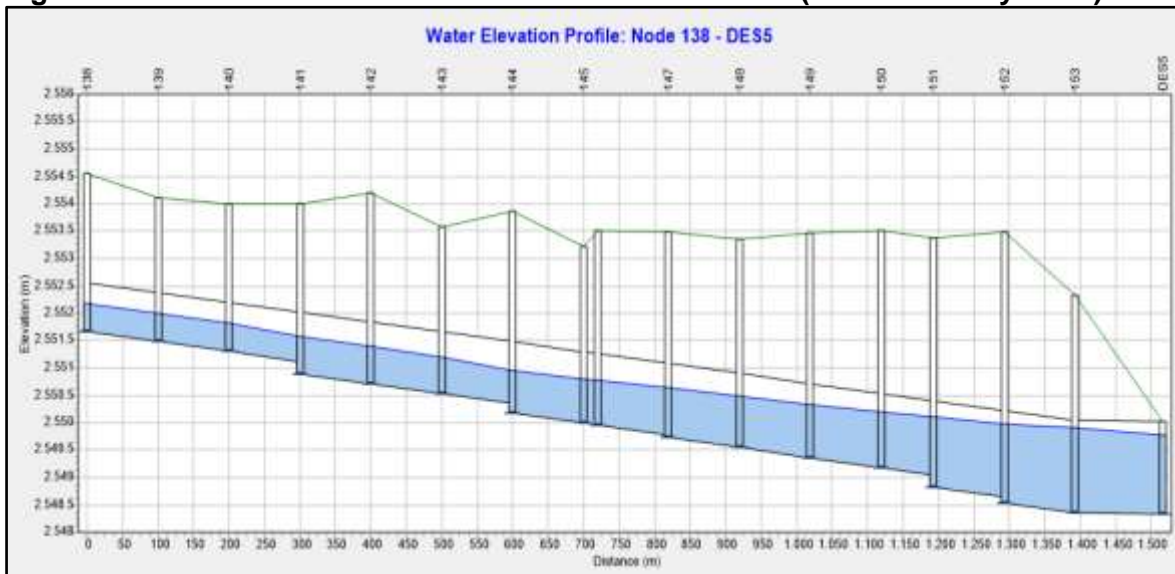
Fuente: WSP; 2020

Figura 151 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)



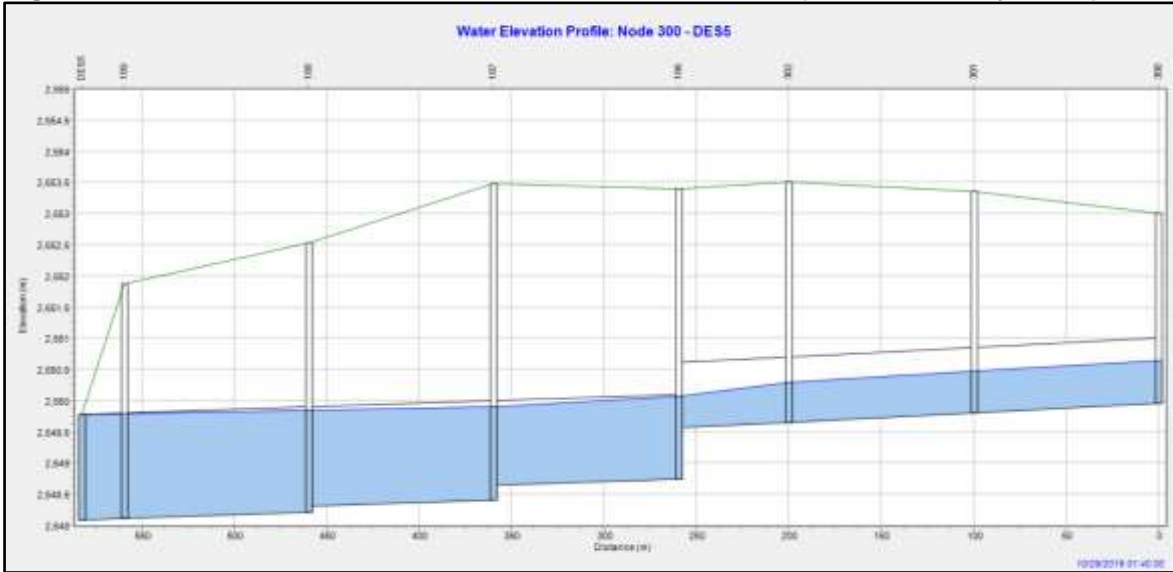
Fuente: WSP; 2020

Figura 152 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 138 a DES5 (Humedal Guaymaral)



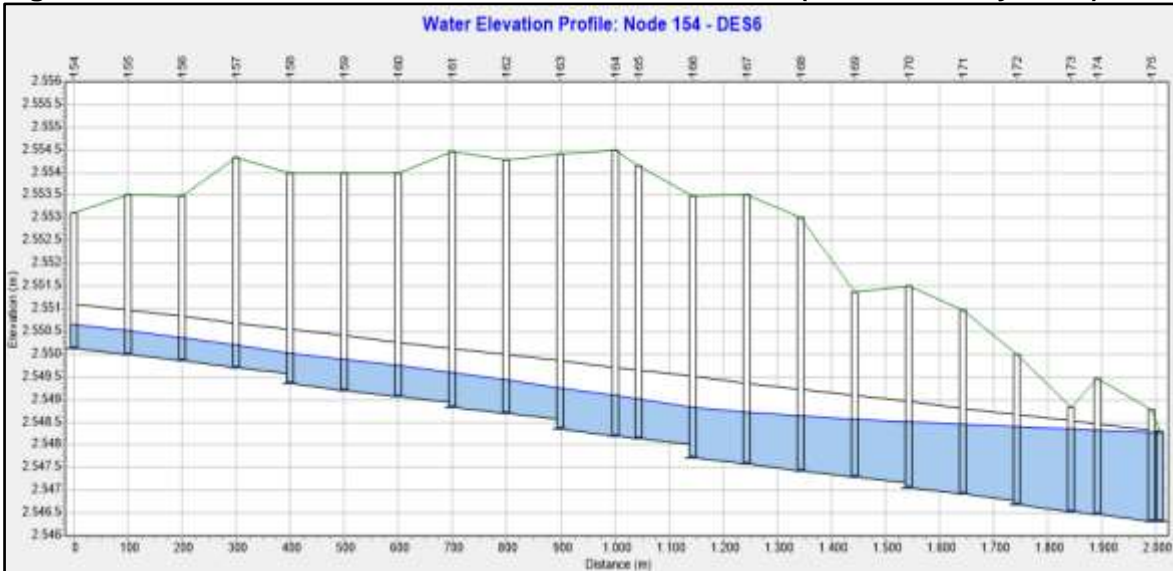
Fuente: WSP; 2020

Figura 153 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)



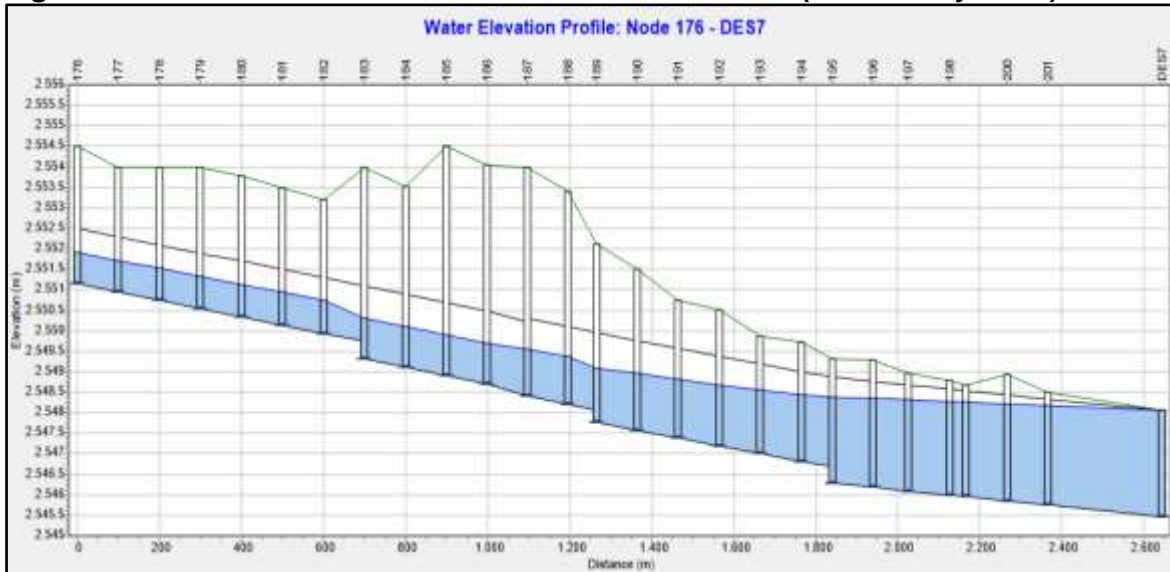
Fuente: WSP; 2020

Figura 154 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 154 a DES6 (Humedal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

Figura 155 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 176 a DES7 (Canal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

A continuación, se presentan los niveles de descarga en las fuentes hídricas superficiales de los colectores proyectados en la Alternativa 2.

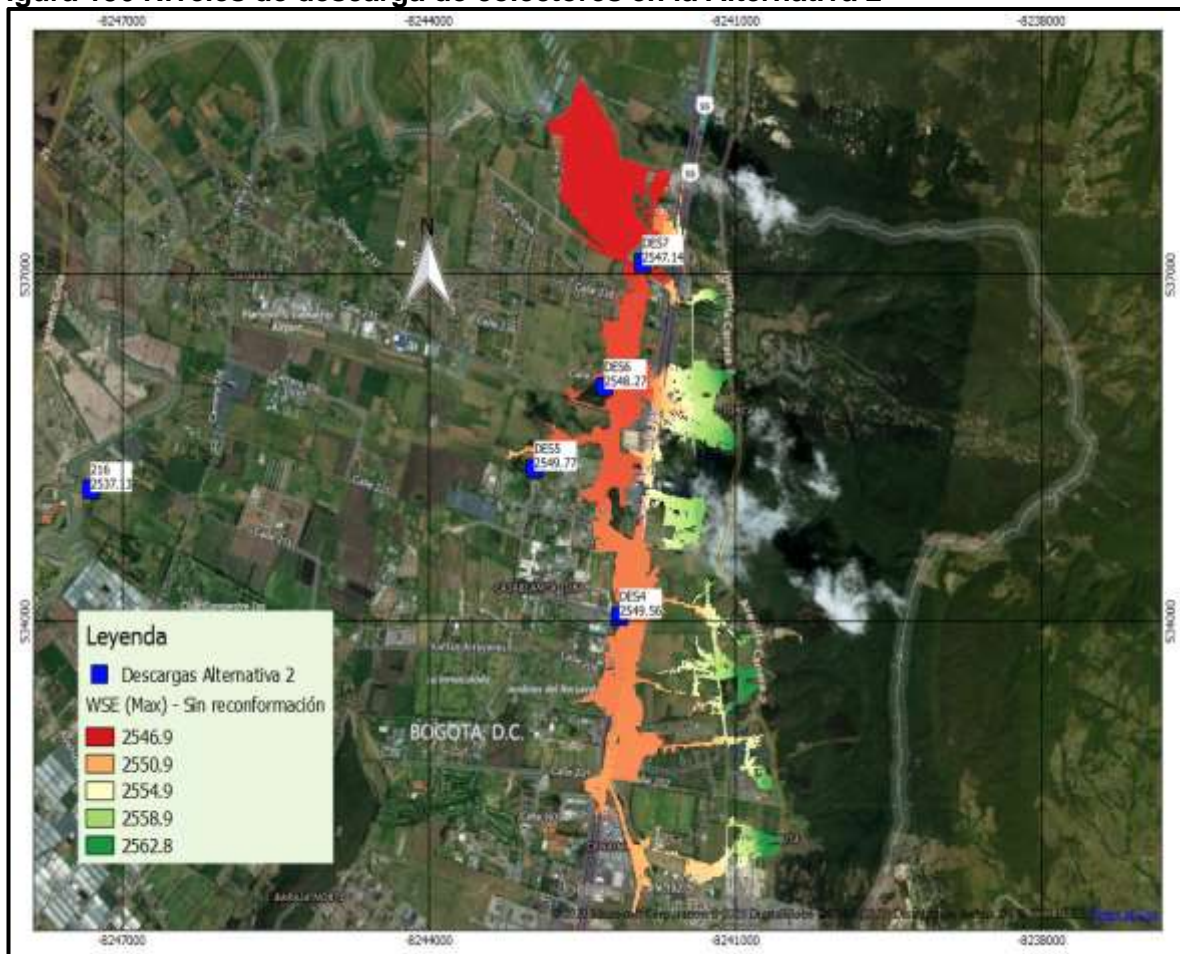
Tabla 39. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 2

CUENCA	COD	COTA MAXIMA DE INUNDACION TR 100AÑOS	COTA CLAVE DE DESCARGA
CUENCA 4	DESC 4	2549.56	2550.76
CUENCA 5	DESC 5	2549.77	2550.03
CUENCA 6	DESC 6	2548.27	2548.30
CUENCA 7	DESC7	2547.15	2548.06

Fuente: WSP; 2020

En la Figura 156 se presenta espacialmente la ubicación de las descargas con su respectiva cota máxima de inundación.

Figura 156 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 2



Fuente: WSP; 2020

6.4.4.4 Obras propuestas para la Alternativa 2

Esta alternativa contempla la adecuación de los cuerpos de agua y la proyección del sistema de redes, en resumen, se proyectan las obras definidas de esta alternativa de la Tabla 40 a la Tabla 42.

Tabla 40 Obras propuestas reconfiguración Humedales en la alternativa 2

RECONFIGURACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 2
Excavación en suelo blando	m ³	252,611.32
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	61,629.42
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	7,944,847.04
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	300.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas	m ²	55,950.00

RECONFORMACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 2
verdes)		
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	37,300.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 41 Obras propuestas reconformación Canal en la alternativa 2

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL	UN	ALTERNATIVA 2
Excavación en suelo blando	m ³	287,162.60
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	128,450.63
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	6,602,417.95
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	m	120.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	194,900.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	89,500.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 42 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 2

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
PRELIMINARES		
Replanteo	KM	22.01
MOVIMIENTO DE TIERRAS		
EXCAVACIONES		
Excavación en suelo blando h <= 2 m	M3	97,294.13
Excavación en suelo blando 2 < h <= 4 m	M3	1,233,024.09
Excavación en suelo blando h > 4 m	M3	32,376.66
ENTIBADO		
Entibado continuo con láminas metálicas en acero o aluminio EC-4	M2	161,818.55
RELLENOS		
Relleno mezc gravilla y arena lavada río	M3	1,133,274.74
Recebo	M3	105,830.79
RETIRO Y DISPOSICIÓN MATERIALES SOBRANTES		
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	56,688,107.01
TUBERÍAS		
SUMINISTRO TUBERÍAS		
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D24"	M	-
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D27"	M	-
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D30"	M	-
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D33"	M	-
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D36"	M	326.04
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D39"	M	760.39
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D42"	M	1,795.20
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D45"	M	1,084.70

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D48"	M	542.07
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D51"	M	904.10
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D54"	M	1,600.95
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D60"	M	1,216.48
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1600	M	217.77
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1700	M	242.43
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1800	M	1,369.43
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1900	M	967.74
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2000	M	285.70
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2100	M	
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2200	M	1,379.76
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2400	M	844.96
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2500	M	
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2600	M	1,195.58
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2800	M	1,303.72
Tubería GRP PN1 SN2500 DN3000	M	445.99
INSTALACIÓN TUBERÍAS		
Inst tub flexibles alcant Dn20 y 24"	M	-
Inst tub flexibles alcant Dn27 y 30"	M	-
Inst tub flexibles alcant, Dn36"-1.00m	M	2,881.63
Inst tub flexibles alcant Dn1.10 y 1.20m	M	1,626.77
Inst tub flexibles alcant Dn1.30 y 1.40m	M	2,505.05
Inst tub flexibles alcant Dn1.50 y 1.60m	M	1,434.25
Inst tub flexibles alcant Dn1.70 y 1.80m	M	1,611.86
Inst tub flexibles alcant Dn1.90m	M	967.74
Inst tub flexibles alcant Dn 2.00m	M	285.70
Inst tub flexibles alcant Dn2.20m	M	1,379.76
Inst tub flexibles alcant Dn 2.45m	M	844.96
Inst tub flexibles alcant Dn2.60m	M	1,195.58
Inst tub flexibles alcant Dn 2.75m	M	1,749.71
BOX CULVERT		
CONSTRUCCION BOX COULVERT Sección (5.0x4.0) m (Incluye concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	856.56
CONSTRUCCION BOX COULVERT Sección (5.5x4.0) m (Incluye concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	1,196.15
CONSTRUCCION BOX COULVERT Sección (6x4) m (Incluye concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	3,835.16
CÁMARAS Y POZOS		3,835.16
CAMARA DE INSPECCIÓN D=1.80 m		-
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	6,359.81
Relleno en recebo común (Incluye suministro, extendido mecánico, humedecimiento, compactación mecánica)	m3	4,094.13
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	264,568.10

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UND	CANTIDAD
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	2,265.68
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	134,186.00
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	50.70
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	169.00
Inst plac cub circ D 1.0m + arobase 1-2 pestañas, pozo cónico	UN	169.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	169.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	1,784.64
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	1,784.64
CABEZALES		
CABEZAL DE DESCARGA D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	119.00
Recebo	M3	83.16
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	4,950.40
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	35.84
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	3,942.40
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	2.80

Fuente: WSP; 2020

6.4.5 Alternativa 3A

6.4.5.1 Objetivos

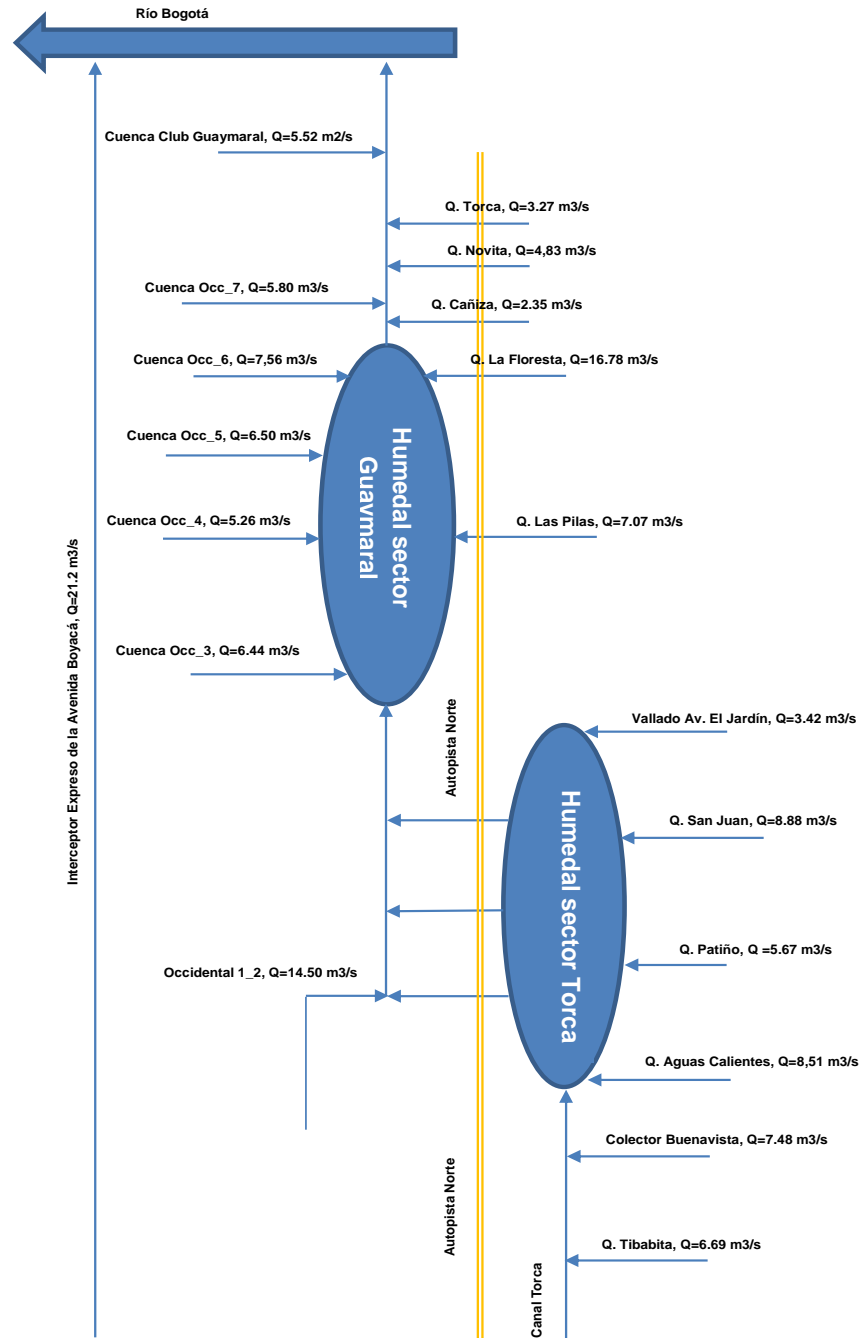
Esta Alternativa tiene como objetivo principal garantizar que toda la zona de influencia del Plan Zonal del Borde Norte de la ciudad, no presentará inundaciones por desbordes del sistema hídrico, para lo cual se proponen obras de reconfiguración hidrogeomorfológica en la totalidad del Humedal, la adecuación de la totalidad del Canal Guaymaral, sumada a la interceptación de los aportes de aguas lluvias de la zona de San José de Bavaria, a través de un colector que las descargará en el río Bogotá, a través del corredor de la Avenida Boyacá.

6.4.5.2 Componente Adecuación hidrogeomorfológica

La Alternativa 3A en la intervención del Humedal, consiste en la adecuación geomorfológica total del Humedal, en cinco (5) sectores de la zona Guaymaral y la totalidad del área seleccionada en el sector de Torca, al oriente de la Autopista Norte, incrementando de esta manera las áreas de amortiguamiento de crecientes y garantizando la estabilidad ecosistémica del cuerpo del humedal. En lo que respecta al canal Guaymaral, y de manera similar como para las anteriores alternativas, se incluye la adecuación hidráulica de la totalidad del canal entre las abscisas K0+000 en la Calle 209 hasta la abscisa K0+930 en la Calle 215 y entre la abscisa K3+000 (Calle 235) hasta la abscisa K5+920 en la desembocadura del río Bogotá. De esta manera se garantiza que todo el sistema hídrico Torca – Guaymaral podrá recibir, amortiguar y conducir la creciente de diseño, sin generar inundaciones en ninguna zona de la cuenca, distinta a la generada dentro del sistema léntico y que será contenida por las obras de reconfiguración previstas.

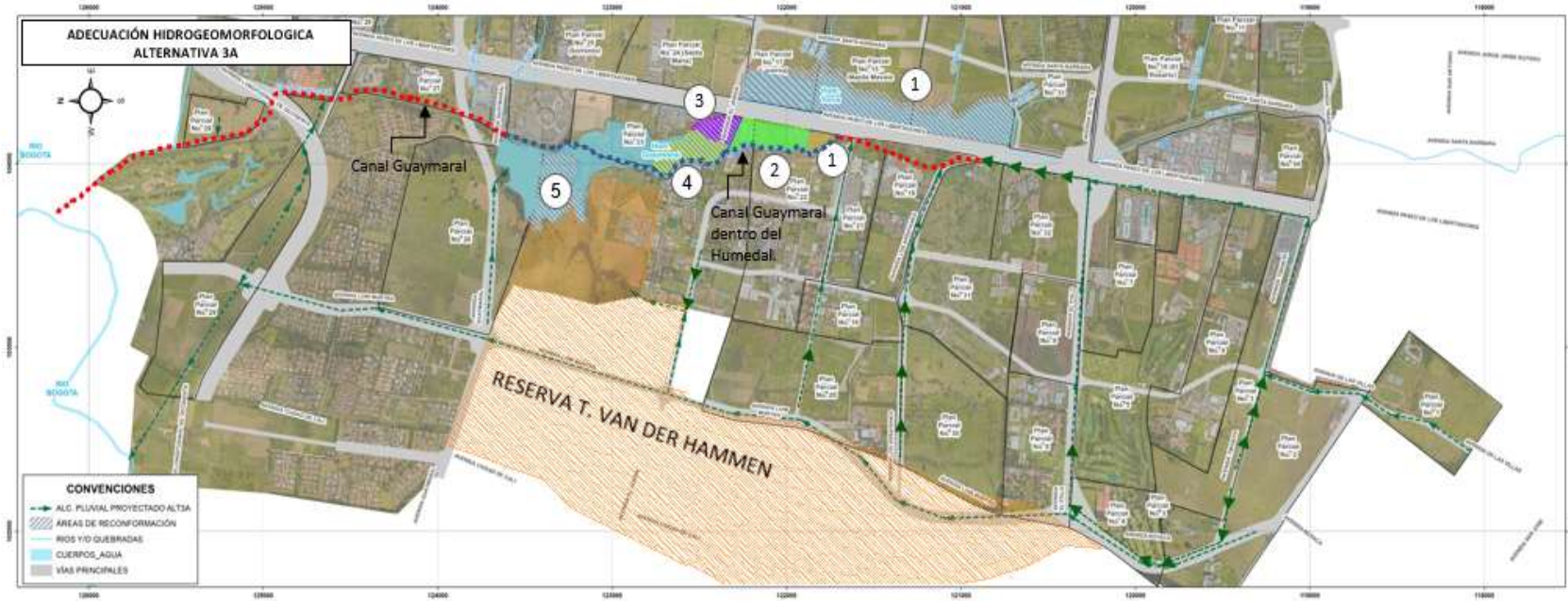
En la Figura 158 se muestra la localización de los cuerpos de agua a reconfigurar en la Alternativa 3A junto con los colectores de aguas lluvias proyectados. El esquema hidrológico evaluado en esta Alternativa, es que el que se muestra en la Figura 157.

Figura 157 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 3A.



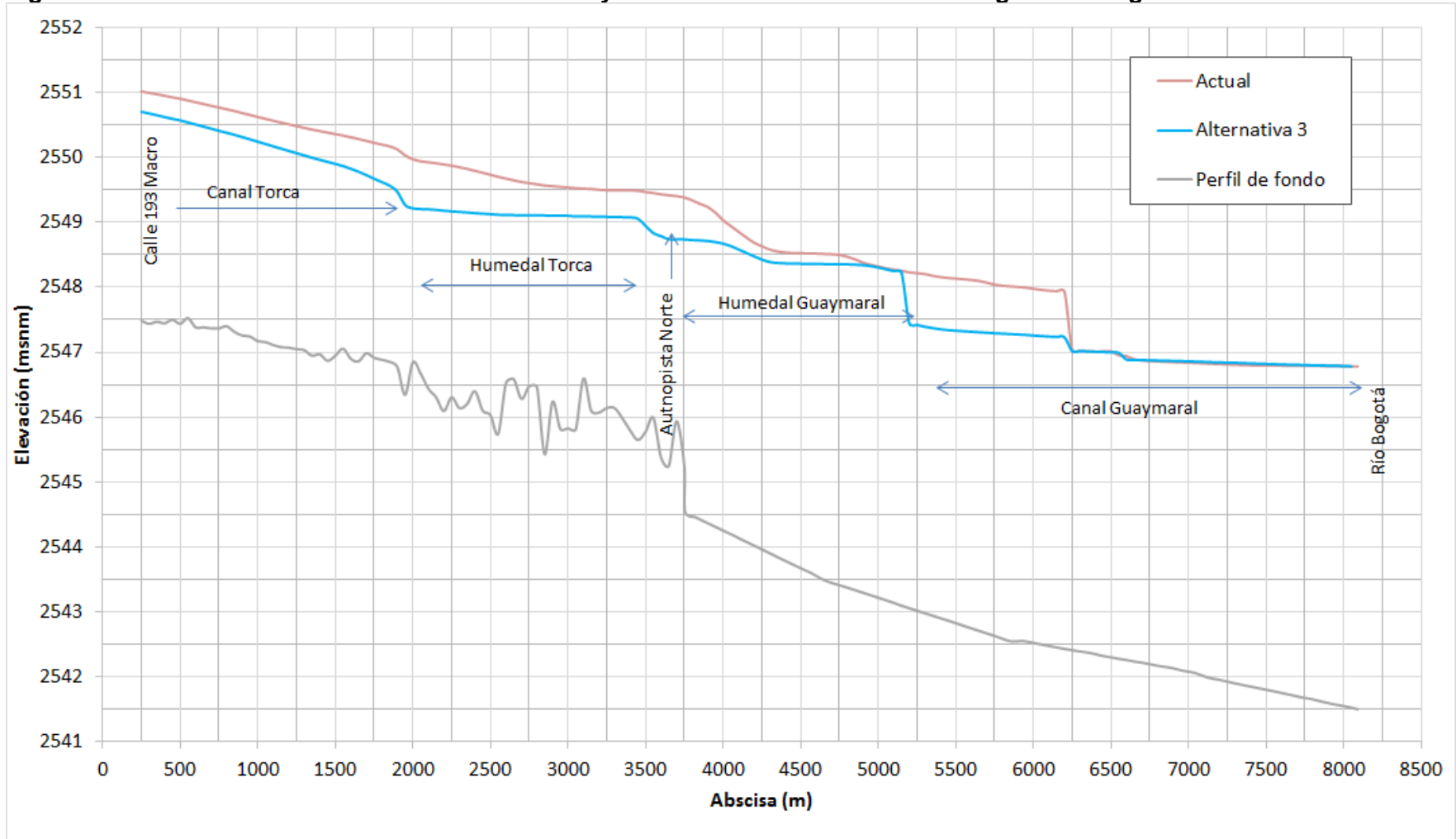
Fuente: WSP; 2020

Figura 158 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

Figura 159 Perfil hidráulicos del Sistema Torca-Guaymaral- Escenario de Adecuación geomorfológica Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

En la Figura 160 se presenta el comportamiento de la inundación espacial en la zona de estudio.

Figura 160 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Adecuación Geomorfológica



Fuente: WSP; 2020

6.4.5.3 Componente Redes de alcantarillado de la Alternativa 3A

Esta alternativa ha considerado dos variantes de drenaje, condicionadas por la presencia del cruce de la Reserva Van der Hammen, en el tramo de la Avenida Boyacá. En este caso se plantea el drenaje del San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta el Río Bogotá y de manera similar que en las otras alternativas, se prevé el sistema de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

- Cuenca 1:

Tramo 1: Colector que inicia en la Avenida Villas colindando con el Plan Parcial 1, continuando su recorrido hasta llegar a la Avenida San Antonio (Calle 183), las tuberías de este tramo manejan un diámetro desde Ø39" hasta Ø51" en material PVC y tiene una longitud aproximada de 720m. Este colector capta las aguas del Plan Parcial 1.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Villas desde la Av. San Antonio hasta la Av. Tibabita con diámetros que van desde Ø51" hasta Ø64" y una longitud aproximada de 600m. Cabe mencionar que se emplea PVC hasta Ø60", de este diámetro en adelante se plantea el uso de GRP. Esta red conduce las aguas del tramo 1 de esta cuenca.

Tramo 3: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde la Av. Villas hasta la Autopista Norte, con un diámetro de Ø80" y cerca de 900m de longitud. Esta red recolecta y transporta las aguas del Plan Parcial 3.

Tramo 4: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde proximidades de la Avenida Boyacá, hasta la Av. Villas, con un diámetro de Ø30", Ø33" y Ø42", con una longitud aproximada de 700m. Esta red recolecta y transporta las aguas provenientes de los planes parciales 2 y 3.

Tramo 5: Ubicado sobre la Autopista Norte entre Av. Tibabita y Av. Polo, manejando diámetros de Ø80", y Ø84" con una longitud aproximada de 1300m.

- Cuenca 2:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Avenida Tibabita hasta la Av. Polo con diámetro de Ø54" y longitud aproximada de 1100m. Esta red conduce las aguas de 10.43 ha del Plan Parcial 2.

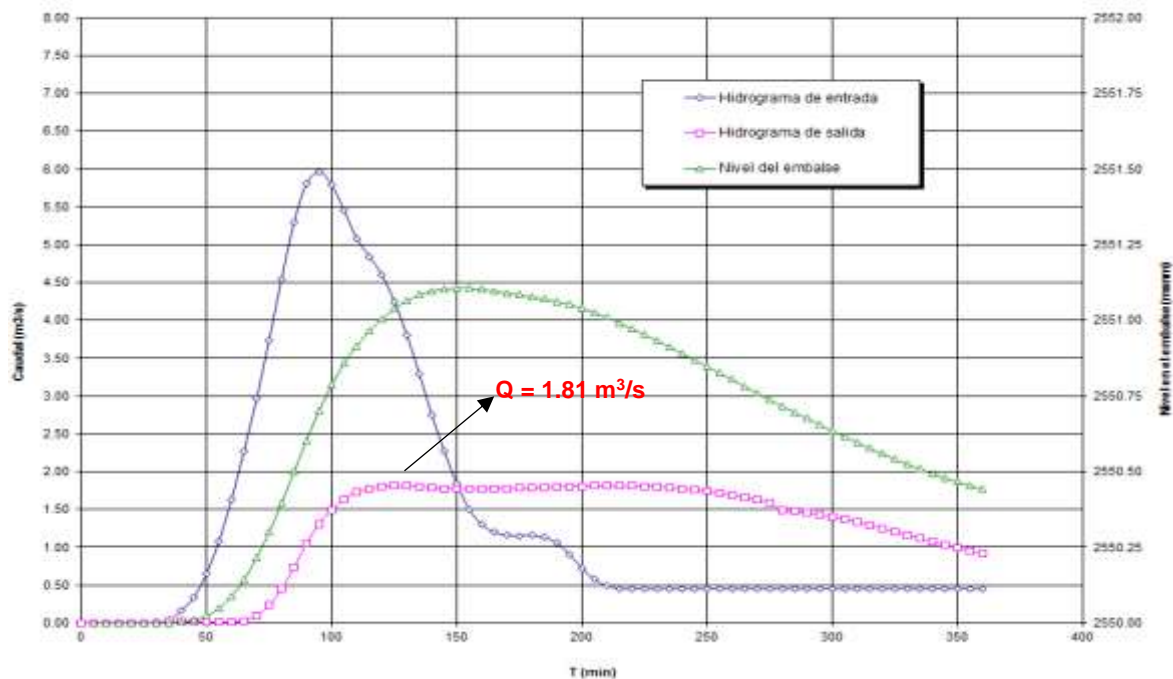
Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Polo desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø54", Ø60", Ø68", Ø72", Ø84" con longitud aproximada de 2000m. Esta red conduce las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

Es importante mencionar que en proximidades del Plan Parcial 7 "El Otoño" se localizan actualmente tres pondajes interconectados entre si (Rancho (Pondaje 4), Búho (Pondaje 3) y Otoño (Pondaje 2-1)) cuya área total corresponde a 81.44 ha

(Rancho = 9.87 ha, Búho = 26.68 ha y Otoño = 44.89 ha). De acuerdo con lo anterior para el cálculo de caudal de la tubería proyectada a lo largo de la Avenida Polo, no es posible considerar de manera directa las áreas anteriormente citadas, razón por la cual la presente consultoría realiza el tránsito de hidrogramas entre los pondajes teniendo en cuenta la regulación y control que éstos ejercen en la zona.

Teniendo esto como precedente el caudal neto real aferente a la tubería proyectada sobre la avenida polo corresponde a 1.813 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, el cual es ingresado de manera puntual a la red (Pozo 67) a través de dos tuberías de 36”.

Figura 161 Hidrograma Pondajes Existentes



Fuente: WSP; 2020

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Autopista Norte hasta la entrega en el inicio del Canal Guaymaral, con una tubería de Ø112” una longitud aproximada de 600m.

- Cuenca 3:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Arrayanes desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø39”, Ø42”, Ø45”, Ø51”, Ø60”, Ø64” y Ø72” con una longitud cercana a 1800m.

- Cuenca 4:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la calle 215 desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø30", Ø39", Ø51" y Ø60" con una longitud cercana a 1500m.

- Cuenca 5:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Boyacá hasta antes de la Av. Villas con diámetro de Ø39" y longitud cercana a 400m.

Tramo 2: Red pluvial desde la Avenida El Jardín hasta la descarga en el humedal Guaymaral, posee diámetro de Ø54", Ø64" y Ø68" y longitud cercana a 350m.

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Villas hasta después de la Av. Villas con diámetro de Ø42" y longitud aproximada de 260m.

- Cuenca 6:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Guaymaral desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral de Ø42", Ø48", y Ø68" con una longitud aproximada de 1000m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 26 y 27.

- Cuenca 7:

Tramo 1: Red pluvial localizada Red pluvial localizada por la vía interna del Plan Parcial 29 desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetro de Ø42", Ø51", y Ø60" con una longitud aproximada de 800 m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 27 y 29.

Tramo 2: Red pluvial localizada al norte de la Av. Novita (Calle 242), tiene un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 80m hasta su descarga en el Canal Guaymaral. Esta se encargará de recolectar y transportar las aguas lluvias generadas en una manzana urbanizable del Plan Parcial 29 "Mudela del Río.

- Línea Av. Boyacá hasta Río Bogotá:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Av. Boyacá desde Av. San Antonio hasta la descarga en el río Bogotá con diámetro de Ø112" y Ø120" en tubería de GRP con una longitud aproximada de 5000m, adicionalmente a la altura de la Avenida Guaymaral se plantea una pareja de tuberías de 100" con una longitud aproximada de 2600m hasta la descarga en el Río Bogotá. Cabe mencionar que este tramo recolectará las aguas lluvias provenientes de San José de Bavaria, las cuales serán conducidas hasta el Río Bogotá. El caudal de agua que descarga en el río Bogotá a través de este colector es de 21.2 m³/s.

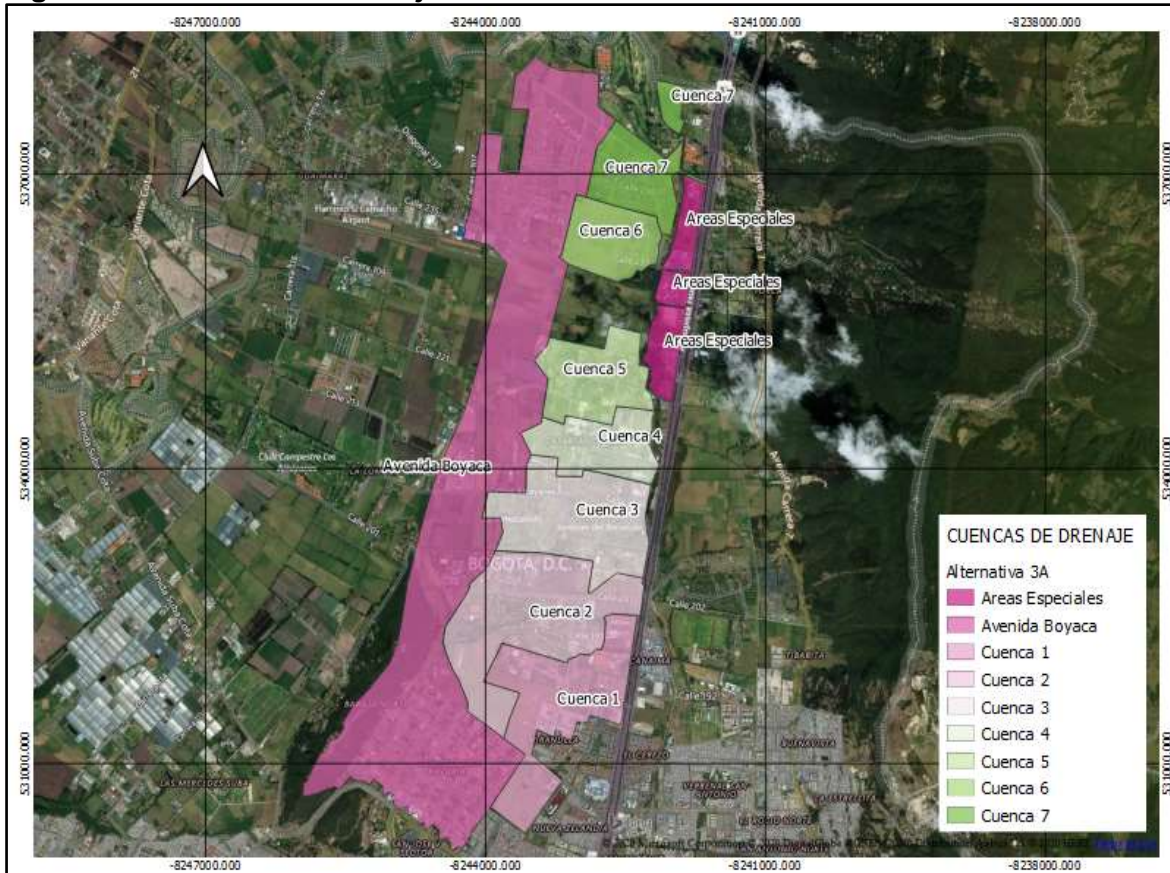
Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Novita (Calle 242) hasta la Avenida Boyacá con un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 250m.

6.4.5.3.1 Diseño hidráulico de la Alternativa 3A.

En este caso se contempla el drenaje expreso a través de la Avenida Boyacá, incluyendo las áreas de drenaje del sector de San José de Bavaria y que conduce las aguas a través del corredor de esta Avenida, hasta entregarlas en el cauce del Río Bogotá. Este conducto se prevé con flujo a gravedad y tiene una longitud total de 7600 m, en diámetro de Ø112” y Ø120”, adicionalmente a la altura de la Avenida Guaymaral se plantea una pacha (doble tubería) de 100”, el colector tiene una pendiente media del 0.10%.

En la Figura 162 se presentan las cuencas de drenaje correspondientes a la Alternativa 3A.

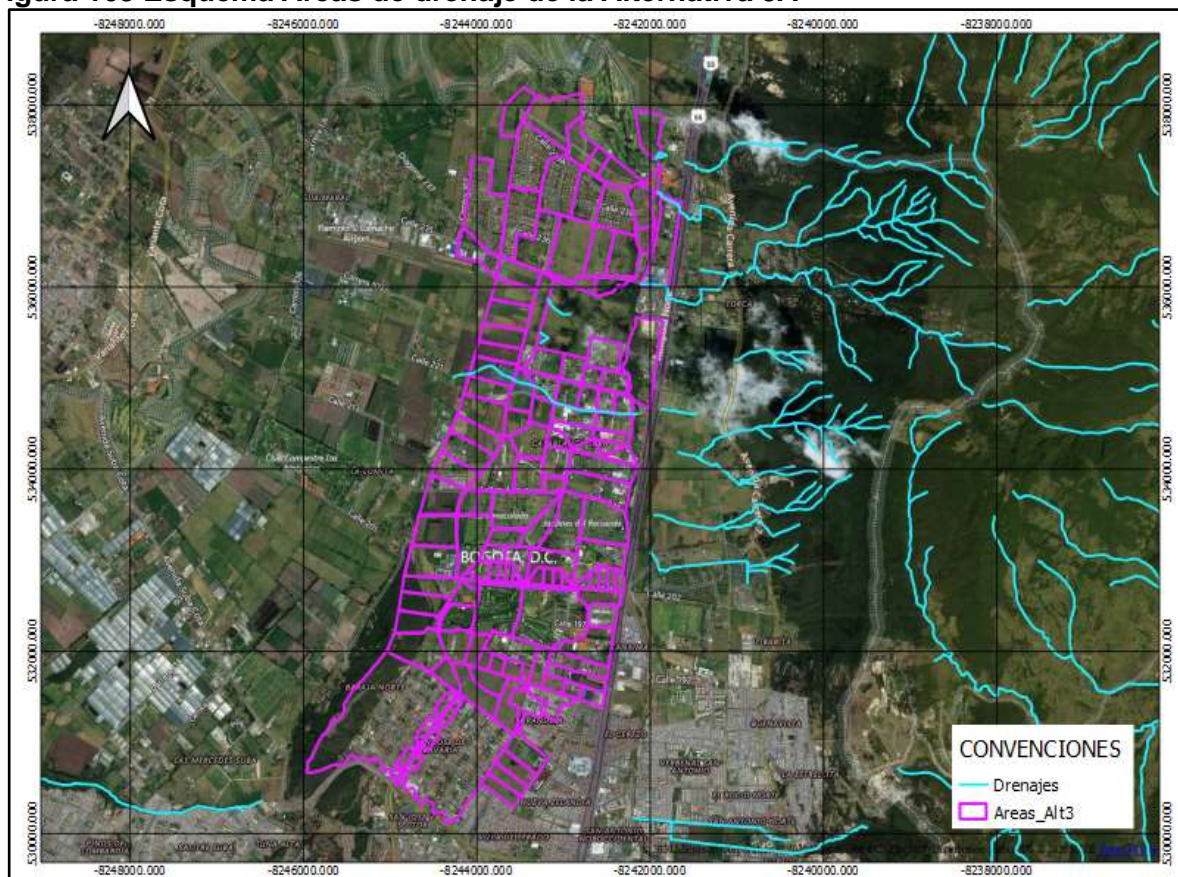
Figura 162 Cuencas de Drenaje de la Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

En la Figura 163 se presenta la representación esquemática de las áreas de drenaje de la Alternativa 3A.

Figura 163 Esquema Áreas de drenaje de la Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

En el presente numeral se relacionan las condiciones de descarga de la red de colectores de la Alternativa 3A con respecto al nivel de inundación de la crecida máxima de Tr100 años, para la condición futura.

En la Figura 164 se presenta la relación de llenado Y/D en donde se evidencia que los colectores presentan un buen funcionamiento hidráulico y ninguno funciona a presión. Con respecto a la velocidad se evidencia que las redes proyectadas presentan un buen funcionamiento toda vez que ningún colector presenta una velocidad por encima de 5m/s tal como puede observarse en la Figura 165.

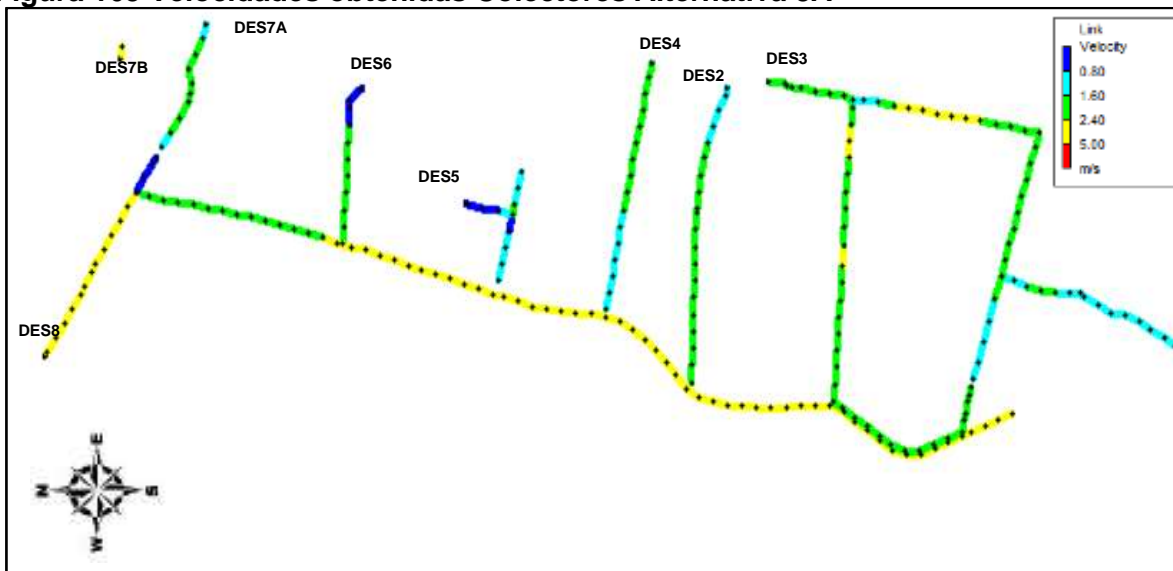
Al evaluar los perfiles hidráulicos y considerar la condición de remanso debido a la cota de inundación para un periodo de retorno Tr 100 años de los cuerpos de agua receptores como son: El canal Torcal, el Humedal Guaymaral y el Río Bogotá, se evidencia que incluso para estas condiciones críticas de descarga, los colectores siguen funcionando adecuadamente realizando descargas a flujo libre y no se presentan reboses para ninguno de los pozos proyectados.

Figura 164 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

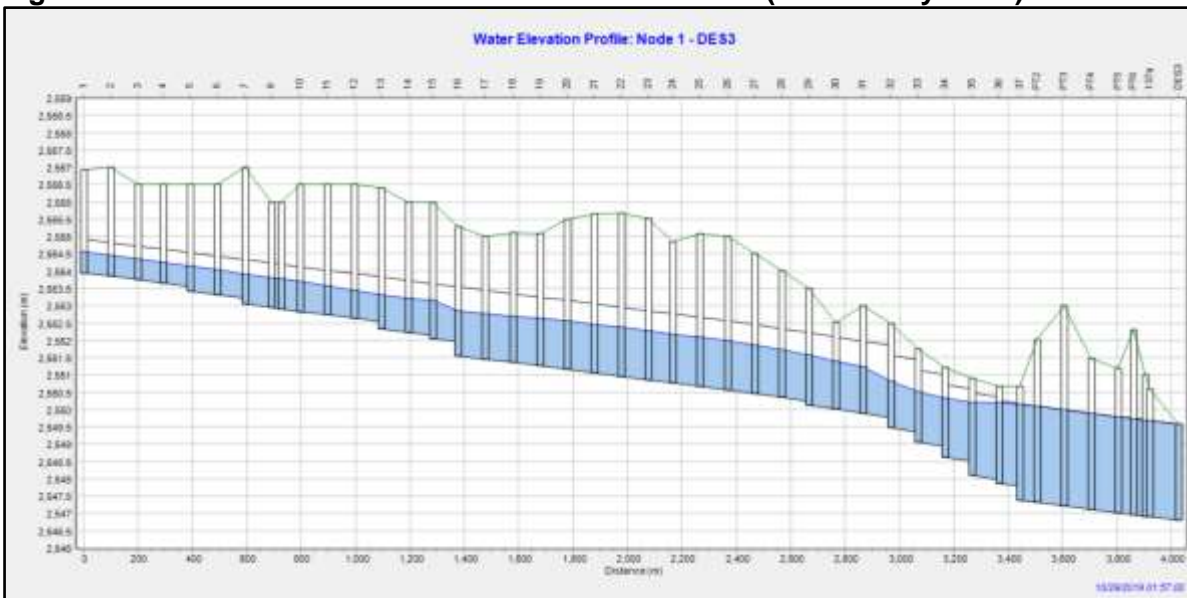
Figura 165 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

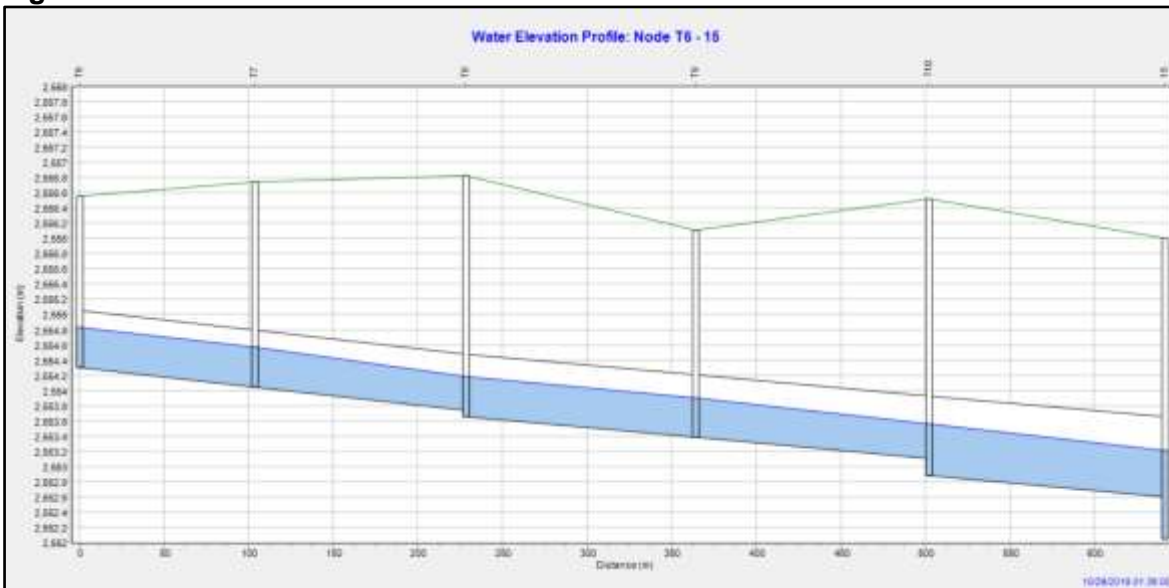
De la Figura 166 a la Figura 176 , se presentan los perfiles hidráulicos por cuenca para el caudal pico, en donde se evidencian las condiciones críticas en las que funcionara la red.

Figura 166 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)



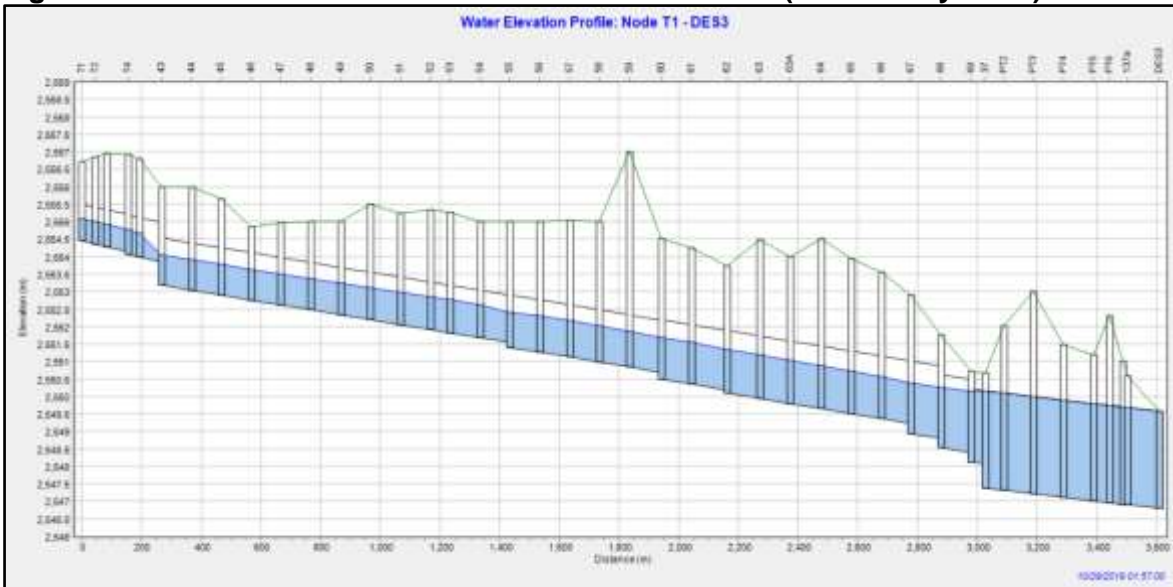
Fuente: WSP; 2020

Figura 167 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15



Fuente: WSP; 2020

Figura 168 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo T1 a DES3 (Canal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

Figura 169 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)



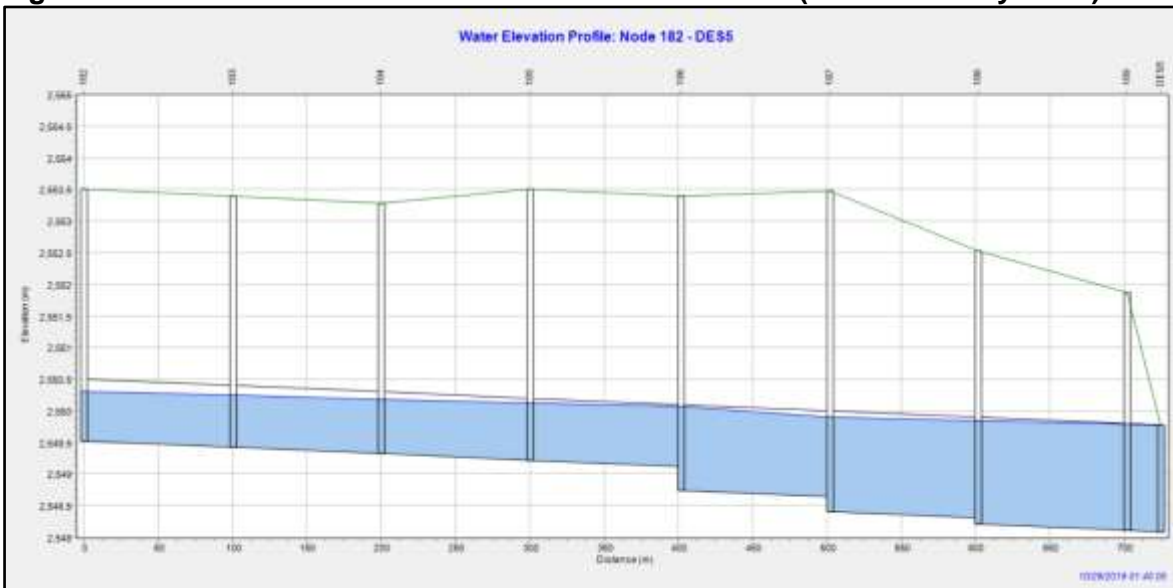
Fuente: WSP; 2020

Figura 170 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)



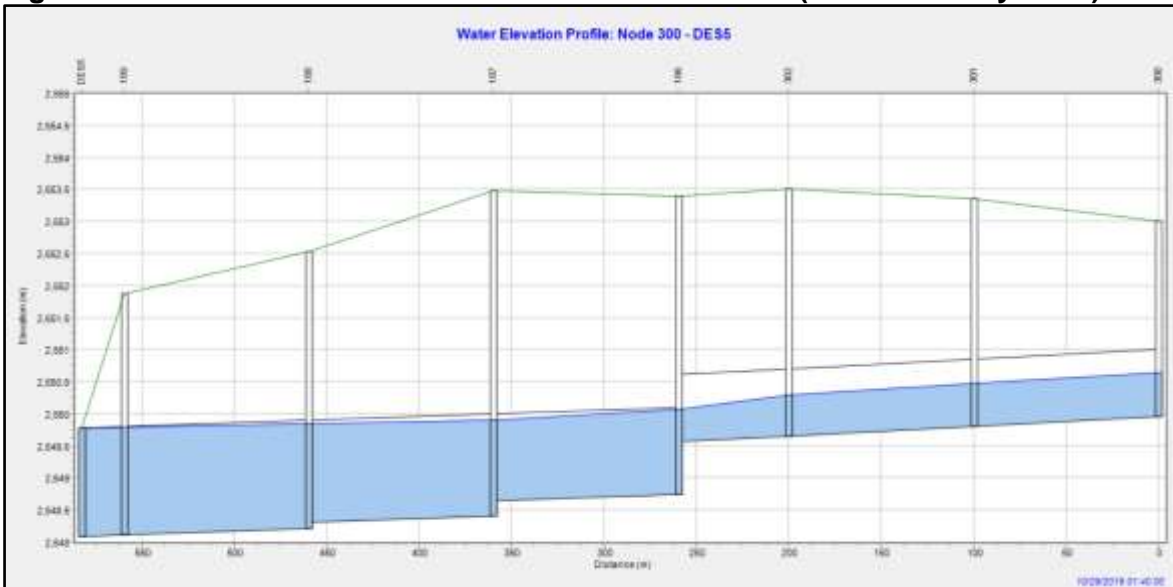
Fuente: WSP; 2020

Figura 171 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 182 a DES5 (Humedal Guaymaral)



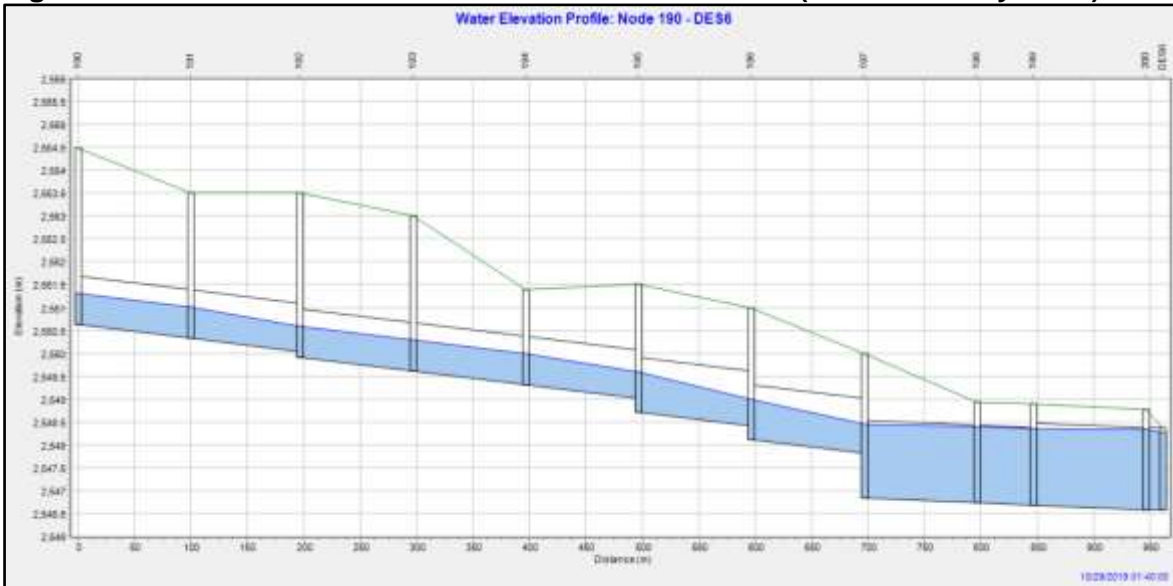
Fuente: WSP; 2020

Figura 172 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)



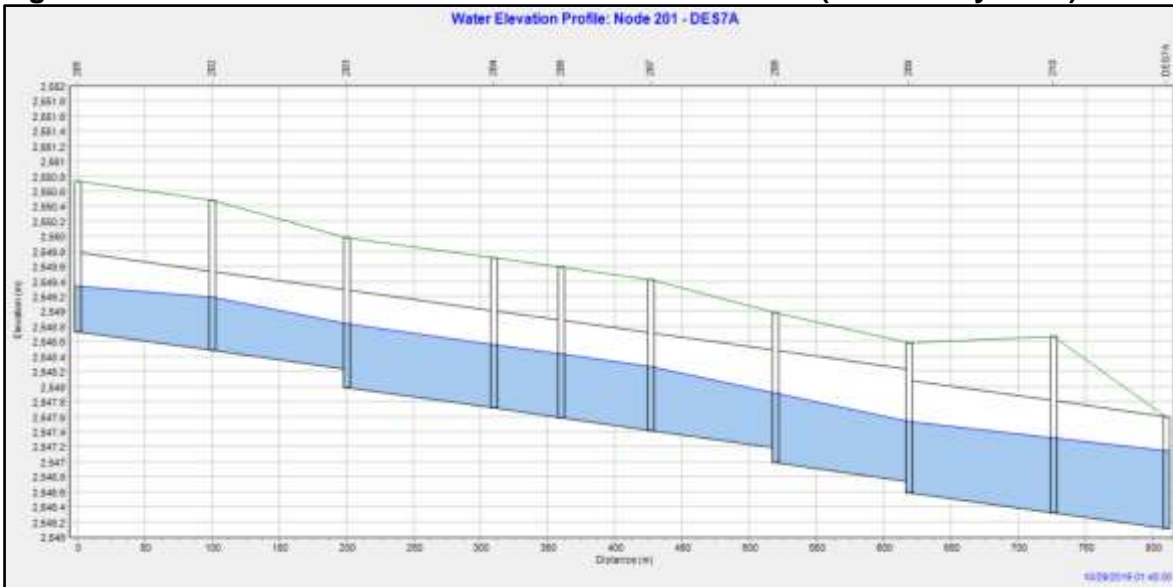
Fuente: WSP; 2020

Figura 173 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 190 a DES6 (Humedal Guaymaral)



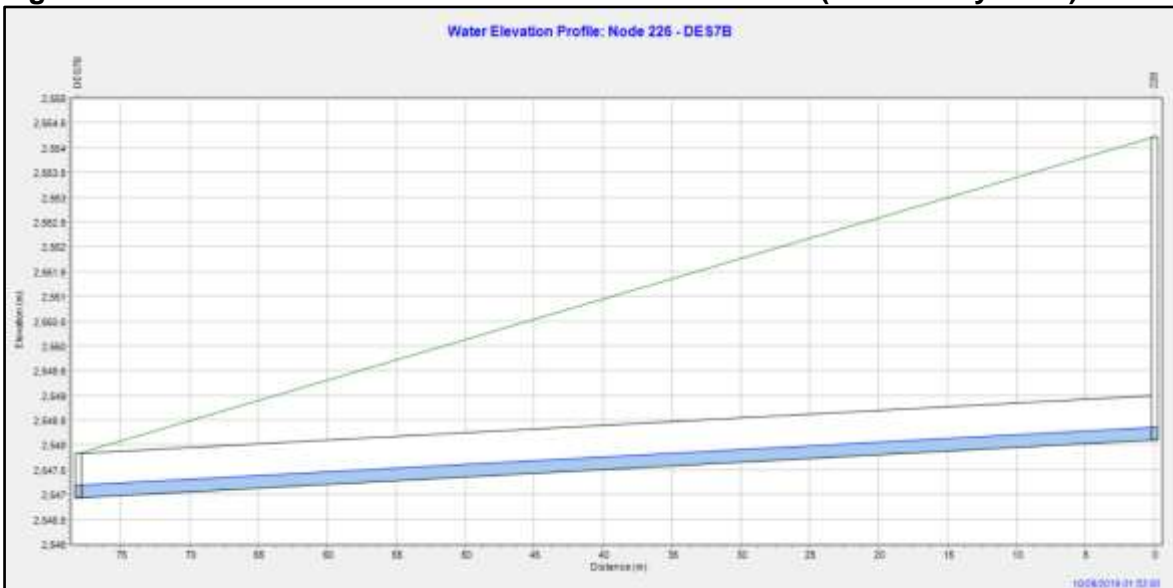
Fuente: WSP; 2020

Figura 174 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 201 a DES7A (Canal Guaymaral)



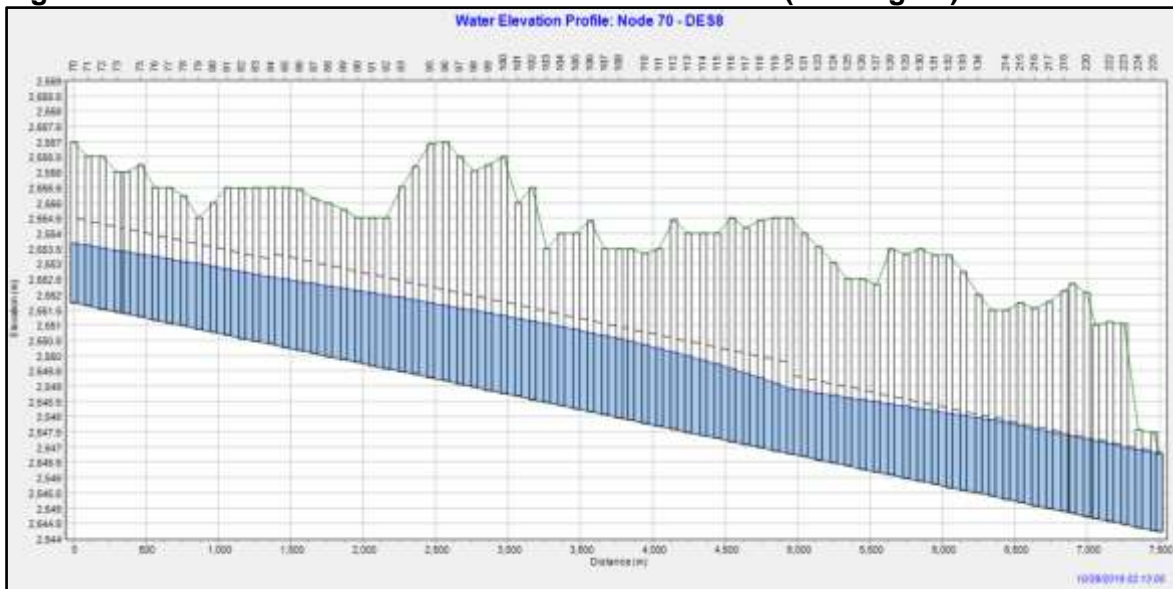
Fuente: WSP; 2020

Figura 175 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 226 a DES7B (Canal Guaymaral)



Fuente: WSP; 2020

Figura 176 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 70 a DES8 (Río Bogotá)



Fuente: WSP; 2020

A continuación, se presentan los niveles de descarga en las fuentes hídricas superficiales de los colectores proyectados en la Alternativa 3A.

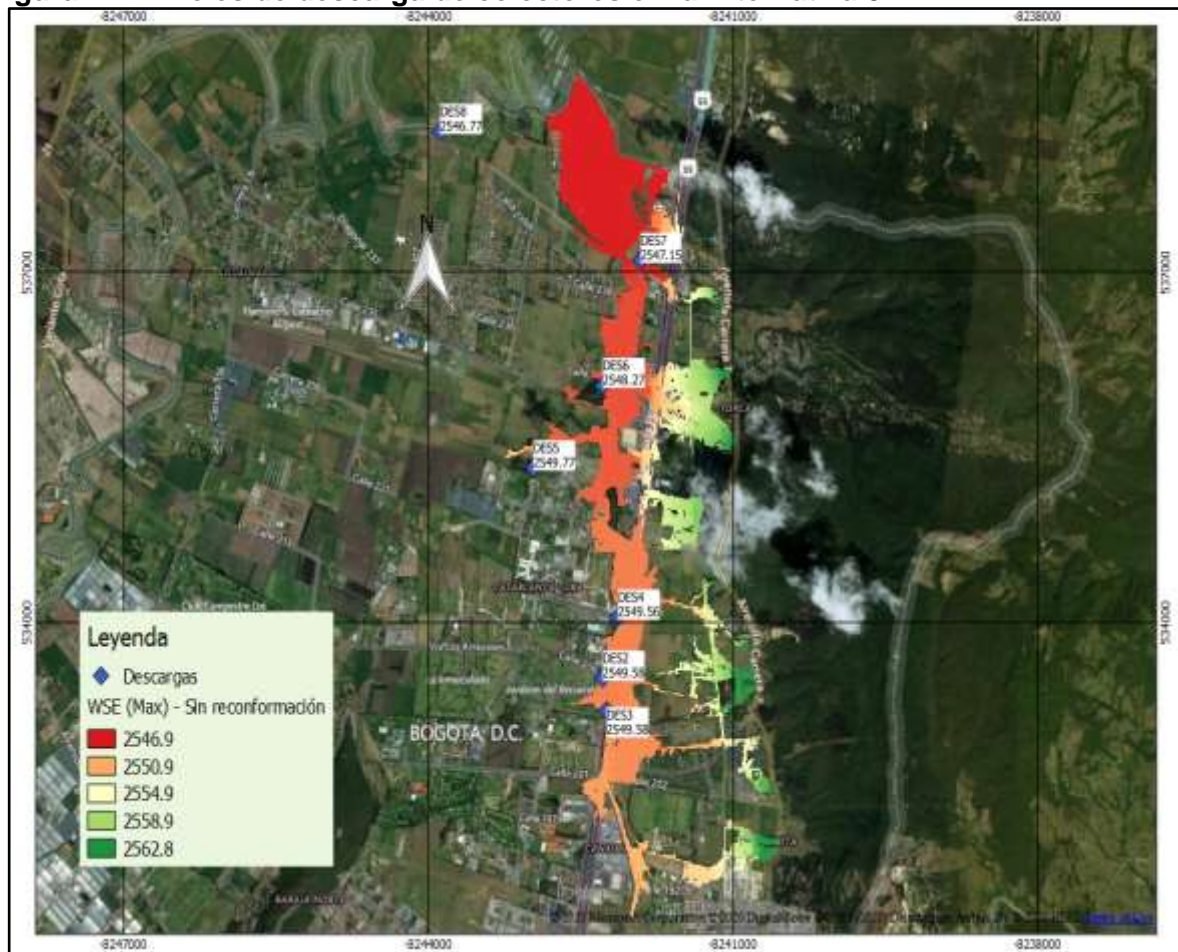
Tabla 43. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3A

CUENCA	DESCARGA	COTA MAXIMA DE INUNDACION TR 100AÑOS	COTA CLAVE DE DESCARGA
CUENCA 1 Y 2	DESC 3	2549.58	2549.58
CUENCA 3	DESC 2	2549.58	2549.61
CUENCA 4	DESC 4	2549.56	2550.80
CUENCA 5	DESC 5	2549.77	2549.78
CUENCA 6	DESC 6	2548.27	2548.27
CUENCA 7	DESC 7A	2547.15	2547.60
CUENCA 7	DESC 7B	2546.96	2547.83
AV. BOYACA	DESRB	2546.77	2546.77

Fuente: WSP; 2020

En la Figura 177 se presenta espacialmente la ubicación de las descargas con su respectiva cota máxima de inundación.

Figura 177 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

Un aspecto importante que se ha considerado en la evaluación cualitativa y cuantitativa de esta Alternativa de drenaje, es el hecho de que su implementación consigue conducir el caudal de escorrentía generada por el sector de San José de Bavaria, mediante un colector a gravedad, trazado por la reserva vial de la futura Avenida Boyacá. Este tipo de manejo permite además disminuir la mayoría de los diámetros de los colectores que se ubican sobre las vías colindantes a los futuros desarrollos. Es de tener en cuenta que si el área del Plan Zonal Lagos de Torca es de 1800 ha, la Alternativa presentada permite drenar 270 ha adicionales es decir 15% más, que se componen por el sector de San José de Bavaria, el cual no hace parte del Plan Zonal.

6.4.5.4 Obras propuestas alternativa 3A

Esta alternativa contempla la adecuación de los cuerpos de agua y la proyección del sistema de redes, en resumen, se proyectan las obras definidas de esta alternativa de la Tabla 34 a la Tabla 46.

Tabla 44 Obras propuestas reconformación Humedales en la alternativa 3A

RECONFORMACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 3A
Excavación en suelo blando	m ³	519,533.90
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	93,974.83
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	17,703,257.31
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	300.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	303,474.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	202,316.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 45 Obras propuestas reconformación Canal en la alternativa 3A

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL	UN	ALTERNATIVA 3A
Excavación en suelo blando	m ³	240,446.34
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	117,920.51
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	5,097,074.53
Construcción box culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, conta para sello de juntas, pilotes y acero)	m	120.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	154,400.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	76,000.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 46 Obras propuestas longitudes de Tubería en la alternativa 3A

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
PRELIMINARES		
Replanteo	KM	24.09
MOVIMIENTO DE TIERRAS		
EXCAVACIONES		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	150,351.35
Excavación en suelo blando 2 < h <= 4 m	M3	108,104.64
Excavación en suelo blando h > 4 m	M3	59,933.55
ENTIBADO		
Entibado continuo con láminas metálicas en acero o aluminio EC-4	M2	97,816.24
RELLENOS		
Relleno mezc gravilla y arena lavada rio	M3	177,707.77
Recebo	M3	161,729.05
RETIRO Y DISPOSICIÓN MATERIALES SOBANTES		
Transporte y disposic. residuos sólidos	m ³ k	13,245,004.86

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
TUBERÍAS		
SUMINISTRO TUBERÍAS		
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D24"	M	-
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D27"	M	-
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D30"	M	683.03
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D33"	M	298.64
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D36"	M	349.08
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D39"	M	1,528.03
Tub PVCcorru ext,lisa int,PS28psi,D42"	M	1,574.04
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D45"	M	773.69
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D48"	M	217.37
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D51"	M	1,455.53
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D54"	M	1,376.25
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D60"	M	1,824.40
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1600	M	319.19
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1700	M	533.93
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1800	M	1,176.80
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1900	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2000	M	1,401.23
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2100	M	921.98
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2200	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2400	M	191.89
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2500	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2600	M	5,572.17
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2800	M	2,109.71
Tubería GRP PN1 SN2500 DN3000	M	3,890.89
INSTALACIÓN TUBERÍAS		
Inst tub flexibles alcant Dn20 y 24"	M	326.03
Inst tub flexibles alcant Dn27 y 30"	M	434.72
Inst tub flexibles alcant, Dn36"-1.00m	M	775.53
Inst tub flexibles alcant Dn1.10 y 1.20m	M	2,258.94
Inst tub flexibles alcant Dn1.30 y 1.40m	M	3,290.18
Inst tub flexibles alcant Dn1.50 y 1.60m	M	1,948.68
Inst tub flexibles alcant Dn1.70 y 1.80m	M	2,972.10
Inst tub flexibles alcant Dn1.90m	M	503.72
Inst tub flexibles alcant Dn 2.00m	M	108.68
Inst tub flexibles alcant Dn2.20m	M	921.98
Inst tub flexibles alcant Dn 2.45m	M	861.74
Inst tub flexibles alcant Dn2.60m	M	5,572.17
Inst tub flexibles alcant Dn 2.75m	M	2,838.46
CÁMARAS Y POZOS		

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
CAMARA DE INSPECCIÓN D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	6,924.29
Relleno en recebo común (Incluye suministro, extendido mecánico, humedecimiento, compactación mecánica)	m3	4,457.51
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	288,050.38
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	2,466.77
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	146,096.00
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	55.20
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	220.00
Inst plac cub circ D 1.0m + arobase 1-2 pestañas, pozo cónico	UN	220.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	220.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	1,943.04
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	1,943.04
POZOS DE INSPECCIÓN Dmax=0.60 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	1,008.00
Recebo	M3	696.00
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	41,932.80
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	83.64
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	6,584.40
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	1.56
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	12.00
Inst plac cubta circ E0.25m D1.70m cilín	UN	12.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	12.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	126.72
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	126.72
CABEZALES		
CABEZAL DE DESCARGA D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	119.00
Recebo	M3	83.16
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	4,950.40
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	35.84
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	3,942.40
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	2.80
CABEZAL DE DESCARGA D=2.20 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	35.84
Recebo	M3	24.41
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	1,490.94
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	11.43



ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	1,257.30
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	0.91

Fuente: WSP; 2020

6.4.6 Alternativa 3B

6.4.6.1 Objetivos

Esta Alternativa tiene como objetivo principal garantizar que toda la zona de influencia del Plan Zonal del Borde Norte de la ciudad, no presentará inundaciones por desbordes del sistema hídrico, para lo cual se proponen obras de reconformación hidrogeomorfológica en la totalidad del Humedal, la adecuación del Canal Guaymaral, sumada a la intercepción de los aportes de aguas lluvias de la zona de San José de Bavaria, a través de un colector que las descargará a gravedad en el río Bogotá, a través del corredor de la avenida Arrayanes..

6.4.6.2 Componente Adecuación hidrogeomorfológica

La alternativa 3B contempla la misma adecuación Geomorfológica que la alternativa 3A y el Drenaje Expreso de San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta Av. Arrayanes entregando al río Bogotá y sistemas de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

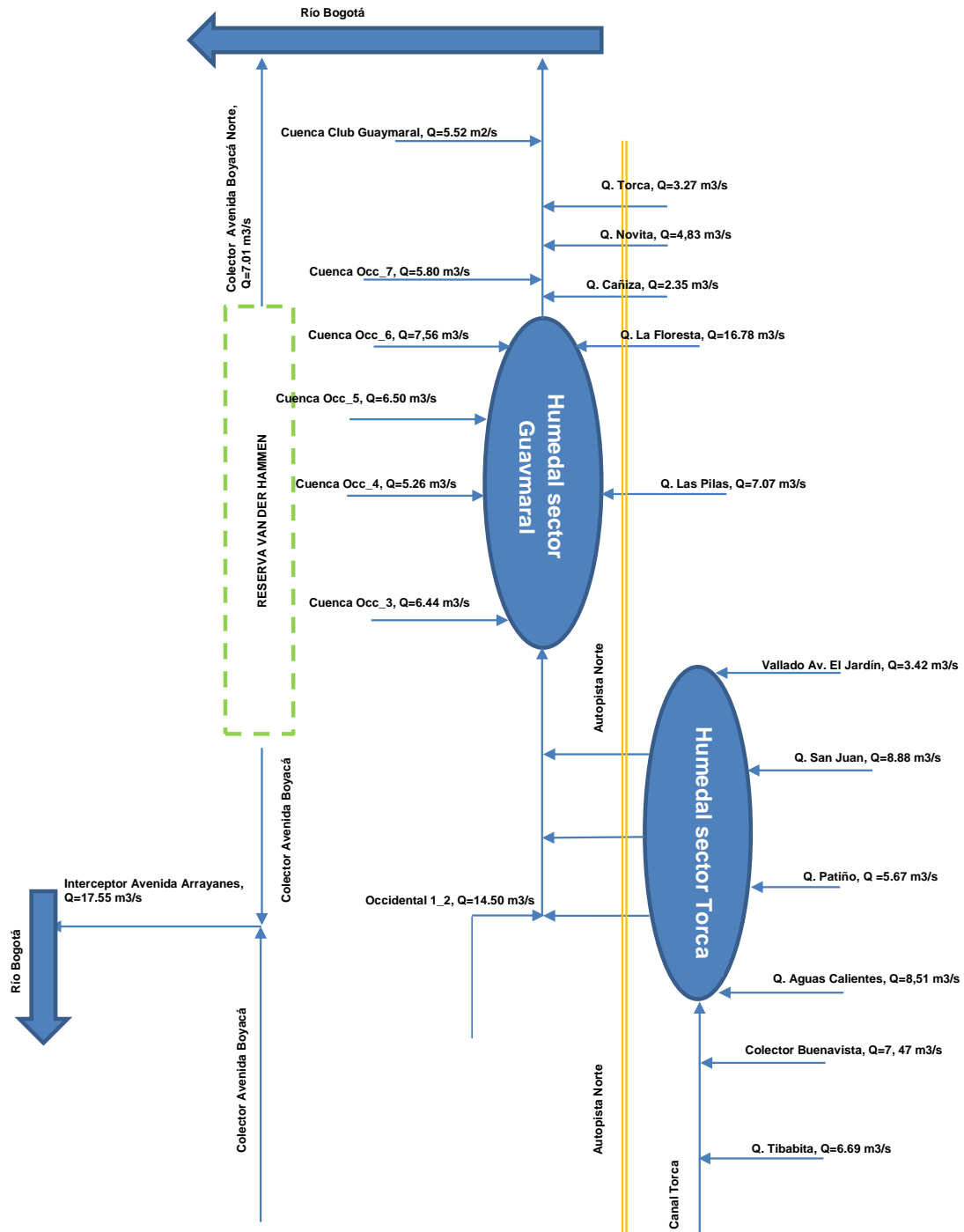
Las alternativas descritas anteriormente, contemplan en todo momento el ingreso total de las aguas del costado oriental y occidental. En cada planteamiento se buscó desde el punto de vista técnico y económico la mejor opción de funcionamiento.

Todas las alternativas planteadas dan una opción de funcionamiento del sistema Torca Guaymaral; sin embargo, es importante comprender que las tres alternativas del costado occidental requieren de la adecuación del sistema Torca Guaymaral en diferentes grados de intervención, pero en las tres está contemplada la totalidad de las aguas del sector oriental. Por otra parte, se plantea la proyección de redes de alcantarillado en los siguientes sistemas de colectores tal como se describe a continuación:

El esquema hidrológico evaluado en esta Alternativa, es que el que se muestra en la Figura 178.

En la Figura 179 se muestra la localización de los cuerpos de agua a reconformar en esta opción y los colectores proyectados pluviales considerados en esta alternativa.

Figura 178 Esquema de flujo hidrológico de la Alternativa 3B.



Fuente: WSP; 2020

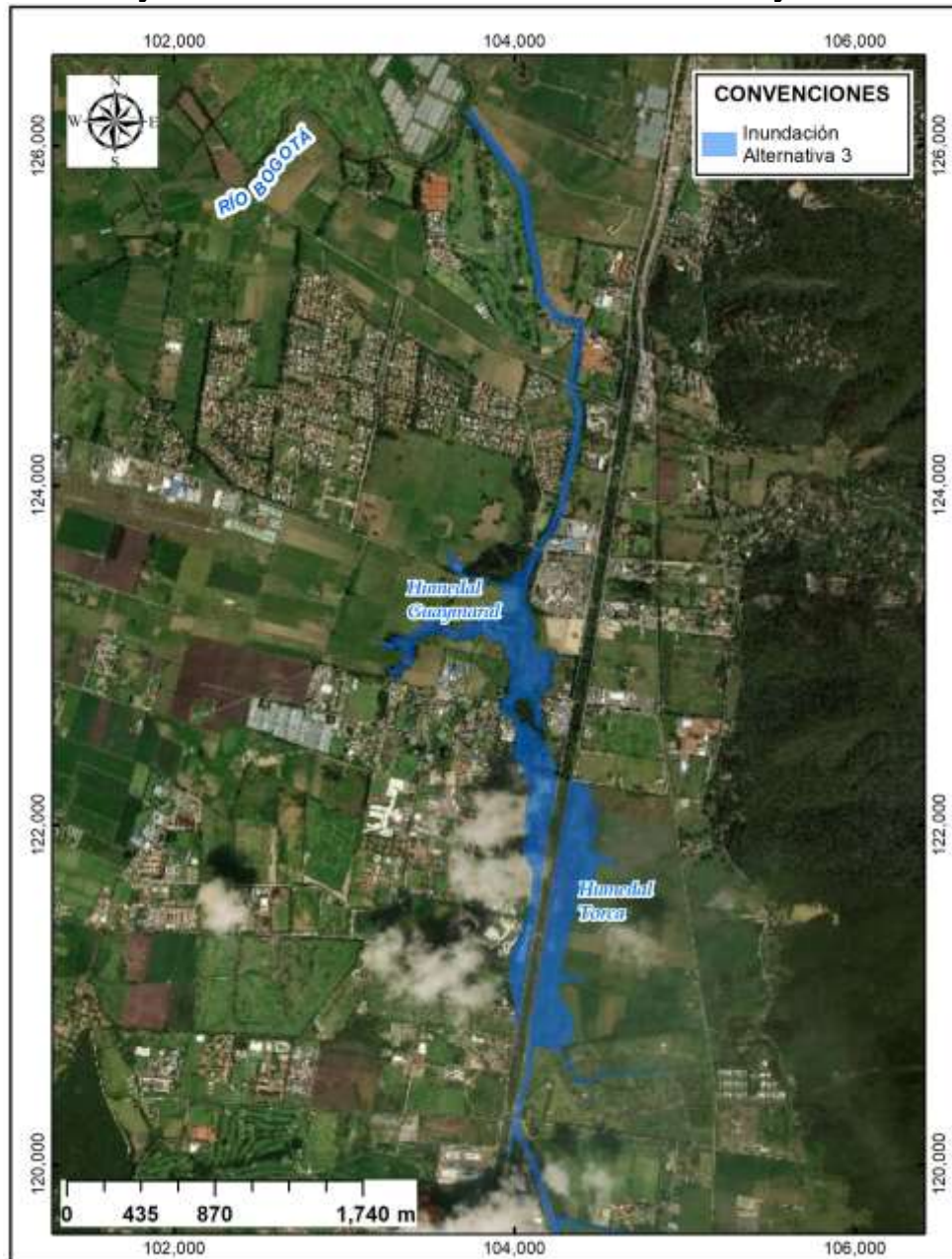
Figura 179 Vista en Planta de cuerpos de agua a Reconformar y colectores Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

Para esta Alternativa la condición de inundación, en las dos condiciones de disminución de caudales de la zona occidental, a través de los sistemas de colectores por la Avenida Boyacá y la Avenida Arrayanes, hacia el Río Bogotá, en ambos casos, son las que se muestran en la Figura 180.

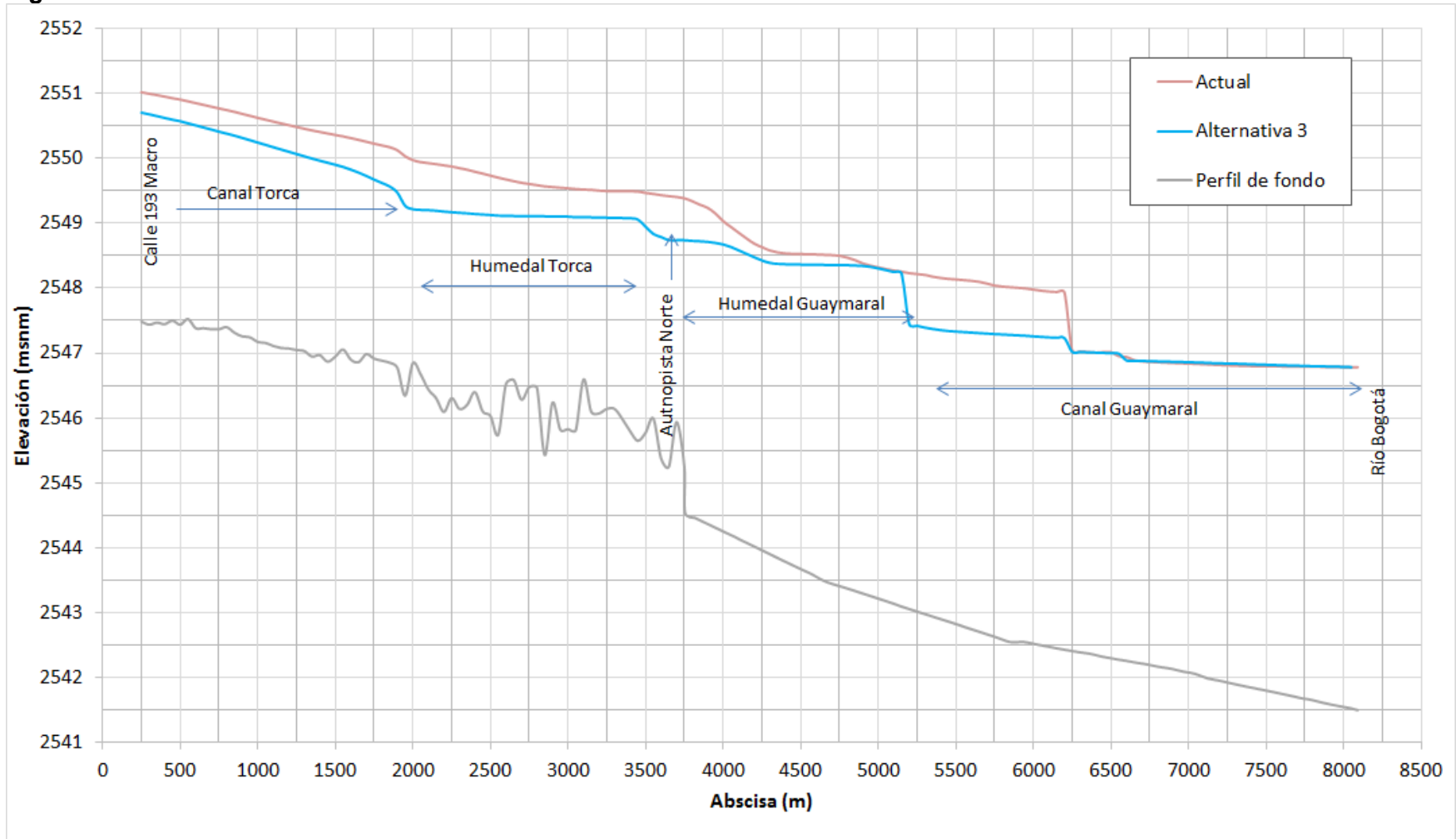
Figura 180 Representación general de la elevación del nivel del agua del Sistema Hídrico Torca Guaymaral – Condición Futura con Alternativa 3A y 3B



Fuente: WSP; 2020

En la Figura 181 se representa el perfil hidráulico para esta Alternativa de drenaje pluvial.

Figura 181 Perfil hidráulico reconfiguración Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

En el Anexo 4 Planos se presentan los diseños conceptuales para la adecuación geomorfológica de humedales, para este escenario.

6.4.6.3 Componente Redes de alcantarillado

La alternativa 3B consiste en la Adecuación Geomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral y el Canal Guaymaral contemplado en la alternativa 3A y el Drenaje Expreso San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta Av. Arrayanes entregando al Río Bogotá y sistemas de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

Esta Alternativa prevé la viabilidad de paso de redes de acueducto y alcantarillado a través de los predios de la Reserva Van der Hammen, sin que medie un proceso de sustracción previo, según concepto emitido por la CAR y que se incluye en el Anexo 5.

- Cuenca 1:

Tramo 1: Colector que inicia en la Avenida Villas colindando con el Plan Parcial 1, continuando su recorrido hasta llegar a la Avenida San Antonio (Calle 183), las tuberías de este tramo manejan un diámetro desde Ø39” hasta Ø51” en material PVC y tiene una longitud aproximada de 720m. Este colector capta las aguas del Plan Parcial 1.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Villas desde la Av. San Antonio hasta la Av. Tibabita con diámetros que van desde Ø51” hasta Ø64” y una longitud aproximada de 600m. Cabe mencionar que se emplea PVC hasta Ø60”, de este diámetro en adelante se plantea el uso de GRP. Esta red conduce las aguas del tramo 1 de esta cuenca.

Tramo 3: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde la Av. Villas hasta la Autopista Norte, con un diámetro de Ø80” y cerca de 900m de longitud. Esta red recolecta y transporta las aguas del Plan Parcial 3.

Tramo 4: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde proximidades de la Avenida Boyacá, hasta la Av. Villas, con un diámetro de Ø30”, Ø33” y Ø42”, con una longitud aproximada de 700m. Esta red recolecta y transporta las aguas provenientes de los planes parciales 2 y 3.

Tramo 5: Ubicado sobre la Autopista Norte entre Av. Tibabita y Av. Polo, manejando diámetros de Ø80”, y Ø84” con una longitud aproximada de 1300m.

- Cuenca 2:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Avenida Tibabita hasta la Av. Polo con diámetro de Ø54” y longitud aproximada de 1100m. Esta red conduce las aguas de 10.43 ha del Plan Parcial 2.

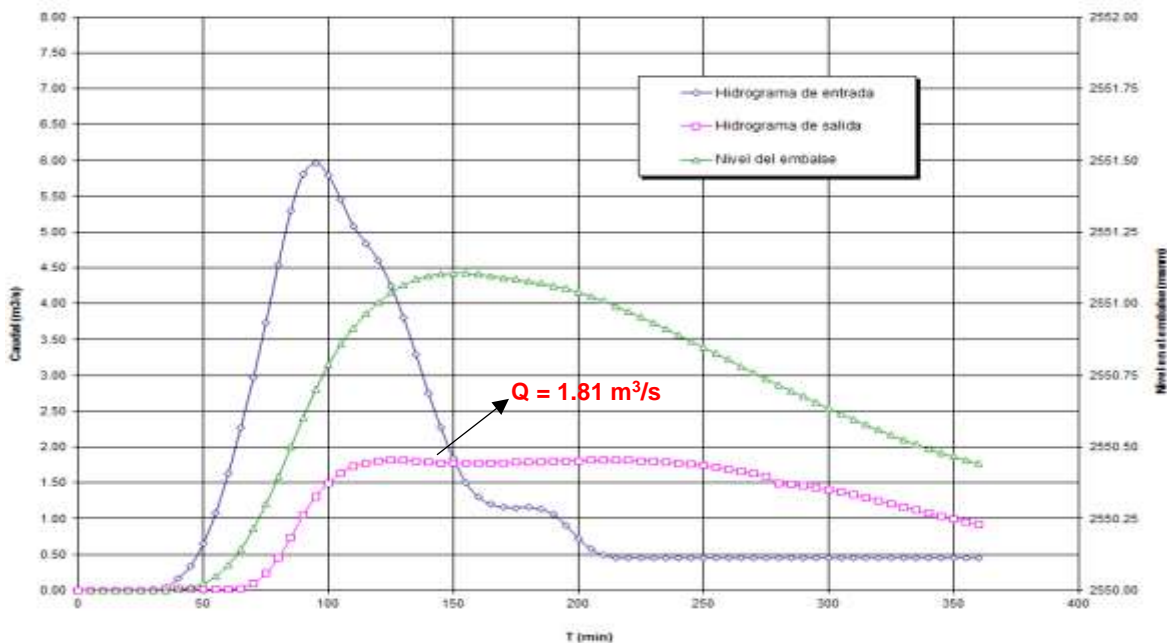
Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Polo desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø54”, Ø60”, Ø68”, Ø72”, Ø84” con longitud

aproximada de 2000m. Esta red conduce las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

Es importante mencionar que en proximidades del Plan Parcial 7 “El Otoño” se localizan actualmente tres pondajes interconectados entre si (Rancho (Pondaje 4), Búho (Pondaje 3) y Otoño (Pondaje 2-1)) cuya área total corresponde a 81.44 ha (Rancho = 9.87 ha, Búho = 26.68 ha y Otoño = 44.89 ha). De acuerdo con lo anterior para el cálculo de caudal de la tubería proyectada a lo largo de la Avenida Polo, no es posible considerar de manera directa las áreas anteriormente citadas, razón por la cual la presente consultoría realiza el tránsito de hidrogramas entre los pondajes teniendo en cuenta la regulación y control que éstos ejercen en la zona.

Teniendo esto como precedente el caudal neto real aferente a la tubería proyectada sobre la avenida polo corresponde a 1.813 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, el cual es ingresado de manera puntual a la red (Pozo 67) a través de dos tuberías de 36”.

Figura 182 Hidrograma Pondajes Existentes



Fuente: WSP; 2020

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Autopista Norte hasta la entrega en el inicio del Canal Guaymaral, con una tubería de Ø112” una longitud aproximada de 600m.

- Cuenca 3:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Arrayanes desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø39”, Ø42”, Ø45”, Ø51”, Ø60”, Ø64” y Ø72” con una longitud cercana a 1800m.

- Cuenca 4:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la calle 215 desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø30", Ø39", Ø51" y Ø60" con una longitud cercana a 1500m.

- Cuenca 5:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Boyacá hasta antes de la Av. Villas con diámetro de Ø39" y longitud cercana a 400m.

Tramo 2: Red pluvial desde la Avenida El Jardín hasta la descarga en el humedal Guaymaral, posee diámetro de Ø54", Ø64" y Ø68" y longitud cercana a 350m.

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Villas hasta después de la Av. Villas con diámetro de Ø42" y longitud aproximada de 260m.

- Cuenca 6:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Guaymaral desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral de Ø42", Ø48", y Ø68" con una longitud aproximada de 1000m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 26 y 27.

- Cuenca 7:

Tramo 1: Red pluvial localizada Red pluvial localizada por la vía interna del Plan Parcial 29 desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetro de Ø42", Ø51", y Ø60" con una longitud aproximada de 800 m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 27 y 29.

Tramo 2: Red pluvial localizada al norte de la Av. Novita (Calle 242), tiene un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 80m hasta su descarga en el Canal Guaymaral. Esta se encargará de recolectar y transportar las aguas lluvias generadas en una manzana urbanizable del Plan Parcial 29 "Mudela del Río.

- Línea Av. Boyacá hasta Río Bogotá:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Av. Boyacá desde Av. San Antonio hasta la descarga en el río Bogotá a la altura de la Av. Arrayanes con diámetro de Ø112" y Ø120" en tubería de GRP con una longitud aproximada de 6000m. Cabe mencionar que este tramo recolectará las aguas lluvias provenientes de San José de Bavaria y parte del Plan Parcial 2, las cuales serán conducidas hasta el Río Bogotá.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Av. Boyacá desde Av. Guaymaral hasta la descarga en el río Bogotá con diámetros de Ø60", Ø68" y Ø80" con una longitud cercana a 2600 m. Esta red conduce parte de parte de las aguas de Colindante con la Av. Boyacá.

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Avenida Novita (Calle 242) hasta la Avenida Boyacá con un diámetro de 36” y una longitud aproximada de 250m.

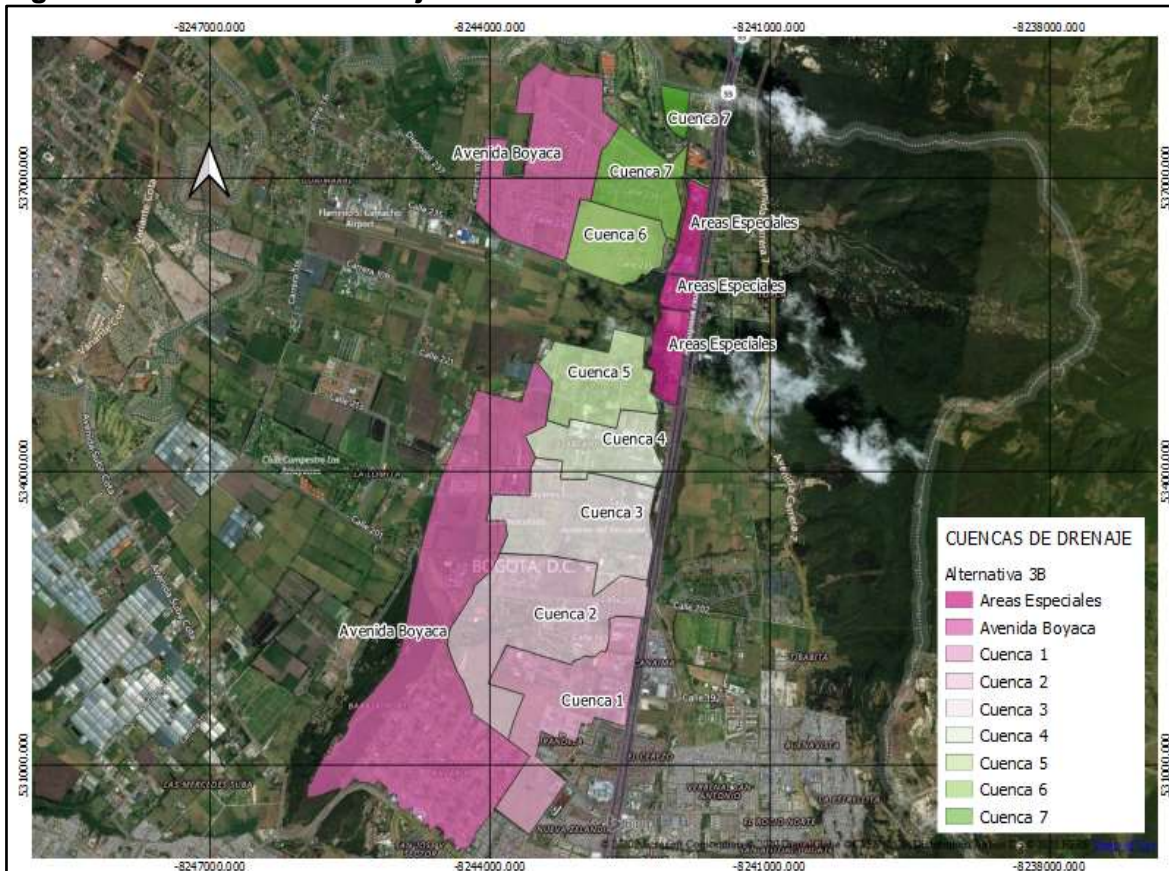
6.4.6.3.1 Diseño hidráulico de la Alternativa 3B

Esta variante de la alternativa 3A, tiene en cuenta la restricción generada por la delimitación de la Reserva Van der Hammen, lo cual implica evitar la implementación de conductos a través de esta zona de protección, a través de la Avenida Boyacá, sin tener en cuenta el concepto de viabilidad otorgado por la CAR al paso de redes de servicios de acueducto y alcantarillado por dichos predios. De esta manera se propone que un tramo del colector de la Avenida Boyacá, con inicio en el límite del costado norte de la Reserva, se conduzca hacia el norte, descargando a gravedad en el río Bogotá.

El otro sector de drenaje, que inicia en el límite sur de la Reserva, se dirige en este sentido hasta el sitio de intersección de la Avenida Boyacá con la Avenida Arrayanes, desde donde se dirige hasta desembocar, a gravedad en el río Bogotá, como se ilustra en la Figura 185.

En la Figura 183 se presentan las cuencas de drenaje correspondientes a la Alternativa 3B.

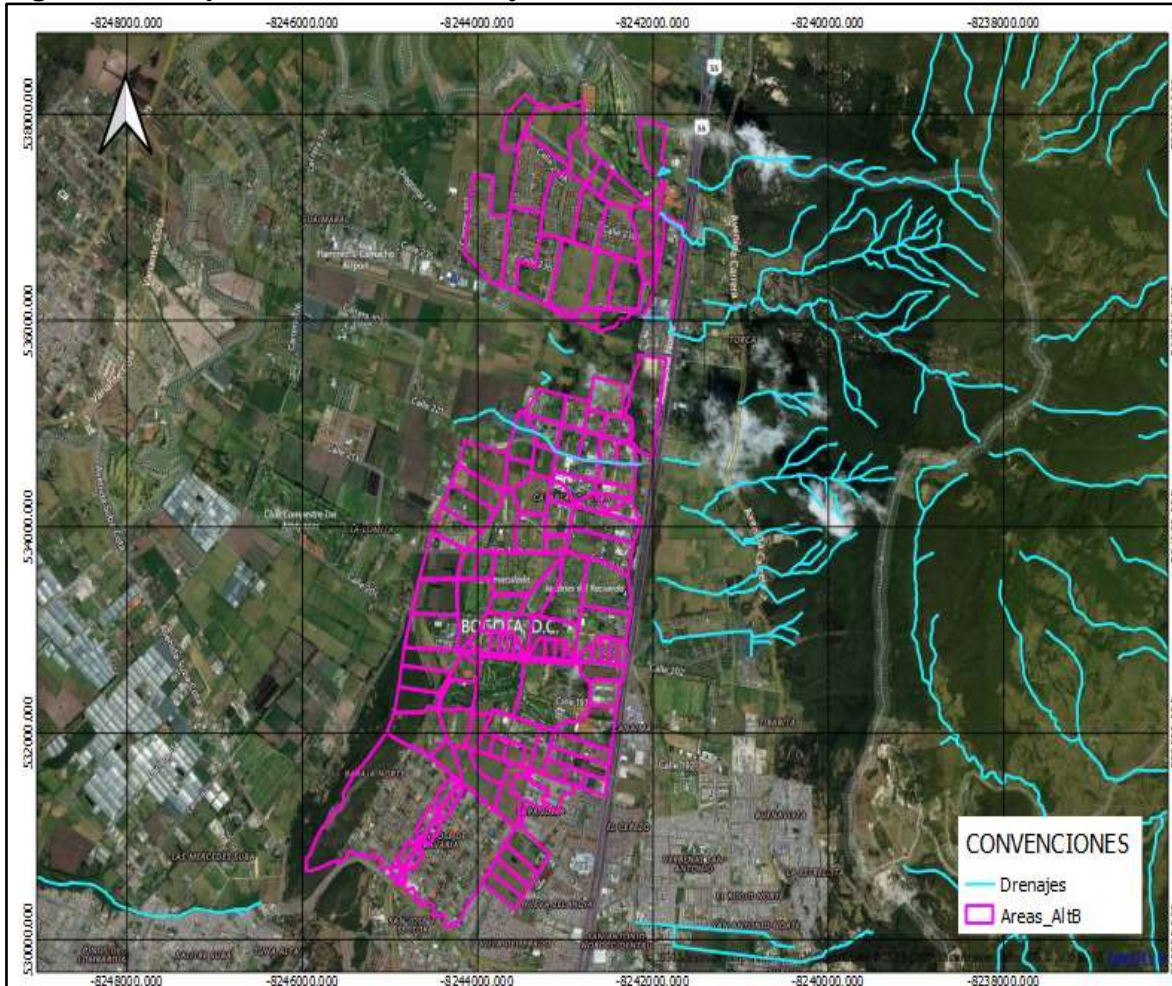
Figura 183 Cuencas de Drenaje de la Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

En la Figura 184 se presenta la representación esquemática de las áreas de drenaje de la Alternativa 3B.

Figura 184 Esquema Áreas de drenaje de la Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

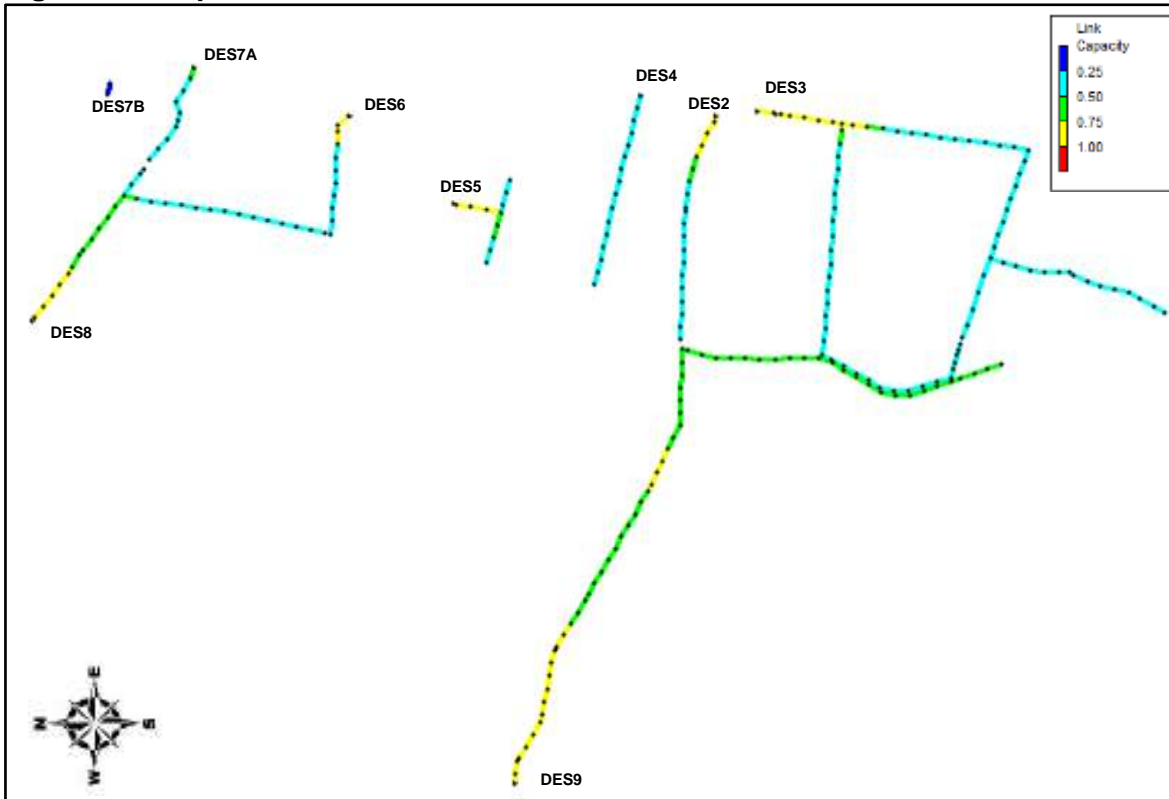
A continuación se relacionan las condiciones de descarga de la red de colectores de la Alternativa 3B con respecto al nivel de inundación de la creciente máxima de Tr100 años, para la condición futura.

En la Figura 185 se presenta la relación de llenado Y/D en donde se evidencia que los colectores presentan un buen funcionamiento hidráulico y ninguno funciona a presión. Con respecto a la velocidad se evidencia que las redes proyectadas presentan un buen funcionamiento toda vez que ningún colector presenta una velocidad por encima de 5m/s tal como puede observarse en la Figura 186.

Al evaluar los perfiles hidráulicos y considerar la condición de remanso debido a la cota de inundación para un periodo de retorno Tr 100 años de los cuerpos de agua receptores como son: El canal Torcal, el Humedal Guaymaral y el Río Bogotá, se evidencia que incluso para estas condiciones críticas de descarga, los colectores siguen funcionando

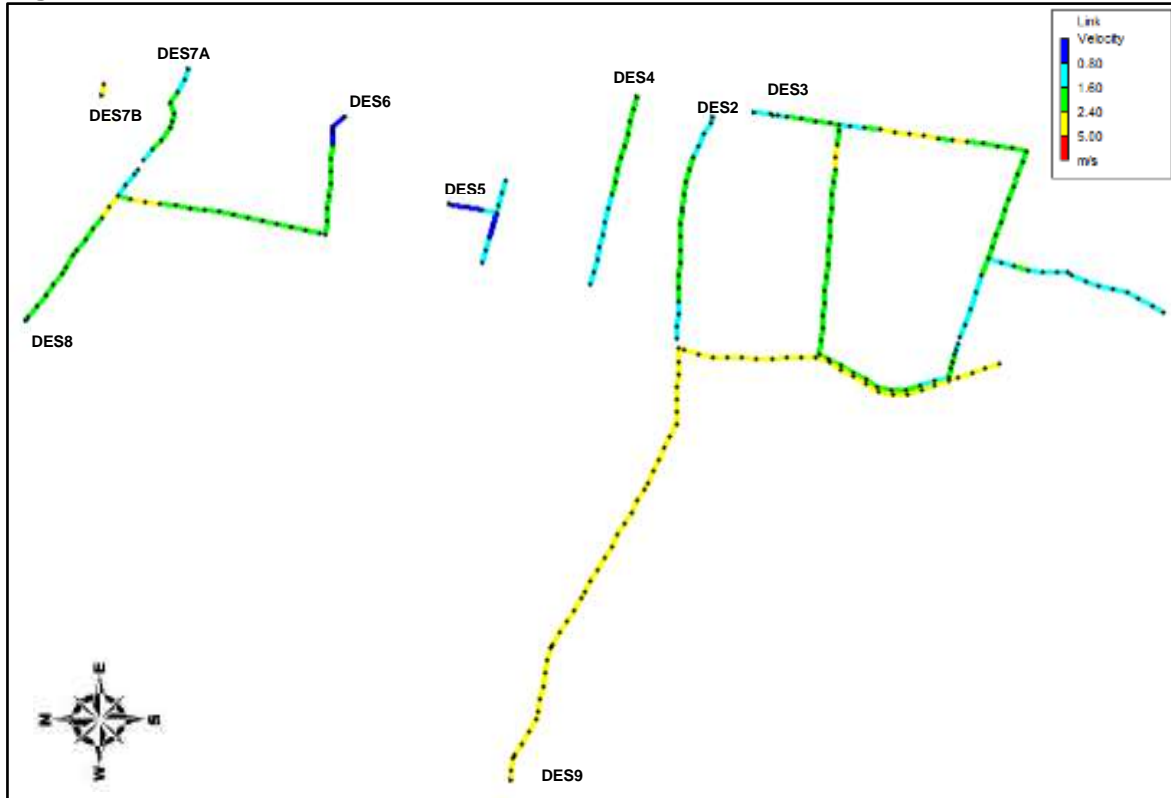
adecuadamente realizando descargas a flujo libre y no se presentan reboses para ninguno de los pozos proyectados.

Figura 185 Capacidad Hidráulica Colectores Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

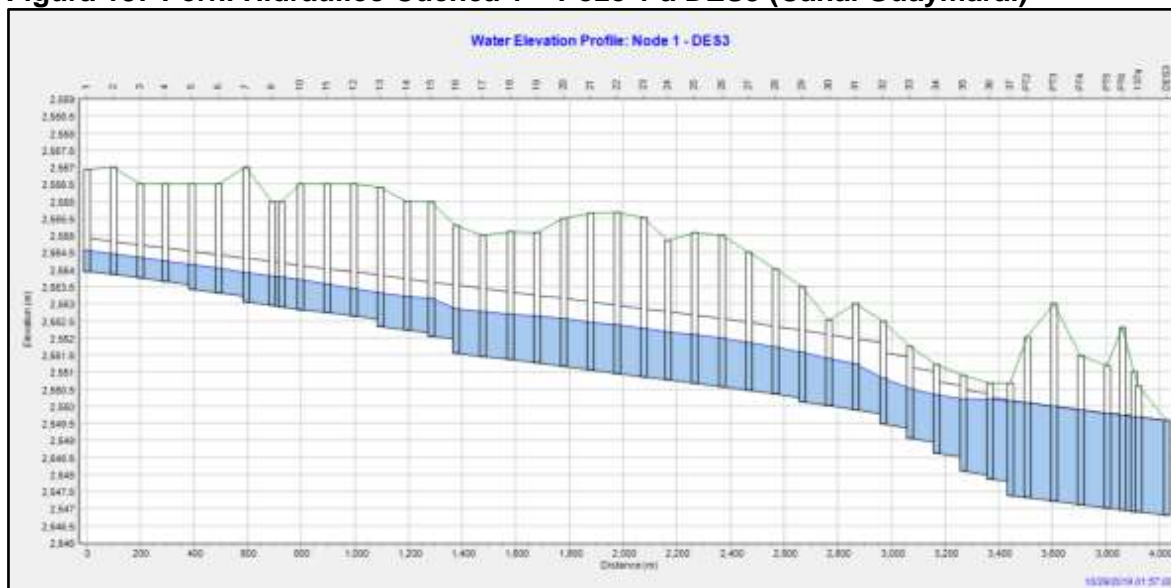
Figura 186 Velocidades obtenidas Colectores Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

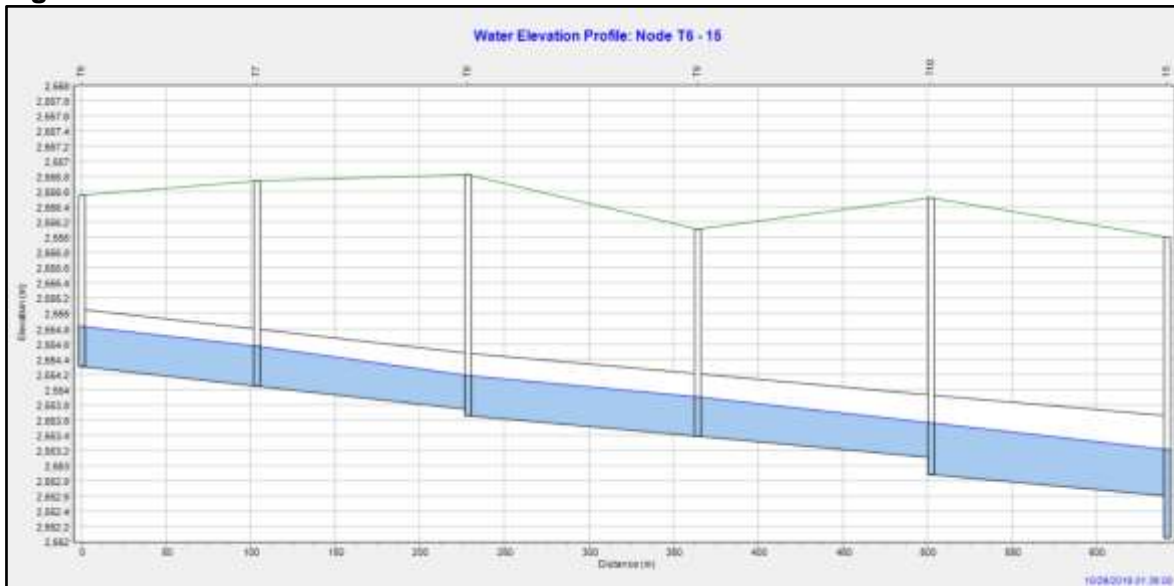
De la Figura 187 a la Figura 198, se presentan los perfiles hidráulicos por cuenca para el caudal pico, en donde se evidencian las condiciones críticas en las que funcionara la red.

Figura 187 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo 1 a DES3 (Canal Guaymaral)



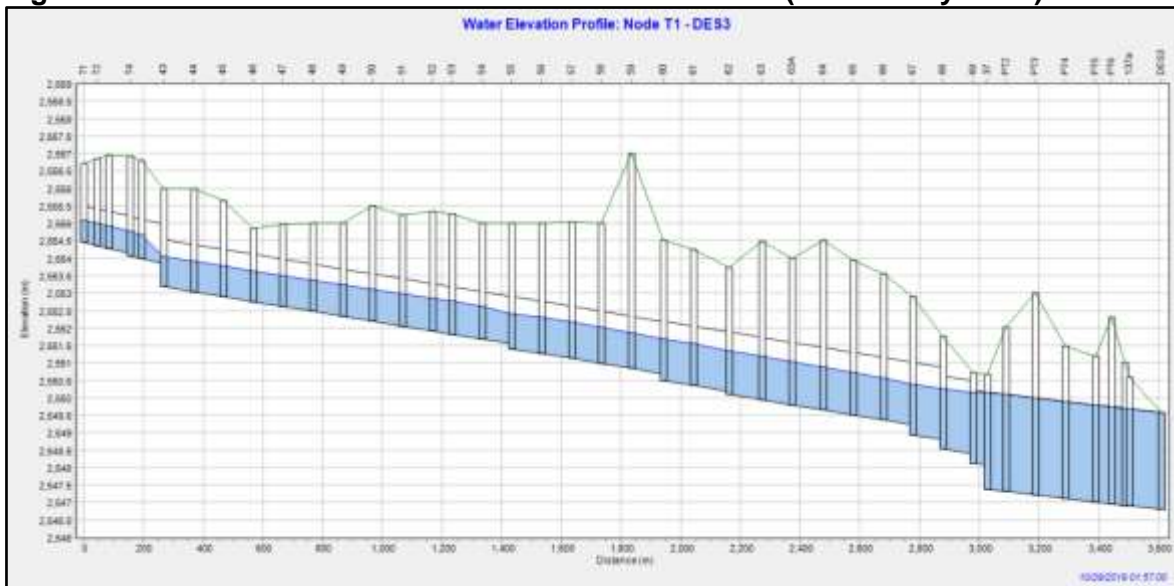
Fuente: WSP; 2020

Figura 188 Perfil Hidráulico Cuenca 1 – Pozo T6 a Pozo 15



Fuente: WSP; 2020

Figura 189 Perfil Hidráulico Cuenca 2 – Pozo T1 a DES3 (Canal Guaymaral)



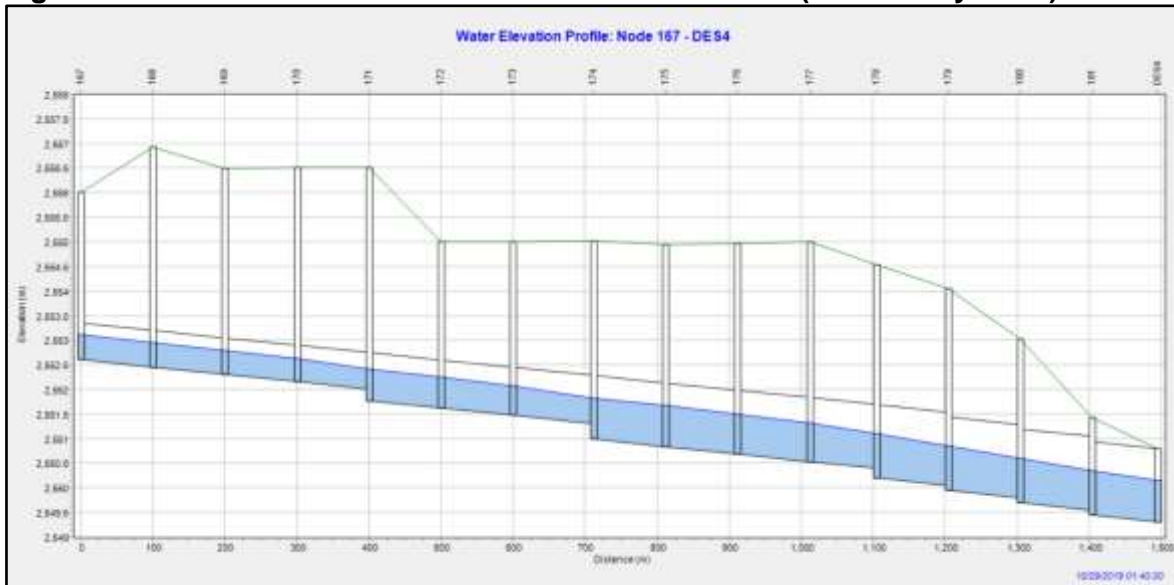
Fuente: WSP; 2020

Figura 190 Perfil Hidráulico Cuenca 3 – Pozo 136 a DES2 (Canal Guaymaral)



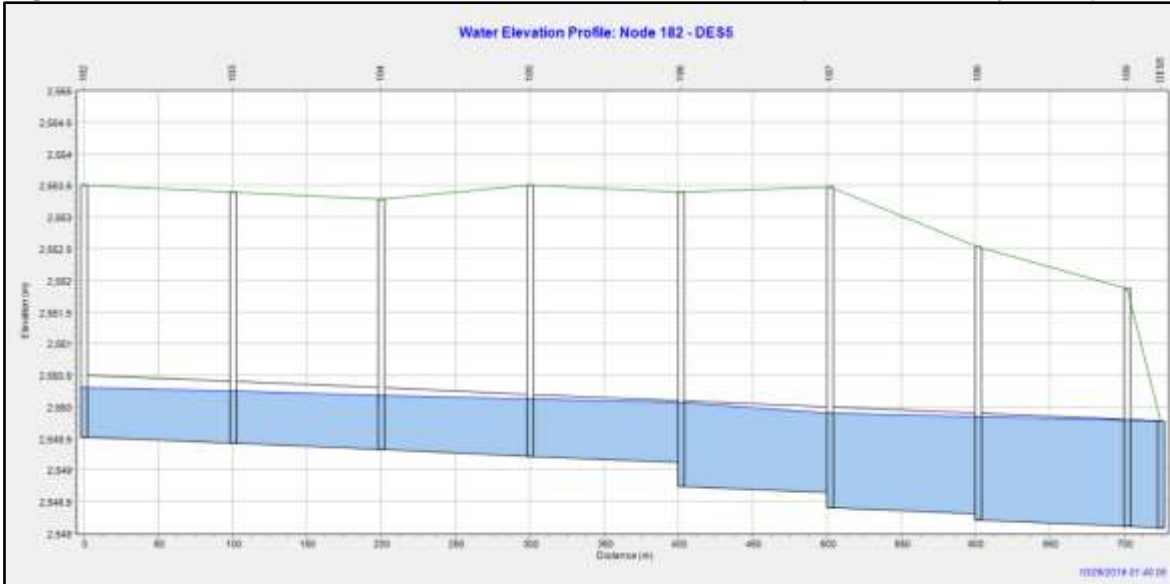
Fuente: WSP; 2020

Figura 191 Perfil Hidráulico Cuenca 4 – Pozo 167 a DES4 (Canal Guaymaral)



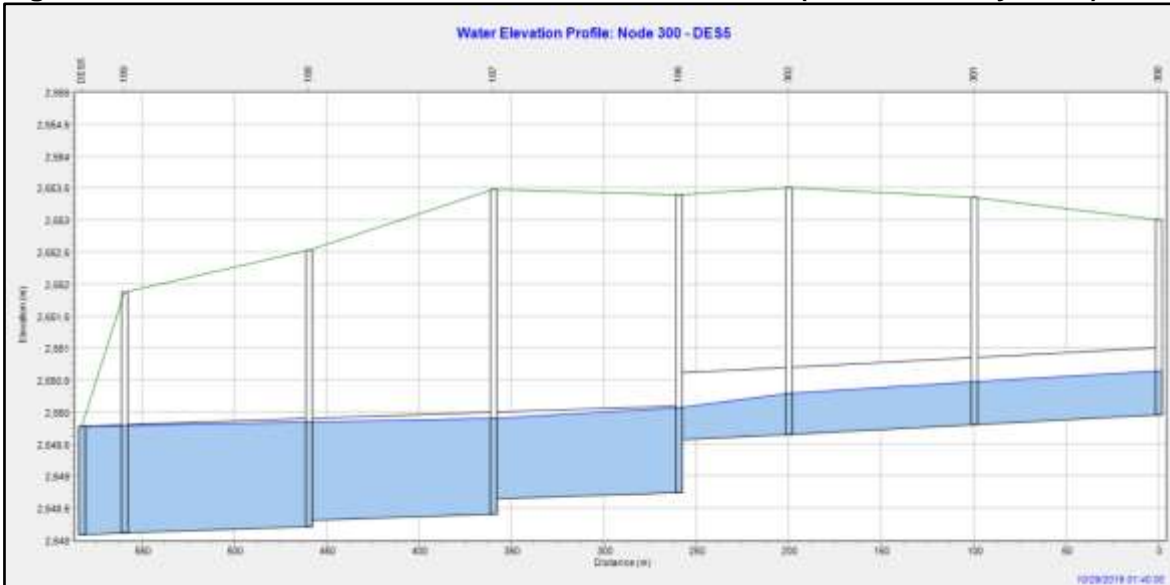
Fuente: WSP; 2020

Figura 192 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 182 a DES5 (Humedal Guaymaral)



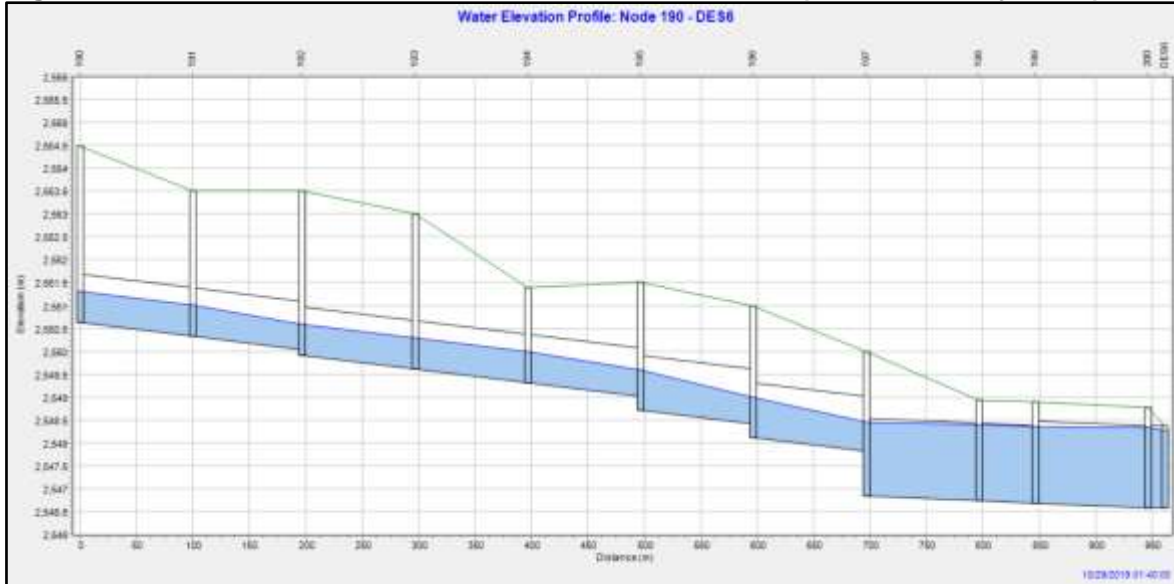
Fuente: WSP; 2020

Figura 193 Perfil Hidráulico Cuenca 5 – Pozo 300 a DES5 (Humedal Guaymaral)



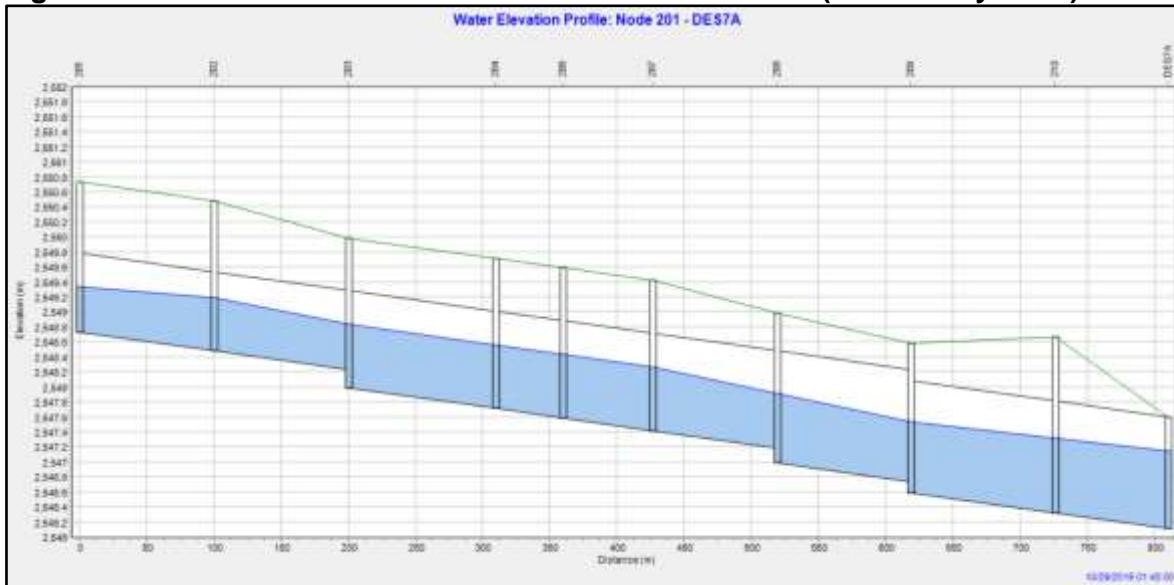
Fuente: WSP; 2020

Figura 194 Perfil Hidráulico Cuenca 6 – Pozo 190 a DES6 (Humedal Guaymaral)



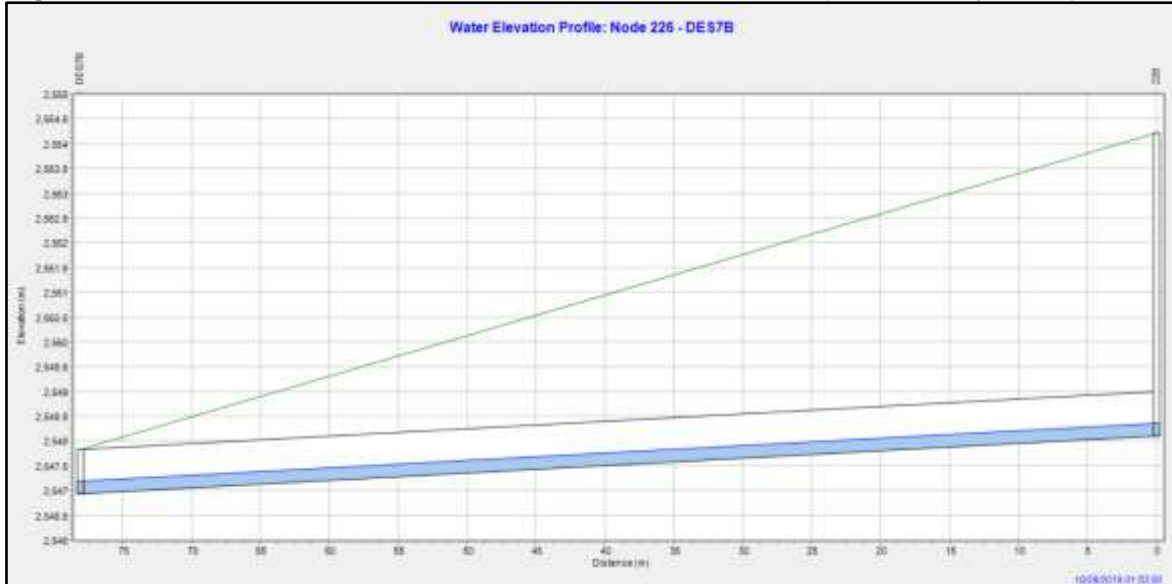
Fuente: WSP; 2020

Figura 195 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 201 a DES7A (Canal Guaymaral)



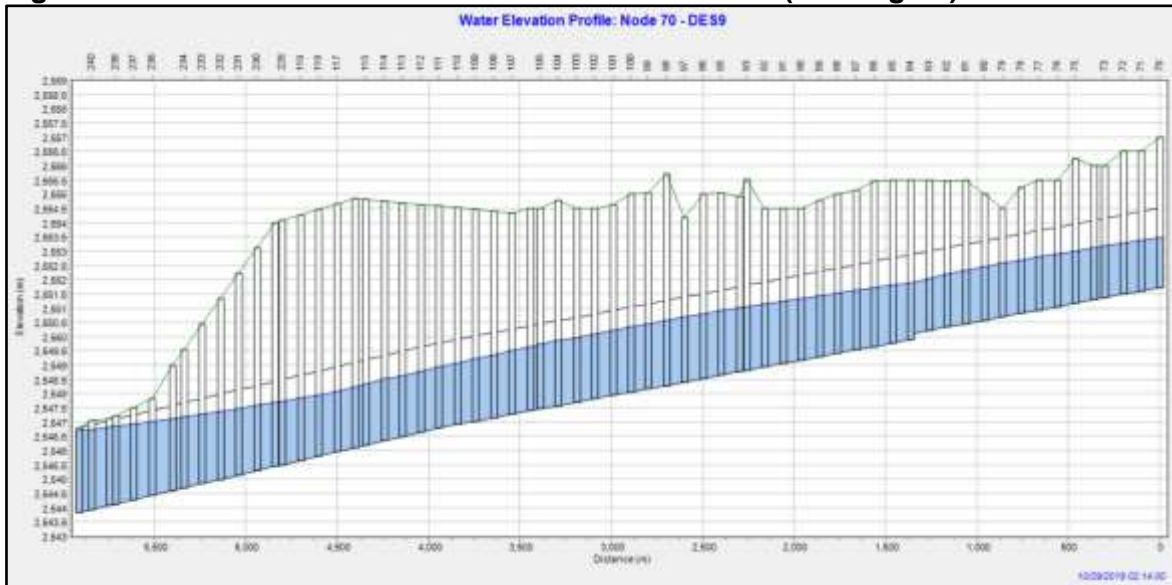
Fuente: WSP; 2020

Figura 196 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 226 a DES7B (Canal Guaymaral)



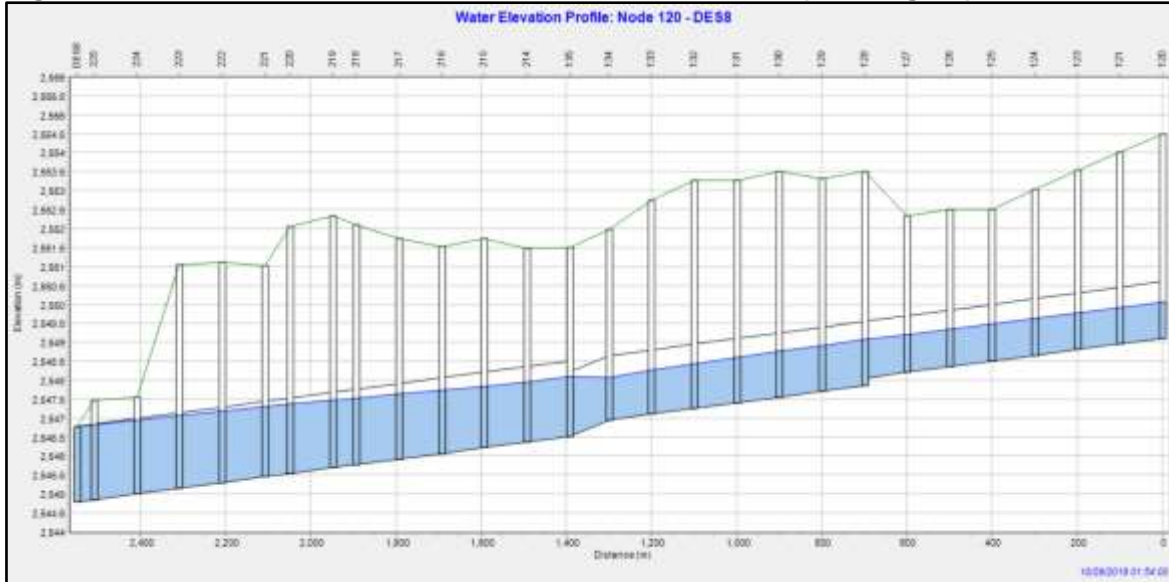
Fuente: WSP; 2020

Figura 197 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 70 a DES9 (Río Bogotá)



Fuente: WSP; 2020

Figura 198 Perfil Hidráulico Cuenca 7 – Pozo 120 a DES8 (Río Bogotá)



Fuente: WSP; 2020

A continuación, se presentan los niveles de descarga en las fuentes hídricas superficiales de los colectores proyectados en la Alternativa 3B.

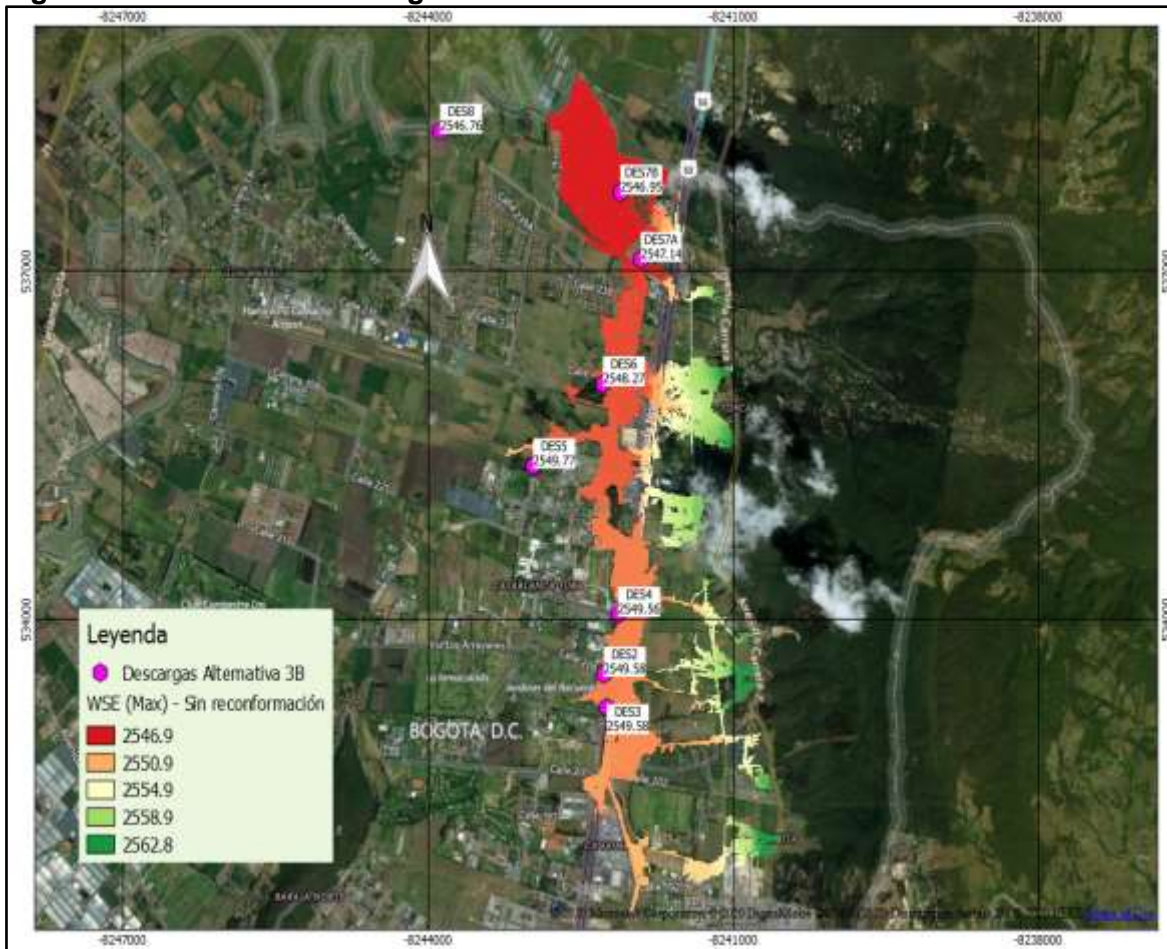
Tabla 47. Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3B

CUENCA	DESCARGA	COTA MAXIMA DE INUNDACION TR 100AÑOS	COTA CLAVE DE DESCARGA
CUENCA 1 Y 2	DESC 3	2549.58	2549.58
CUENCA 3	DESC 2	2549.58	2549.61
CUENCA 4	DESC 4	2549.56	2550.80
CUENCA 5	DESC 5	2549.77	2549.78
CUENCA 6	DESC 6	2548.27	2548.27
CUENCA 7	DESC 7A	2547.15	2547.60
CUENCA 7	DESC 7B	2546.96	2547.83
AV. BOYACA	DESRB	2546.77	2546.78
	DES9	2546.70	2546.70

Fuente: WSP; 2020

En la Figura 199 se presenta espacialmente la ubicación de las descargas con su respectiva cota máxima de inundación.

Figura 199 Niveles de descarga de colectores en la Alternativa 3B



Fuente: WSP; 2020

6.4.6.4 Obras propuestas alternativa 3B

Esta alternativa contempla la adecuación de los cuerpos de agua y la proyección del sistema de redes, en resumen, se proyectan las obras definidas de esta alternativa de la Tabla 48 a la Tabla 50.

Tabla 48 Obras propuestas reconfiguración Humedales en la Alternativa 3B

RECONFORMACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 3B
Excavación en suelo blando	m ³	519,533.90
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	93,974.83
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	17,703,257.31
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	300.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	303,474.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	202,316.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 49 Obras propuestas reconformación Canal en la Alternativa 3B

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL	UN	ALTERNATIVA 3B
Excavación en suelo blando	m3	240,446.34
Material seleccionado proveniente excavación	m3	117,920.51
Transporte y disposición. residuos sólidos	m3k	5,097,074.53
Construcción box culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, conta para sello de juntas, pilotes y acero)	m	120.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m2	115,400.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m2	76,800.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 50 Obras propuestas longitudes de Tubería en la Alternativa 3B

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
PRELIMINARES		
Replanteo	KM	22.51
MOVIMIENTO DE TIERRAS		
EXCAVACIONES		
Excavación en suelo blando $h \leq 2$ m	M3	131,248.71
Excavación en suelo blando $2 < h \leq 4$ m	M3	85,806.12
Excavación en suelo blando $h > 4$ m	M3	38,718.03
ENTIBADO		
Entibado continuo con láminas metálicas en acero o aluminio EC-4	M2	79,173.54
RELLENOS		
Relleno mezc gravilla y arena lavada río	M3	143,370.04
Recebo	M3	129,588.85
RETIRO Y DISPOSICIÓN MATERIALES SOBANTES		
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	10,640,150.98
TUBERÍAS		
SUMINISTRO TUBERÍAS		
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D24"	M	-
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D27"	M	
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D30"	M	683.03
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D33"	M	298.64
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D36"	M	349.08
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D39"	M	1,528.03
Tub PVCcorrú ext,lisa int,PS28psi,D42"	M	1,574.04
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D45"	M	773.69
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D48"	M	217.37
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D51"	M	1,455.53

ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D54"	M	1,376.25
Tubería PVC Perfil Cerrado PS10, D60"	M	2,585.17
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1600	M	319.19
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1700	M	1,286.99
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1800	M	1,176.80
Tubería GRP PN1 SN2500 DN1900	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2000	M	2,655.67
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2100	M	921.98
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2200	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2400	M	191.89
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2500	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2600	M	-
Tubería GRP PN1 SN2500 DN2800	M	2,109.71
Tubería GRP PN1 SN2500 DN3000	M	4,940.37
INSTALACIÓN TUBERÍAS		
Inst tub flexibles alcant Dn20 y 24"	M	-
Inst tub flexibles alcant Dn27 y 30"	M	981.67
Inst tub flexibles alcant, Dn36"-1.00m	M	3,451.15
Inst tub flexibles alcant Dn1.10 y 1.20m	M	991.06
Inst tub flexibles alcant Dn1.30 y 1.40m	M	2,831.78
Inst tub flexibles alcant Dn1.50 y 1.60m	M	2,904.36
Inst tub flexibles alcant Dn1.70 y 1.80m	M	2,463.79
Inst tub flexibles alcant Dn1.90m	M	-
Inst tub flexibles alcant Dn 2.00m	M	2,655.67
Inst tub flexibles alcant Dn2.20m	M	921.98
Inst tub flexibles alcant Dn 2.45m	M	191.89
Inst tub flexibles alcant Dn2.60m	M	-
Inst tub flexibles alcant Dn 2.75m	M	7,050.08
CÁMARAS Y POZOS		
CAMARA DE INSPECCIÓN D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	8,768.26
Relleno en recebo común (Incluye suministro, extendido mecánico, humedecimiento, compactación mecánica)	m3	5,644.57
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	364,759.62
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	3,123.69
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	185,002.00
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	69.90
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	233.00
Inst plac cub circ D 1.0m + arobase 1-2 pestañas, pozo cónico	UN	233.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	233.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	2,460.48

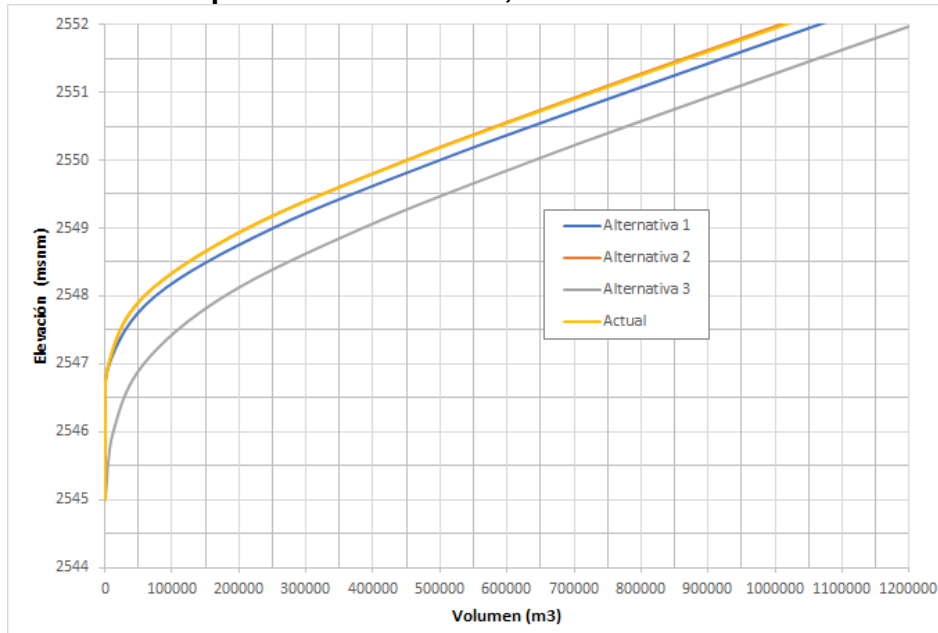
ACTIVIDADES PRELIMINARES	UNIDAD	CANTIDAD
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	2,460.48
POZOS DE INSPECCIÓN Dmax=0.60 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	1,008.00
Recebo	M3	696.00
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	41,932.80
Sumin.-Instal. Concreto cajas o cámaras resist.28 Mpa con impermeabilizante	M3	83.64
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	6,584.40
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	1.56
Cargue conc E0,25mD1.7m pozo insp. Cilín	UN	12.00
Inst plac cubta circ E0.25m D1.70m cilín	UN	12.00
Tapa tipo Convenc No Recicl.AlcantD0.67m	UN	12.00
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	126.72
Instalación escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	126.72
CABEZALES		
CABEZAL DE DESCARGA D=1.80 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	238.00
Recebo	M3	166.32
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	9,900.80
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	71.68
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	7,884.80
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	5.60
CABEZAL DE DESCARGA D=2.20 m		
Excavación en suelo blando h <=2 m	M3	35.84
Recebo	M3	24.41
Transporte y disposic. residuos sólidos	m3k	1,490.94
Sumin.-Instal. concreto resist.28 Mpa/ estructura	M3	11.43
Varillas Corrugadas tipo A 60 (sumin+inst)	KG	1,257.30
Sumin.-Instal. concreto resist.10,5 MPa	M3	0.91

Fuente: WSP; 2020

6.4.7 Evaluación de la amortiguación del Humedal

Con el objeto de establecer las condiciones de la amortiguación del Humedal, para cada una de las alternativas propuestas, inicialmente se llevó a cabo la determinación de las curvas de capacidad de almacenamiento en cada una de las opciones de reconfiguración propuesta en cada Alternativa de adecuación geomorfológica del Humedal. La determinación de las nuevas curvas de capacidad se realizó a partir de los Modelos de Terreno (DEM) generados para el modelamiento hidráulico bidimensional del sistema hídrico. En la Figura 200 y la Figura 201 se presentan las curvas de capacidad de almacenamiento para cada sector del Humedal, incluyendo la actual, es decir sin obras de adecuación.

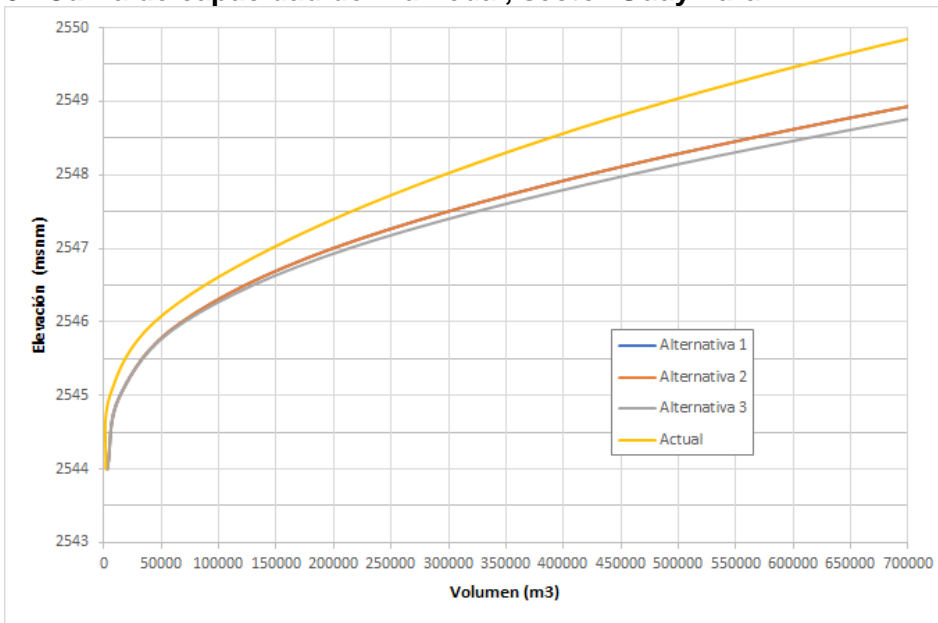
Figura 200 Curva de capacidad del Humedal, sector Torca



Fuente: WSP; 2020

Es de aclarar que la curva de capacidad de almacenamiento de la condición actual y la Alternativa 2 son iguales debido a que en este escenario, no se plantean adecuaciones para el Humedal en el sector de Torca.

Figura 201 Curva de capacidad del Humedal, sector Guaymaral



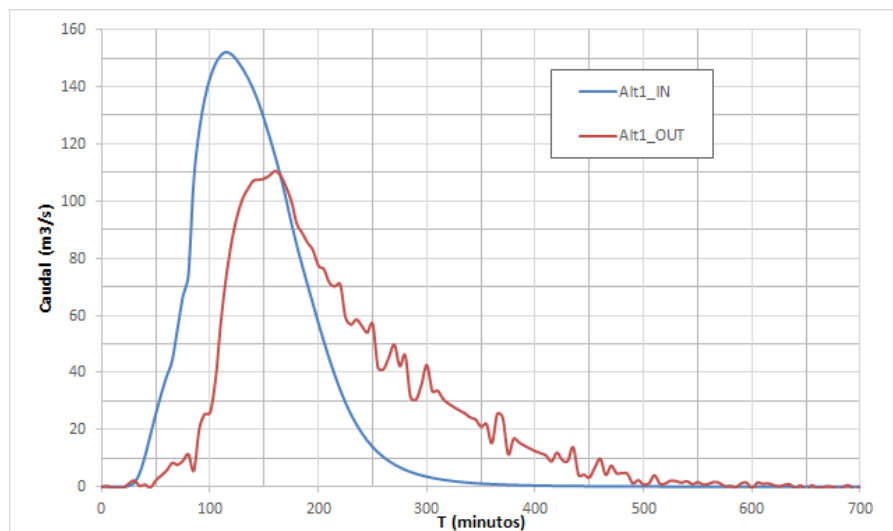
Fuente: WSP; 2020

Para esta zona del Humedal, las curvas de capacidad para la Alternativa 1 y la Alternativa 2 se superponen, dado que las intervenciones en ese sector son iguales para los dos escenarios.

La determinación de las condiciones de amortiguación de cada una de las alternativas planteadas se llevó a cabo a partir de los hidrogramas de entrada y salida a cada cuerpo léntico (sectores de Torca y Guaymaral) y que contemplan los ingresos de caudal a través de las quebradas o colectores definidos por la red de alcantarillado principal propuesta, y por las salidas que corresponde a las estructuras de salida previstas para el cruce de la Autopista Norte, en el caso del sector Torca, y la estructura de salida prevista a la salida del sector Guaymaral, a la altura de la vía a Guyamaral.

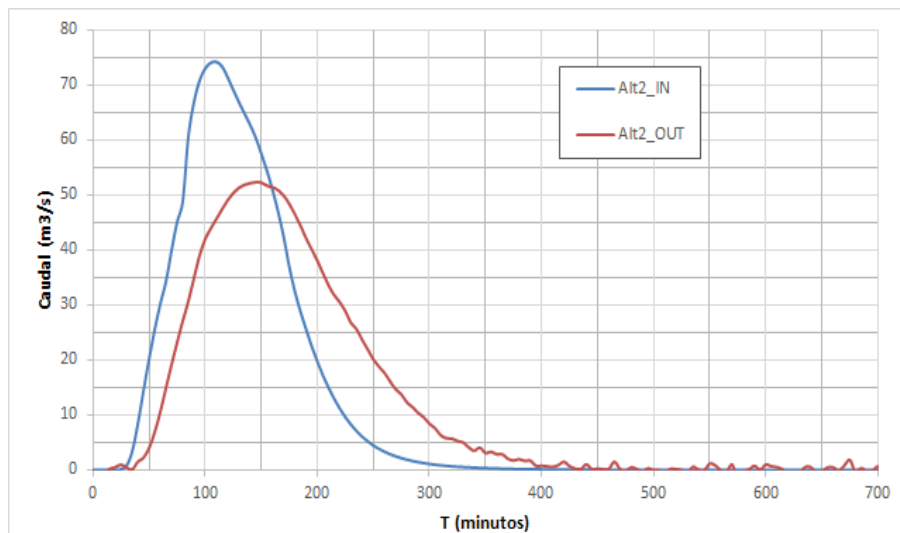
En la Figura 202 a la Figura 204 se representan los hidrogramas para el sector de Torca.

Figura 202 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 1.



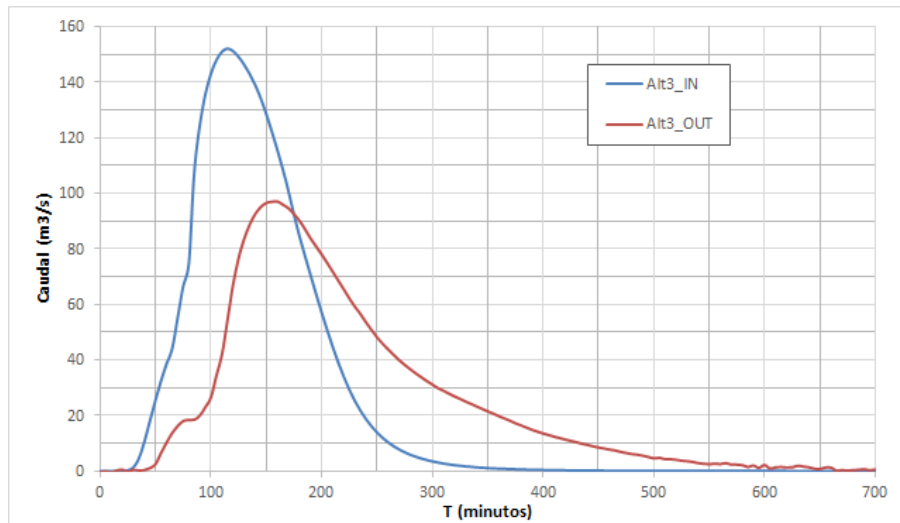
Fuente: WSP; 2020

Figura 203 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 2.



Fuente: WSP; 2020

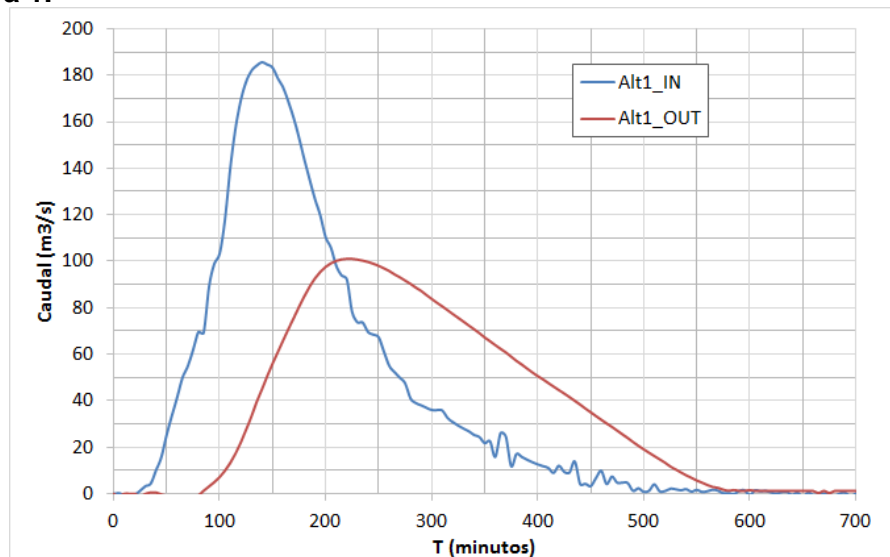
Figura 204 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Torca – Alternativa 3.



Fuente: WSP; 2020

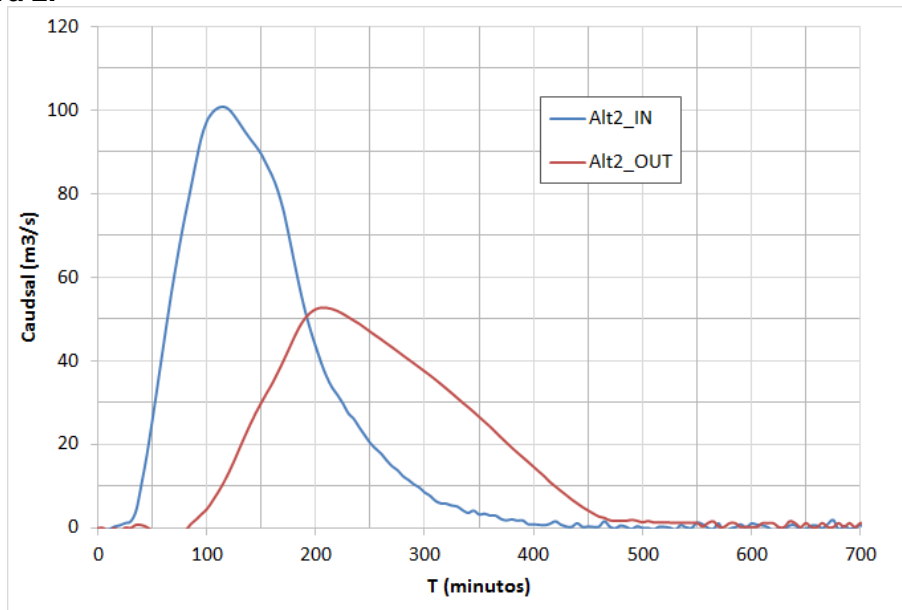
Para el sector de Guaymaral, los hidrogramas de atenuación son los que se muestran en la Figura 205 a la Figura 207. Para esta zona, se ha contemplado como caudales de ingreso los correspondientes a los caudales de salida de las tres estructuras de cruce previstas para la Autopista Norte y los caudales aferentes a las cuencas de drenaje del sistema de alcantarillado propuesto para el costado occidental de esta vía.

Figura 205 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 1.



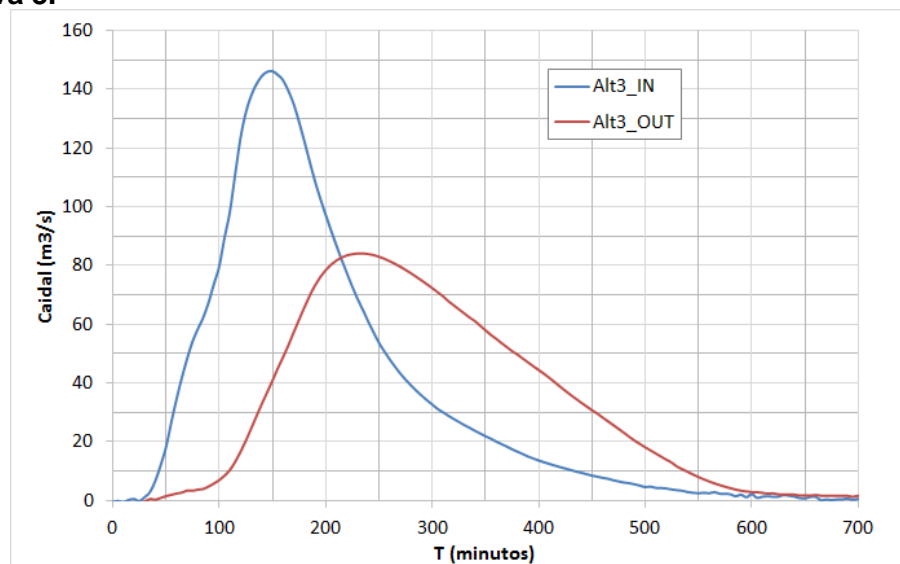
Fuente: WSP; 2020

Figura 206 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 2.



Fuente: WSP; 2020

Figura 207 Hidrograma de entrada y salida en el Humedal, sector Guaymaral – Alternativa 3.



Fuente: WSP; 2020

Ahora, con respecto a los niveles de inundación generados al interior de cada sector del Humedal, a partir del modelamiento hidráulico, son los que se presentan en la Tabla 51.

Tabla 51 Niveles de inundación y volumen de almacenamiento en el Humedal

Humedal	Elevación media de lámina de agua (msnm)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sector Torca	2549.49	2548.60	2549.11

Humedal	Elevación media de lámina de agua (msnm)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sector Guaymaral	2548.83	2547.85	2548.36
	Volumen de almacenamiento inicial (x10 ⁶ m ³)		
Sector Torca	444.271		
Sector Guaymaral	233.262		
Total	677.533		
	Volumen de almacenamiento con obras (x10 ⁶ m ³)		
Sector Torca	399,716	140,043	444,718
Sector Guaymaral	827,051	534,861	664,646
Total	1,226,767	674,903	1,109,364

Fuente: WSP; 2020

Con respecto a los volúmenes de almacenamiento de los que se dispone en la actualidad, el incremento esperado con las obras de adecuación geomorfológica es de 549.234 m³ en la Alternativa 1 y de 431.831 m³ para la Alternativa 3, mientras que para la Alternativa 2, los niveles de inundación serían inferiores a los que se alcanzan actualmente, debido principalmente a que gran parte del caudal generado es desviado hacia la estación elevadora del Río Bogotá, lo que podría significar que una reducción de las obras de reconformación en el Humedal, hecho que estaría en contradicción con respecto a los solicitado por el Decreto 088 de 2017, en cuanto a la obligatoriedad de ejercer obras de restauración ecohidráulica de este cuerpo de agua, dentro de los límites permisibles, esto es dentro del perímetro que demarca la ZMPA.

De la Tabla anterior se evidencia que los niveles de inundación generados al interior del cuerpo del Humedal a raíz de los aportes hidrológicos del sistema de drenaje conformado hacia el futuro, son los que definen el almacenamiento esperado, de esta manera, la Alternativa 2, es la que menores volúmenes de agua amortigua, tanto en el sector de Torca como en Guaymaral.

Para el sector Guaymaral en las Alternativa 1, de igual manera presenta mayor volumen de almacenamiento, debido a que en este escenario se consideran menores áreas de reconformación y no se proponen desvíos de parte de la escorrentía, como si ocurre en la Alternativa 3.

Se debe tener en cuenta que la estimación de los caudales a través de los colectores que descargan al río Bogotá, se obtuvo a partir de los procedimientos de cálculo definidos por la Normas NS-085 para el dimensionamiento de redes de alcantarillado, con un período de retorno de 10 años, y no aplica los criterios hidrológicos definidos para la totalidad de la cuenca Torca-Guaymaral, como si ocurre para el modelamiento hidrológicos de las descargas que se hacen a través del Canal Guaymaral o la Estación de Bombeo de la Alternativa 2.

De la tabla anterior se observa que la Alternativa 1 es la que genera la mayor elevación cota de inundación en el sector Torca del Humedal, como en el sector de Guaymaral. La Alternativa 2, teniendo en cuenta que implica desviar un caudal desde el Canal Torca hacia el río Bogotá, para evitar su ingreso al Humedal, genera obviamente una reducción

de niveles en los dos sectores, pero que no supera los 51 cm si se compara con la Alternativa 1 y de solo 34 cm con respecto a la Alternativa 3.

Para la Alternativa 3, la cual tiene en cuenta la adecuación total del Humedal, los niveles que alcanza el Humedal en el sector de Torca son 17 cm por debajo de la Alternativa 1 de 34 cm para la Alternativa 2. A pesar de lo anterior, esta solución propone ventajas adicionales encaminadas a la recuperación ecosistémica, que incorpora adecuaciones geomorfológicas, que coadyuvan a mejorar también la capacidad amortiguadora de este sector.

Hacia la zona del sector Guaymaral, al occidente de la Autopista Norte, el nivel más alto esperado ocurre con la Alternativa 1 (2548.83 msnm), mientras que en para la Alternativa 2, ocurre el más bajo, con 2547.85 msnm. La Alternativa 3 presenta un valor de 0.60 m por encima de la más baja, y de 0.50 por debajo de la Alternativa más alta, lo que la hace favorable desde el punto de vista de las opciones que contemplan el empleo del Humedal, como cuerpo receptor de todo el sistema de drenaje de la cuenca, incluyendo la totalidad de los aportes del Canal Torca.

En cuanto a los volúmenes de amortiguación del sistema lentic, el volumen de almacenamiento para la condición de niveles establecidos en la fase de Diagnóstico, es de 444.271 m³ para la zona de Torca y de 233.262 m³ para la zona de Guaymaral, con lo cual la capacidad total actual del sistema era de 677.533 m³. Las adecuaciones propuestas en cada alternativa incrementan esta capacidad en 589.234 m³ para la Alternativa 1 y en 512.846 m³ para la Alternativa 3. Es importante notar que para la Alternativa 2, no se requeriría el aumento en la capacidad de almacenamiento más allá de lo sugerido para el sector Guaymaral, ya que los caudales de ingreso al sistema, dada la reducción planteada por el desvío del caudal de Torca, implican una menor demanda en la capacidad de retención. A pesar de que esta opción la hace ventajosa, no así tanto las inversiones que requiere su implementación del sistema del Interceptor, el pondaje y la estación elevadora que requiere.

En cuanto a los caudales que se están vertiendo al Río Bogotá, es de aclarar que con excepción de la Alternativa 1, las demás tienen previsto realizar entregas al Río Bogotá además de la existente naturalmente a través del Canal Guaymaral, como se resume en la Tabla 52.

Tabla 52 Caudales aferentes al río Bogotá por Alternativa

Alternativa	Tipo de efluente	Caudal (m ³ /s)	Período de Retorno (años)
Alternativa 1	Canal Guaymaral	104.5	100
Alternativa 2	Sistema de bombeo mediante tornillos de Arquímedes	12.9	100
	Canal Guaymaral	72.4	100
Alternativa 3A	Interceptor expreso a gravedad por la Avenida Boyacá. Contempla el drenaje del sector de San José de Bavaria	21.2	10
	Canal Guaymaral	84.4	100

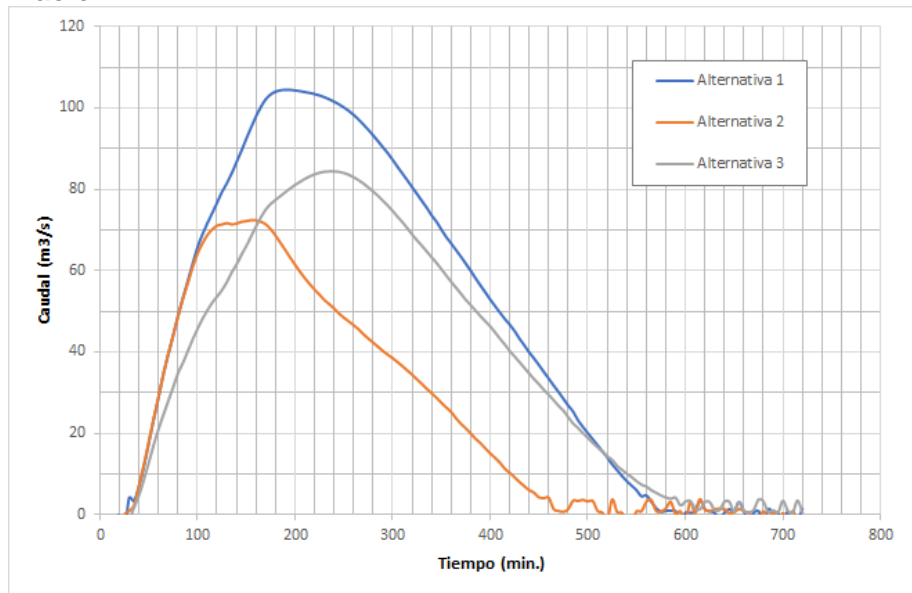
Alternativa	Tipo de efluente	Caudal (m ³ /s)	Período de Retorno (años)
Alternativa 3B	Colector a gravedad por la Avenida Arrayanes, desde la Avenida Boyacá hasta el río Bogotá. Contempla el drenaje del sector de San José de Bavaria.	17.5	10
	Colector por la Avenida Boyacá, sector norte de RVDH	7.01	10
	Canal Guaymaral	84.4	100

Fuente: WSP; 2020

Al efectuar una suma aritmética simple de los caudales aportados por la cuenca Torca-Guaymaral a la cuenca del río Bogotá para cada una de las alternativas analizadas para la creciente de diseño se estima en 104.5 m³/s en el efluente de la Alternativa 1, de 85.3 m³/s en la Alternativa 2, de 105.6 m³/s para la Alternativa 3A y finalmente de 108.91 m³/s para la Alternativa 3B. Lo anterior significa que a pesar de que la Alternativa 2 es la que logra una mayor amortiguación del efluente, su implementación requiere una compleja intervención de una estación elevadora y un pondaje de gran capacidad en la orilla izquierda del río Bogotá. En lo que respecta a la Alternativa 3B, el caudal aportado se incrementa en 4.41 m³/s el caudal de la condición de aporte total de la cuenca incorporando las obras de adecuación. Mientras tanto para la Alternativa 3A el incremento alcanzado es de solo 1.1 m³/s, lo cual la convierte en la de mejor comportamiento dado que a la vez que permite la restauración de la totalidad del Humedal, como lo establece el Decreto 088 de 2017, se logra el alivio a través de un colector expreso que a través del corredor de la Avenida Boyacá, drena la totalidad del sector de San José de Bavaria, evitando así las afectaciones por encharcamientos e inundaciones de las que adolece este sector de la cuenca urbanizada.

Es de notar que las adecuaciones propuestas y en especial las del Canal Guaymaral, genera una mayor eficiencia hidráulica a todo el sistema hídrico, lo cual implica un incremento en los caudales de salida del sistema amortiguado, para lo cual se prevé mantener el control hidráulico establecido en el sitio de salida través del box culvert en el cruce con la vía de acceso al sector de Guaymaral. Esta misma estructura tendrá la función de optimizar la capacidad de amortiguación en el Humedal y controlar el caudal entregado al Río Bogotá, para evitar el conflicto que desde el punto de vista ambiental se pudiese generar, con las obras de adecuación del Río que se ejecutan actualmente en ese sector. Los efluentes esperados en cada una de las alternativas son los que se presentan en la Figura 208.

Figura 208 Hidrograma de caudales en la desembocadura al Río Bogotá - Reconformación



Fuente: WSP; 2020

Esto indica que las obras de reconformación y adecuación al interior del humedal permiten garantizar un leve incremento del caudal entregado al río Bogotá, el cual es de aproximadamente 89 m³/s, comparado con el caudal de 85 m³/s generado en la condición actual, para un Tr de 100 años, para la Alternativa 3. En el caso de la Alternativa 1, el caudal efluente de la cuenca será de 105 m³/s, mientras que en la Alternativa 2 este valor es de 72 m³/s, sin incluir el caudal que será bombeado desde el pondaje de la margen izquierda del Río, a través de la estación elevadora.

Con referencia a los efluentes al río Bogotá que hacen parte la escorrentía de la zona norte, hay que comentar que la Alternativa 2 tiene previsto descargar un caudal de 12.9 m³/s a través de la estación elevadora, la Alternativa 3A prevé una descarga de 21.2 m³/s a través de un colector a gravedad expreso por la Avenida Boyacá y la ALO, mientras que en la Alternativa 3B se estima un caudal de 17.5 m³/s a través de un colector a gravedad por la Avenida Arrayanes y una segunda descarga hacia el norte de la RVDH, de 7.01 m³/s. Estas descargas al río requerirán del permiso de vertimiento ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

6.5 OTRAS OBRAS DE DRENAJE

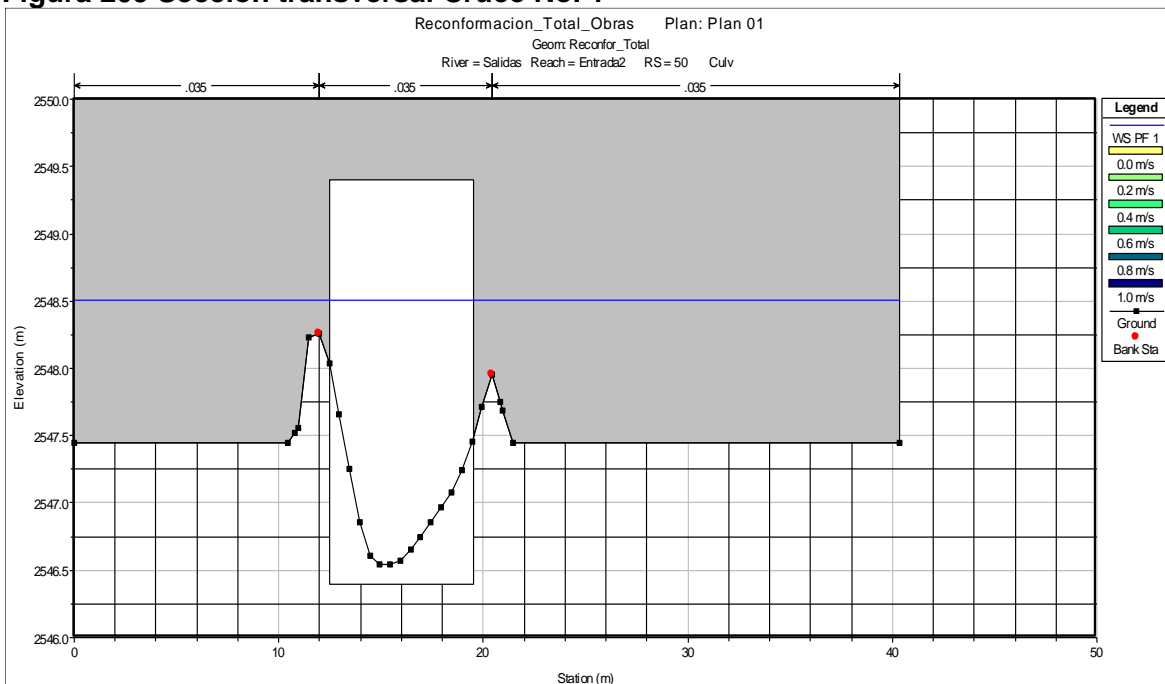
6.5.1 Propuestas de solución para cruce de la Autopista Norte

En lo que respecta a las obras de cruce bajo la Autopista Norte y dadas las condicionantes establecidas por la Red Matriz Tibitoc-Casablanca localizada bajo el separador de esta vía, se hace necesario que las nuevas obras mantengan el mismo trazado y elevación vertical de las obras actuales, reemplazo que también está limitado por el ancho disponible para su implementación, el cual de igual manera está definido por la desviación vertical previsto por la Red Matriz para los cruces actuales.

Es de resaltar que las propuestas de reconfiguración de humedales, adecuación de quebradas y del corredor ecosistémico hacia los Cerros Orientales, contemplan la necesidad de garantizar la adecuada conectividad hidráulica entre los dos sectores del humedal al oriente y occidente de la Autopista Norte, por lo que las obras de cruce actual deberán mejorar su condición de capacidad de flujo. Es de tener en cuenta que estas obras, a pesar de que mejoran el flujo de agua entre los humedales, no evitan que la inundación de la rasante sea un fenómeno que se siga presentando, por lo que será necesaria hacia el futuro la elevación de la rasante de esta vía.

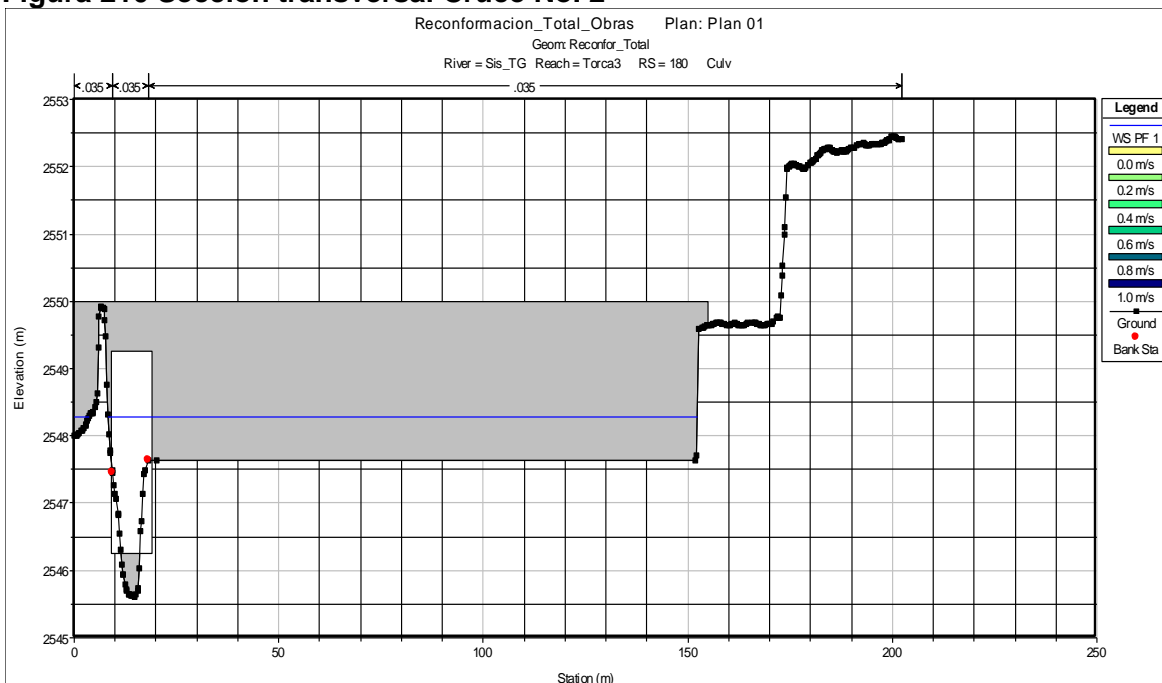
Bajo las anteriores limitaciones la sección de las obras que se prevé serán de una sección de 7.0x3.00 m, en los tres sitios de cruce, como se ilustra en la Figura 209, la Figura 210 y la Figura 211.

Figura 209 Sección transversal Cruce No. 1



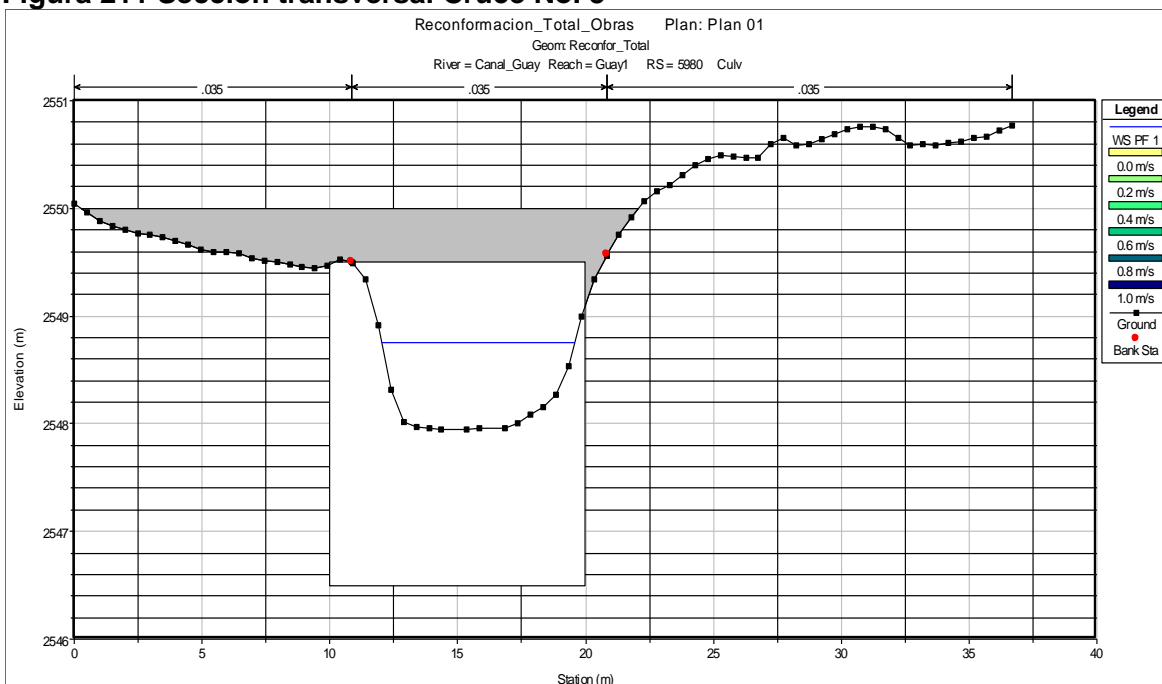
Fuente: WSP a partir de software HEC-RAS 5.05, 2019.

Figura 210 Sección transversal Cruce No. 2



Fuente: WSP a partir de software HEC-RAS 5.05, 2019.

Figura 211 Sección transversal Cruce No. 3



Fuente: WSP a partir de software HEC-RAS 5.05, 2019.

Un análisis particular requirió las obras necesarias para el cruce de la Autopista Norte, debido a que, en la actualidad, ocasionan control del flujo hacia la zona del sistema Guaymaral (Canal y Humedal). La propuesta de adecuación de estas obras de cruce deberá evaluarse de manera conjunta con el manejo que el futuro concesionario de la

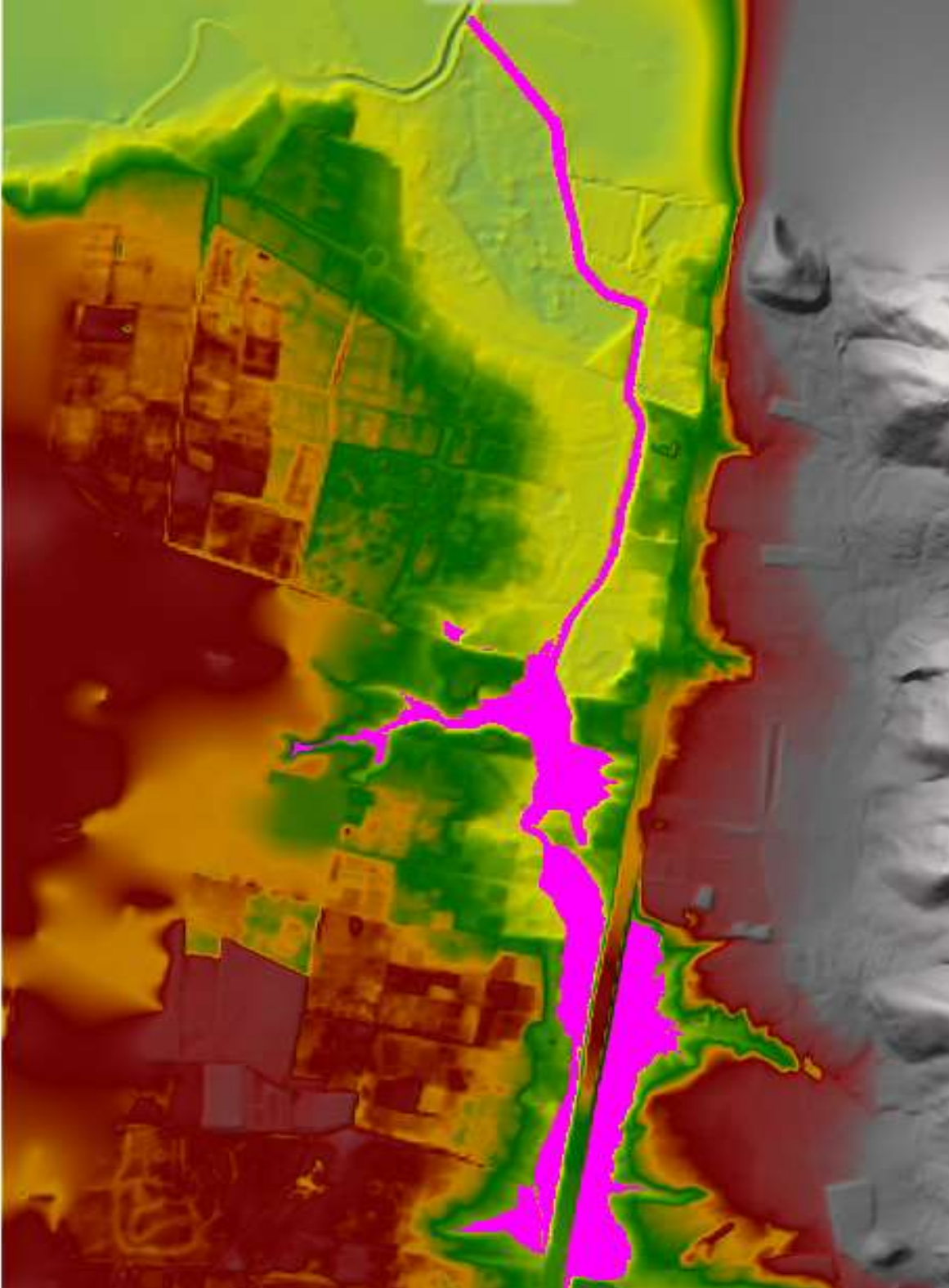
Autopista Norte (Agencia Nacional de Infraestructura y Distrito Capital) plantee para el drenaje de esta infraestructura. Esta solución debe incorporar el manejo de conectividad ecosistémica requerida, con miras a la restauración del sistema hídrico y su función conectora de la Reserva Van der Hammen y los Cerros Orientales de la Sabana. Un determinante general para este proyecto de infraestructura serán los niveles máximos del humedal en el sector de Torca y que para las condiciones actuales tiene un valor que varía entre 2549.96 mnsnm en la desembocadura del canal Torca (Jardines de Paz), y 2549.49 msnm al final del humedal (Acceso al Club Deportivo Los Millonarios).

Este escenario de simulación consideró implementar un nivel variable en la rasante de la Autopista Norte a una condición de la futura rasante de la vía elevada, mediante un terraplén, que inicia en el sector de la Calle 190 y culmina en la Calle 245. Esta rasante varía, desde el nivel actual de la Autopista Norte en el sector de la calle 190 (2550.0 msnm aproximadamente), hasta un valor máximo de 2556.0 msnm hacia la zona media del Humedal (Anexo 3. Modelos Hidráulicos).

Este escenario de modelamiento se llevó a cabo realizando la modificación del MDT, mediante la creación de una superficie que corresponde a la rasante vial futura estimada para la Autopista Norte, con base en información de prefactibilidad de la ANI. Los resultados de este modelo son los que se presentan en la Figura 212, en la cual se muestra las condiciones hidráulicas de nivel máximo del sistema hídrico de la lámina de inundación, especialmente para el sector al oriente de esta vía.

Igualmente es de anotar que la sobras de cruce hidráulico propuesta en este análisis para garantizar la continuidad del flujo hidrológico en el Humedal, deben estar acompañadas de las consideraciones de conexión ecosistémica, según lo cual las obras que se van a establecer como definitivas para estos cruces, deben considerar los pasos de fauna como elementos vinculantes de conexión biótica entre el humedal y las quebradas que fluyen hacia este cuerpo de agua, sirviendo de conectores del sistema Río Bogotá – Humedal – Cerros Orientales. Estos elementos de conexión deberán seguir las recomendaciones establecidas por el Plan de Manejo Ambiental del Humedal.

Figura 212 Resultados de modelamiento hidráulico de reconfiguración, con la elevación de la Autopista Norte en el MDT



Fuente: WSP a partir de software HEC-RAS 5.05, 2020.

Este escenario implica un ascenso en los niveles del Humedal en el sector Torca, que varía entre 20 a 35 cm, sobre elevación que de igual manera está contenida dentro de los límites definidos para la reconformación para esta zona del Humedal.

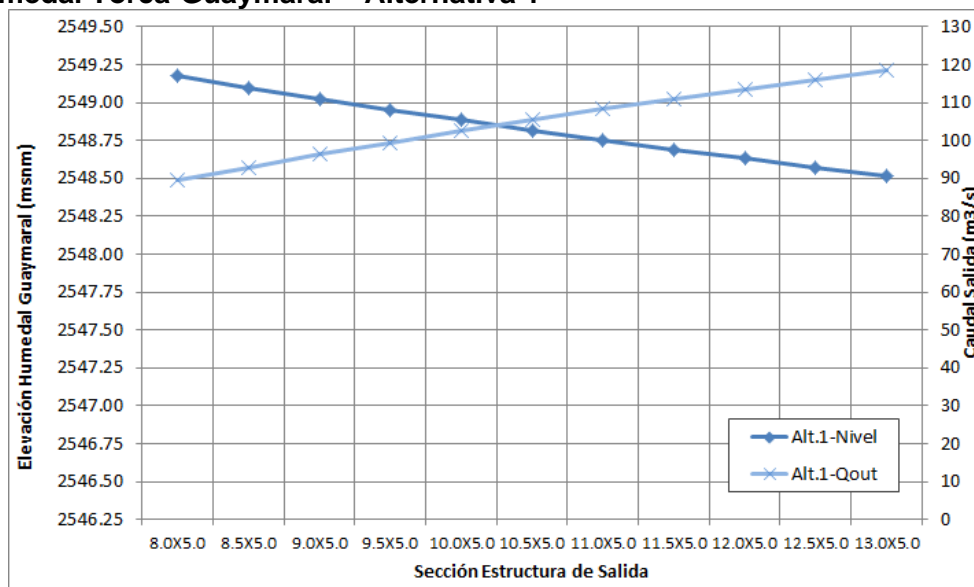
Es importante mencionar que estas estructuras de cruce de la Autopista norte están propuestas para la Alternativa 1, Alternativa 2, Alternativa 3A y Alternativa 3B.

6.5.2 Estructura de salida del Humedal

La evaluación actual de la estructura de salida del humedal existente sobre la vía a Guaymaral realizado durante los estudios hidrológicos del Producto 4, determinó que para el evento de diseño con Tr100 años, el box culvert es rebosado generando sobre elevaciones en el sector de Humedal que condicionan las entregas del sistema proyectado de alcantarillado. Con el objeto de evaluar el dimensionamiento de la estructura de salida que deberá reemplazar la existente, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, que compara los niveles generados aguas arriba de la estructura con respecto a la descarga que fluye hacia el río Bogotá a través del Canal Guaymaral.

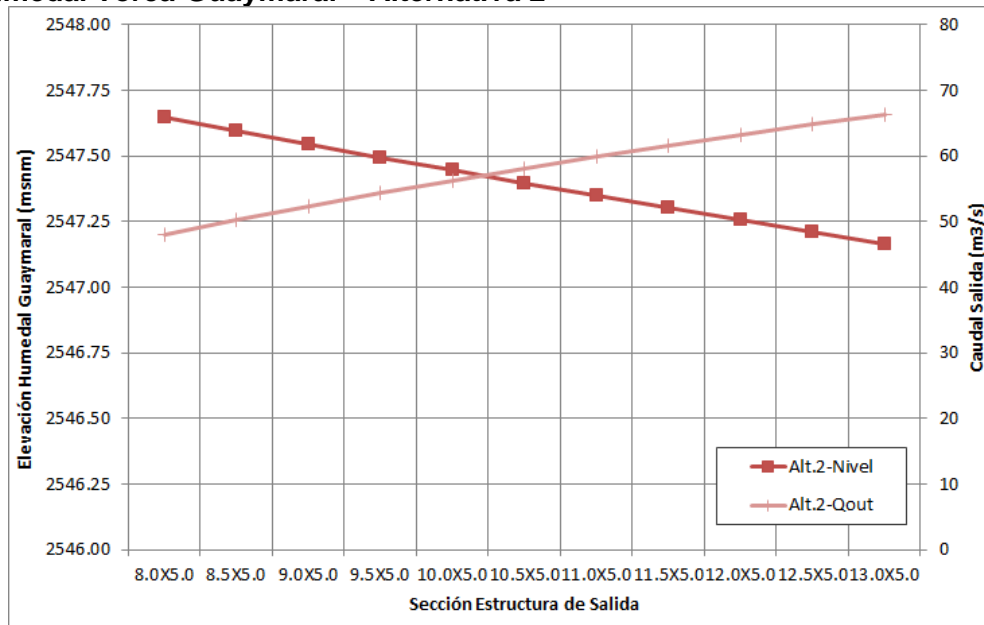
Como se expuso en el aparte que describió la Función Objetivo durante el planteamiento de las alternativas de drenaje, el dimensionamiento de la sección busca generar la menor lámina de agua de control agua arriba, garantizando el máximo almacenamiento de agua y que a su vez genere la menor descarga hacia la desembocadura en el río Bogotá. Para ello se llevaron a cabo tránsitos de creciente a través del Humedal, empleando las curvas de capacidad generada para cada Alternativa de reconformación geomorfológica en el Humedal. La Figura 213 a la Figura 215 se muestra los resultados de esta evaluación de sensibilidad.

Figura 213 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 1



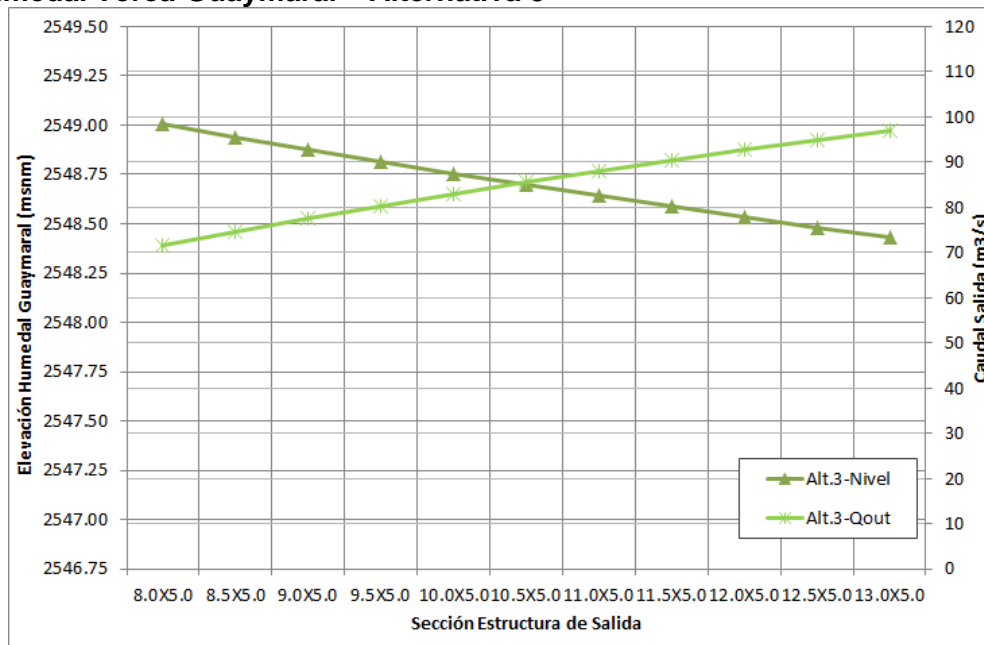
Fuente: WSP, 2020.

Figura 214 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 2



Fuente: WSP, 2020.

Figura 215 Evaluación de niveles y caudales de descarga en la estructura de salida del Humedal Torca-Guaymaral – Alternativa 3



Fuente: WSP, 2020.

Las figuras anteriores indica que el empleo de una estructura de mayor sección permite obviamente una mayor evacuación de caudal y a su vez reflejado en niveles menores en el humedal. Una condición de mayor restricción en la estructura por lo tanto, también elevará los niveles aguas arriba. De acuerdo a lo anterior se observa que la sección de 10.0x5.0m es la que podría generar las mejores condiciones de garantizar

almacenamiento aguas arriba, con el menor caudal efluente, con lo cual se confirma el tipo de estructura seleccionado para la salida del Humedal.

6.5.3 Sistema de vallados

Los vallados dentro del POZ Norte hacen parte del sistema de drenaje del área, estos fueron construidos por los pobladores de la zona para drenar los lotes (estableciendo una forma rectilínea para los mismos) y mantener agua en sus predios durante las épocas de verano. Actualmente, estos cuerpos de agua sirven de recolectores de aguas lluvias. Debido a la importancia que conllevan estos cuerpos de agua y a las formaciones vegetales asociadas a los mismos, útiles como corredores ecológicos, se clasificaron los vallados en dos tipos (primarios y secundarios), tomando como referencia la información recopilada por la Fundación Humedal Torca y Guaymaral (FHTC). Los vallados Primarios corresponden a la red de drenajes que presentan mayor capacidad de carga hídrica dentro del área y que vierten sus aguas en canales o humedales dentro del área. Para el POZ Norte se han identificado 5 (Vallado Arrayanes, Sistema Bosque de la Lechuza, Vallado el Jardín, Guaco y Guaymaral) (Decreto 088 de 2017).

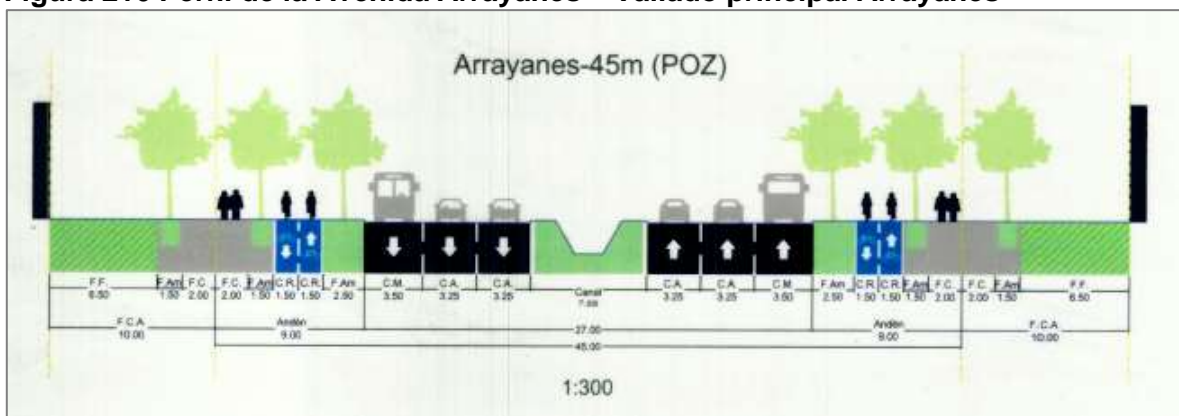
Estos vallados contarán con un área de aislamiento de 5 m a cada lado del eje central de su cauce artificial salvo de aquellos casos que queden especificados en el separador de las vías en cuyo caso el aislamiento será de 3.5 m del eje central. La superficie del cauce se mantendrá en condiciones de naturalidad y permeabilidad.

Los vallados asociados a la Avenida El Jardín y la Avenida Arrayanes deberán ser ajustados al separador central de dichas vías de acuerdo a los perfiles especificados en el Decreto 088 de 2017.

Los vallados de la Avenida Guaymaral, Avenida Las Villas y la Avenida Tibabita deberán ubicarse en el control ambiental del costado sur de la misma en las áreas en las que se vea afectado por su construcción.

En la Figura 216 se presenta un perfil de disposición del Vallado de la Avenida Arranes en el perfil vial definido.

Figura 216 Perfil de la Avenida Arrayanes – Vallado principal Arrayanes



Fuente: Decreto 088 de 2017.

Siguiendo las recomendaciones del Decreto 088 de 2017, y dadas las condiciones de permeabilidad de la zona, se ha definido que estos sistemas deberán adecuarse a la sección o perfil establecido en cada arteria vial en donde se relocalizarán. Teniendo en cuenta la escasa capacidad de almacenamiento de estos sistemas, su uso como elementos principales de drenaje estará limitado, por lo que su empleo se propone como recolectores de la escorrentía local de las vías adyacentes. La capacidad de estos deberá evaluarse según las condiciones de diseño geométrico de la vía, con respecto a la localización de las redes de alcantarillado pluvial, asegurando que no ocurran remansos hacia la calzada vial.

A este respecto es necesario considerar que los vallados de la Avenida Arrayanes, Avenida Guaymaral y Avenida El Jardín, se mantienen como sistemas principales de vallados, operando a manera de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que, trazados longitudinalmente a la vía, reciban parte de la escorrentía generada sobre esta y permitan su amortiguamiento antes de su descarga a colectores troncales o al cuerpo del Humedal.

6.5.4 Manejo de SUDS

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible son elementos que sirven para el control de la escorrentía hacia los cuerpos de agua receptores. Dentro de los diseños de alcantarillado pluvial de las actuaciones urbanísticas, los predios sujetos a Planes Parciales y a licencias de urbanización deberán garantizar que el sistema urbano de drenaje sostenible retenga como mínimo el 30% de las aguas lluvias en el interior del área neta urbanizable del desarrollo calculado con período de retorno de 25 años o de acuerdo con la norma que expida la EAAB. Del 30% de retención obligatoria dentro del área neta urbanizable, por lo menos 10% deberá hacerse al interior de las áreas útiles y 10% deberá hacerse en las cesiones para vías, parques y zonas verdes, dejando el restante 10% en cualquier área dentro del área neta urbanizable del proyecto urbanístico.

En cuanto al sistema de vías (desde V-0 a V-3) y parques lineales deberán propender por la retención y conducción de su escorrentía a través de tipologías tales como alcorques sumideros, cunetas verdes, jardines de bio-retención, etc., según las recomendaciones de diseños de las obras de carga general.

6.5.5 Otras áreas de importancia amortiguadora en el Humedal

La franja de inundación establecida a partir del análisis hidrológico de la zona de estudio, demarca algunas de las áreas aledañas al PEDH Torca-Guaymaral, como zonas de alto riesgo de inundación o incluso zonas de proyección de los ramales del humedal, dadas sus condiciones abióticas que le otorgan funciones de pondaje y de amortiguación de la dinámica hídrica del mismo. Así mismo, dentro de los factores determinantes para considerar áreas de ampliación, se tiene en cuenta la factibilidad normativa que pueda respaldar su consideración.

A partir de esto, y dentro de la proyección de un escenario deseado a futuro, se plantean algunas áreas, como potenciales a tener en cuenta para la posible ampliación de los límites del PEDH Torca-Guaymaral. En la Figura 217, se demarcan las áreas propuestas y a continuación se describen de manera general sus características.

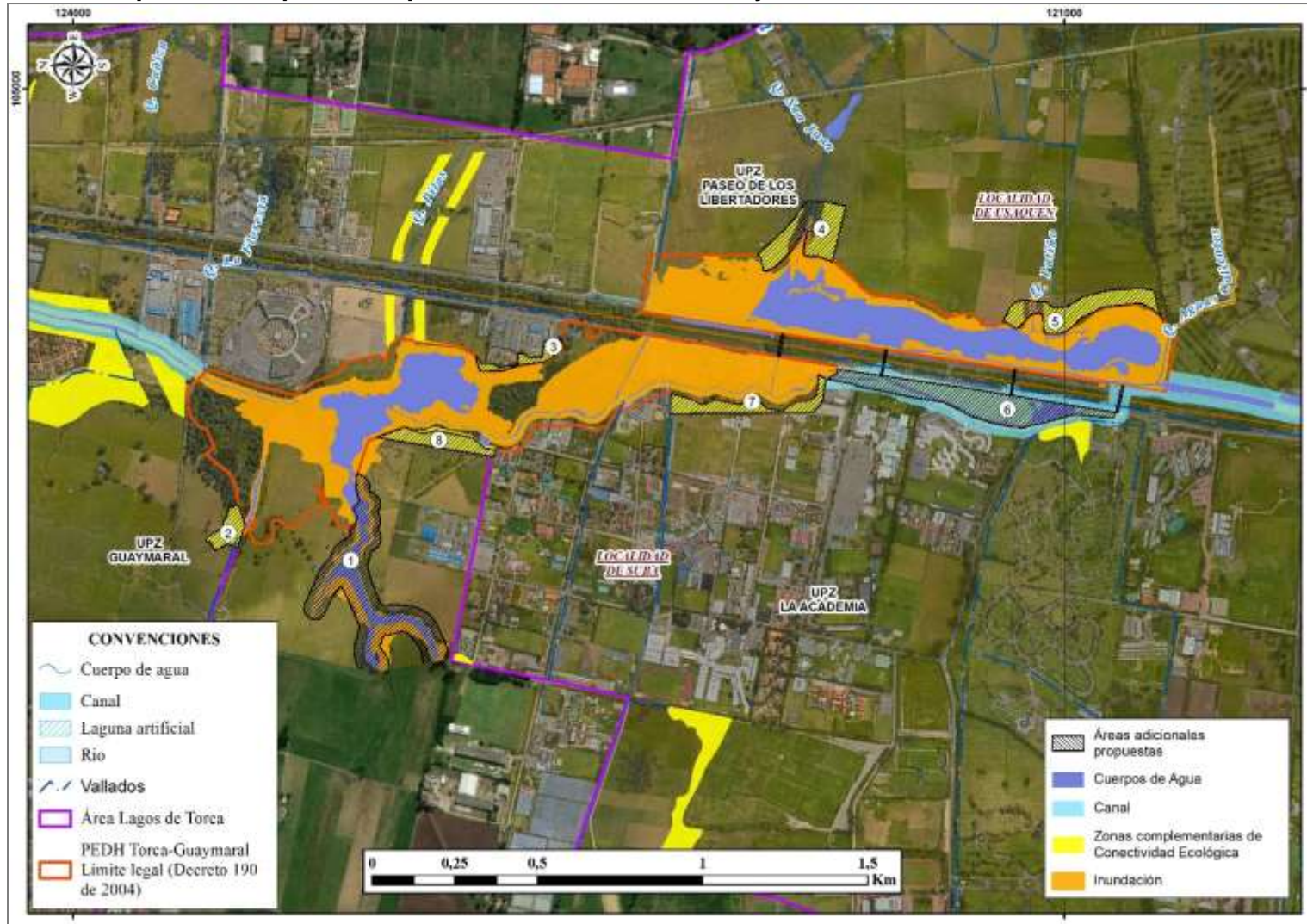
Son consideradas 8 áreas como potenciales para la ampliación del humedal, de las cuales se toman en cuenta zonas reconocidas como áreas complementarias para la conectividad según el Decreto 088 del 2017, localizadas alrededor del Parque Ecológico (zona 2, 3, 4, 5, 7 y 8 de la figura). Así mismo se consideran áreas que presentan zonas de pondaje y espejos de agua, con un área de ronda de 30 metros a cada lado, que hacen parte del ramal del humedal extendido hacia los linderos de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen (zona 1 de la figura). Finalmente, se considera la zona 6 de la figura, referida al canal Guaymaral que recibe las aguas provenientes del sector Torca, las cuales pasan por box culverts ubicados debajo de la Autopista Norte, dicho canal es reconocido dentro del Decreto 088 del 2017 como importante para la conexión hídrica del sistema.

El sector 6, a pesar de que está contenido dentro del CER del Canal Guaymaral, conviene incorporarlo dentro de la ZMPA del Humedal, dado que sobre este franja ocurre la relación de conectividad entre los costados oriental y occidente del Humedal, la cual actualmente ocurre de manera hídrica a través de obras hidráulicas y la franja ecosistémica conformada por el separador de la Autopista Norte.

Dentro de las áreas complementarias para la conectividad, las zonas demarcadas como 4 y 5 en la Figura 217, se refieren a los deltas de las quebradas San Juan y Patiño, las cuales llegan directamente al sector Torca, y presentan unas condiciones biofísicas que permiten el explayamiento de las aguas en picos máximos de precipitación. Así mismo, son áreas de importancia ecológica al representar áreas de ecotono entre ecosistemas riparios y ecosistema de humedal, presentando reportes destacados de especies endémicas y en categoría de amenaza, así como hábitats potenciales para anidación de especies de aves, como se sustenta en la caracterización diagnóstica del Plan de Manejo Ambiental.

Las demás áreas complementarias como la 3, 8 y 7, son áreas susceptibles a inundación en eventos de máximas precipitaciones, según los reportes de los eventos documentados en la sabana y de los análisis geomorfológicos del Humedal así que incluirlas como áreas potenciales para la ampliación del humedal entraría como estrategia a considerar para la reducción y manejo de los riesgos ambientales en el sector.

Figura 217. Áreas potenciales para la ampliación del PEDH Torca Guaymaral



Fuente: WSP, 2019.

6.6 COSTOS Y PRESUPUESTOS APROXIMADO DE ALTERNATIVAS

Una vez desarrollado el planteamiento de las tres alternativas, se presenta en la Tabla 53 el presupuesto de las redes de alcantarillado pluvial, en la Tabla 54 el presupuesto de la reconfiguración de Humedales para las tres alternativas, en la Tabla 55 se muestra el presupuesto de la adecuación del canal Guaymaral y en la Tabla 56 se presenta el presupuesto de la adecuación propuesta de todas las quebradas. Finalmente de la Tabla 57 a la Tabla 59 se muestra el presupuesto desagregado de acuerdo con las áreas de adecuación geomorfológica de humedales identificados de la Figura 218.

Tabla 53 Presupuesto de Redes de Alcantarillado Pluvial

ALCANTARILLADO PLUVIAL		ALTERNATIVA 1. (Colectores al humedal Guaymaral.)	ALTERNATIVA 2. (Colector expreso Torca por Av Arrayanes + Poudaje + EBALL + Colectores a humedal Guaymaral.)	ALTERNATIVA 3A. (Sistema de colectores al humedal GUAY_SUGERIDA)	ALTERNATIVA 3B. (Drenaje expreso san Jose de Bavaria hasta Av Arrayanes a Rio de Bogotá + Colectores a humedal Guaymaral)
COSTOS DIRECTOS	% (índice)	\$ 112,239,104,680	\$ 517,356,304,801	\$ 150,171,630,201	\$ 132,650,894,267
AIU	30%	\$ 33,671,731,404	\$ 155,206,891,440.34	\$ 45,051,489,060	\$ 39,795,268,280
CD+CI		\$ 145,910,836,084	\$ 672,563,196,241	\$ 195,223,119,262	\$ 172,446,162,548
AMBIENTAL	7.00%	\$ 7,856,737,327.61	\$ 36,214,941,336.08	\$ 10,512,014,114.10	\$ 9,285,562,598.72
SOCIAL	2.00%	\$ 2,244,782,093.60	\$ 10,347,126,096.02	\$ 3,063,432,604.03	\$ 2,653,017,885.35
PMT	3.50%	\$ 3,928,368,663.81	\$ 18,107,470,668.04	\$ 5,256,007,057.05	\$ 4,642,781,299.36
CD+CI+GESTIONES		\$ 159,940,724,169	\$ 737,232,734,342	\$ 213,994,573,037	\$ 189,027,524,331
INTERVENTORIA	7.00%	\$ 11,195,850,691.85	\$ 51,606,291,403.91	\$ 14,979,620,112.59	\$ 13,231,926,703.18
TOTAL ALTERNATIVAS		\$ 171,136,574,861	\$ 788,839,025,746	\$ 228,974,193,150	\$ 202,250,451,034

Fuente: WSP; 2020

Tabla 54 Presupuesto de reconfiguración de Humedales

RECONFIGURACIÓN HUMEDALES		ALTERNATIVA 1 (Un área TORCA + cuatro áreas GUAY)	ALTERNATIVA 2 (cuatro áreas GUAY)	ALTERNATIVA 3 (Todas las áreas_SUGERIDA)
COSTOS DIRECTOS	% (índice)	\$ 26,945,282,482	\$ 23,092,900,977	\$ 39,148,397,788
AIU	30%	\$ 8,083,584,745	\$ 6,927,870,293	\$ 11,744,519,336.40
CD+CI		\$ 35,028,867,227	\$ 30,020,771,270	\$ 50,892,917,124
AMBIENTAL	7.00%	\$ 1,886,169,773.76	\$ 1,616,503,068.39	\$ 2,740,387,845.16
SOCIAL	2.00%	\$ 538,905,649.65	\$ 461,858,019.54	\$ 782,967,955.76
PMT	3.50%	\$ 943,084,886.88	\$ 808,251,534.19	\$ 1,370,193,922.58
CD+CI+GESTIONES		\$ 38,397,027,537	\$ 32,907,383,892	\$ 55,786,466,848
INTERVENTORIA	7.00%	\$ 2,687,791,927.61	\$ 2,303,516,872.45	\$ 3,905,052,679.35
TOTAL ALTERNATIVAS		\$ 41,084,819,465	\$ 35,210,900,765	\$ 59,691,519,527

Fuente: WSP; 2020

Tabla 55 Presupuesto de reconfiguración del canal Guaymaral

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL		ALTERNATIVA 3_T1 + T3 (SUGERIDA)	ALTERNATIVA_T1 + T2 + T3
COSTOS DIRECTOS	% (índice)	\$ 15,789,809,488	\$ 18,434,289,061
AIU	30%	\$ 4,736,942,847	\$ 5,530,286,718
CD+CI		\$ 20,526,752,335	\$ 23,964,575,779
AMBIENTAL	7.00%	\$ 1,105,286,664.19	\$ 1,290,400,234.24
SOCIAL	2.00%	\$ 315,796,189.77	\$ 368,685,781.21
PMT	3.50%	\$ 552,643,332.09	\$ 645,200,117.12
CD+CI+GESTIONES		\$ 22,500,478,521	\$ 26,268,861,911
INTERVENTORIA	7.00%	\$ 1,575,033,496.47	\$ 1,838,820,333.79
TOTAL ALTERNATIVAS		\$ 24,075,512,017	\$ 28,107,682,245

Fuente: WSP; 2020

Tabla 56 presupuesto de la adecuación de las Quebradas

RECONFORMACIÓN QUEBRADAS		ALTERNATIVA (Todas las quebradas) SUGERIDA
COSTOS DIRECTOS	% (índice)	\$ 17,403,454,221
AIU	30%	\$ 5,221,036,266.42
CD+CI		\$ 22,624,490,488
AMBIENTAL	7.00%	\$ 1,218,241,795.50
SOCIAL	2.00%	\$ 348,069,084.43
PMT	3.50%	\$ 609,120,897.75
CD+CI+GESTIONES		\$ 24,799,922,266
INTERVENTORIA	7.00%	\$ 1,735,994,558.59
TOTAL ALTERNATIVAS		\$ 26,535,916,824

Fuente: WSP; 2020

Para ampliar la información relativa a los costos y presupuestos de las diferentes alternativas se encuentran en el producto 12 – presupuesto a nivel de actividades con sus respectivos análisis de precios unitarios – plan de operación de y mantenimiento y en el anexo del presente informe.

Tabla 57 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 1

OBRAS_HUMEDAL GUAYMARAL			ALTERNATIVA 1					
RUBROS PRINCIPALES	UNIDAD	V.UNITARIO	TORCA 1	GUAY 1	GUAY 2	GUAY 3-4	GUAY 5	TOTAL
EXCAVACIONES	m3	\$ 9,943.00	65,054.44	25,784.74	79,611.34	147,215.24		317,665.76
RELLENOS	m3	\$ 25,313.00	4,994.32	8,957.19	31,147.76	21,524.47		66,623.74
TRANSPORTE SOBRAINTES	m3k	\$ 1,165.00	2,498,500.99	700,026.08	2,016,084.93	5,228,736.03		10,443,348.03
ESTRUCTURAS (BOX)	m	\$ 31,636,543.50	-	-	-	200.00	100.00	300.00
REST ECOLOGICA	m2	\$ 2,981.41	34,324.20	15,300.00	13,260.00	27,390.00		90,274.20
REST PAISAJISTICA	m2	\$ 2,885.83	22,882.80	10,200.00	8,840.00	18,260.00		60,182.80
VALOR (Millones COP) Costo directo			\$ 3,852.38	\$ 1,373.69	\$ 3,993.80	\$ 14,561.75	\$ 3,163.65	\$ 26,945.28

Fuente: WSP; 2020

Tabla 58 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 2

OBRAS_HUMEDAL GUAYMARAL			ALTERNATIVA 2					
RUBROS PRINCIPALES	UNIDAD	V.UNITARIO	TORCA 1	GUAY 1	GUAY 2	GUAY 3-4	GUAY 5	TOTAL
EXCAVACIONES	m3	\$ 9,943.00	-	25,784.74	79,611.34	147,215.24	-	262,611.32
RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO DE LA EXCAVACIÓN	m3	\$ 25,313.00	-	8,957.19	31,147.76	21,524.47	-	61,629.42
TRANSPORTE SOBRAINTES	m3k	\$ 1,165.00	-	700,026.08	2,016,084.93	5,228,736.03	-	7,944,847.04
ESTRUCTURAS (BOX)	m	\$ 31,636,543.50	-	-	-	200.00	100.00	300.00
REST ECOLOGICA	m2	\$ 2,981.41	-	15,300.00	13,260.00	27,390.00	-	55,950.00
REST PAISAJISTICA	m2	\$ 2,885.83	-	10,200.00	8,840.00	18,260.00	-	37,300.00
VALOR (Millones COP) Costo directo			\$ -	\$ 1,373.69	\$ 3,993.80	\$ 14,561.75	\$ 3,163.65	\$ 23,092.90

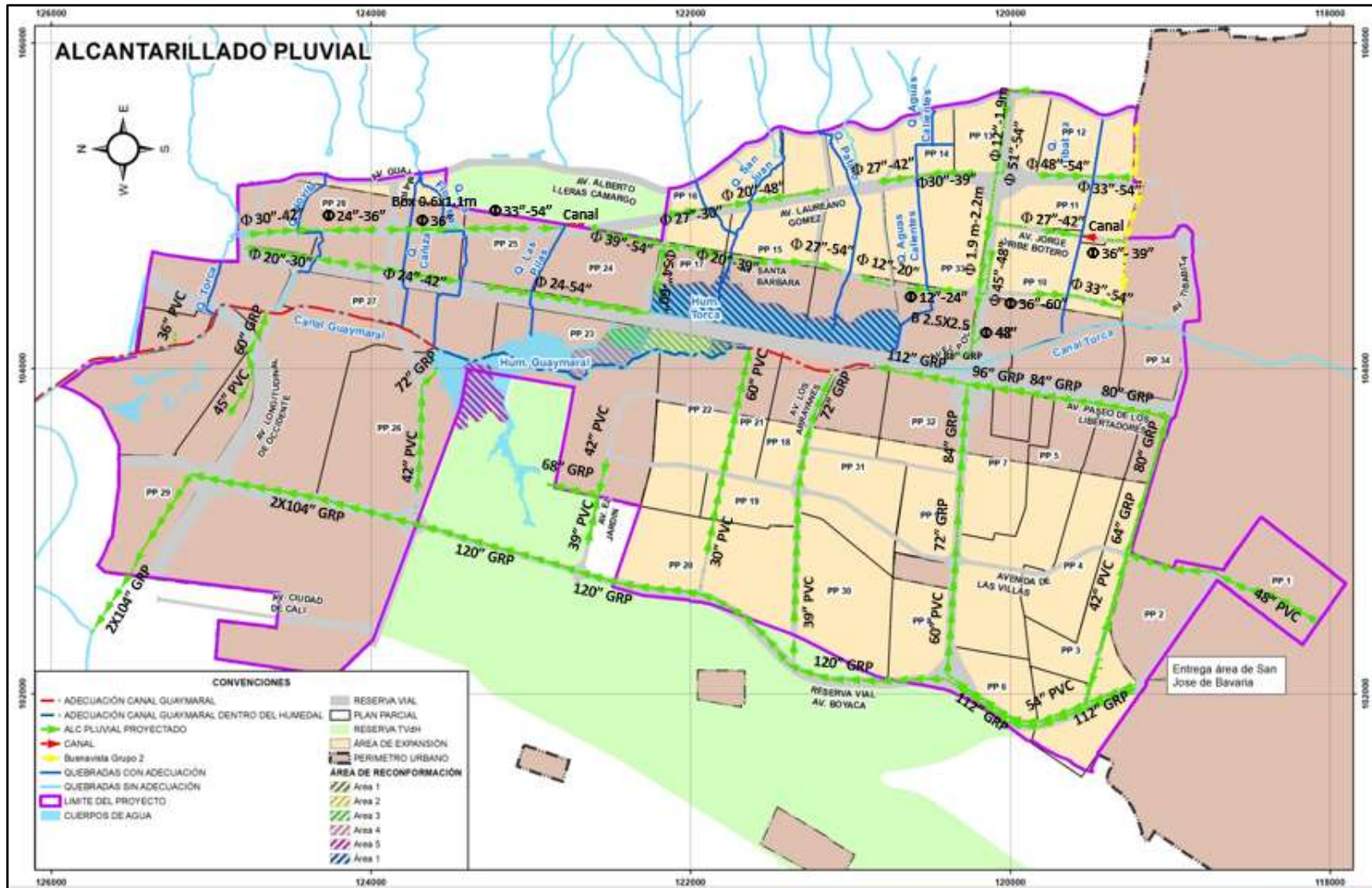
Fuente: WSP; 2020

Tabla 59 presupuesto desagregado de la adecuación de los humedales Alternativa 3

OBRAS_HUMEDAL GUAYMARAL			ALTERNATIVA 3 (SUGERIDA)					
RUBROS PRINCIPALES	UNIDAD	V.UNITARIO	TORCA 1	GUAY 1	GUAY 2	GUAY 3-4	GUAY 5	TOTAL
EXCAVACIONES	m3	\$ 9,943.00	124,337.56	25,784.74	79,611.34	147,215.24	142,585.02	519,533.90
RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO DE LA EXCAVACIÓN	m3	\$ 25,313.00	17,967.55	8,957.19	31,147.76	21,524.47	14,377.86	93,974.83
TRANSPORTE SOBRAINTES	m3k	\$ 1,165.00	4,424,992.42	700,026.08	2,016,084.93	5,228,736.03	5,333,417.86	17,703,257.31
ESTRUCTURAS (BOX)	m	\$ 31,636,543.50	-	-	-	200.00	100.00	300.00
REST ECOLOGICA	m2	\$ 2,981.41	114,414.00	15,300.00	13,260.00	27,390.00	133,110.00	383,474.00
REST PAISAJISTICA	m2	\$ 2,885.83	76,276.00	10,200.00	8,840.00	18,260.00	88,740.00	202,316.00
VALOR (Millones COP) Costo directo			\$ 7,407.45	\$ 1,373.69	\$ 3,993.80	\$ 14,561.75	\$ 11,811.70	\$ 39,148.40

Fuente: WSP; 2020

Figura 218 Adecuación de Humedales Alternativa 3A



Fuente: WSP; 2020

6.7 ANALISIS DE TIPOS DE TUBERIAS PARA ALCANTARILLADO

En este capítulo se presentará el análisis de los tipos de tuberías para Alcantarillado aceptadas y establecidas en las Normas Técnicas NP-027 “Tuberías Para Alcantarillado” y NS-123 “Criterios Para Selección De Materiales De Tuberías Para Redes De Acueducto Y Alcantarillado” de la Empresa de Acueducto de Bogotá EAAB-ESP.

6.7.1 Materiales Aceptados por la EAAB-ESP.

Los tipos de tubería para las redes de alcantarillado aceptadas por la EAAB-ESP pueden ser fabricadas en cualquiera de los siguientes materiales; no obstante, su selección dependerá de las condiciones particulares del sitio y de la aplicación.

Según el material y diámetros, las tuberías aceptadas se clasifican en los siguientes grupos:

- Tubería de concreto sin refuerzo CS, diámetros entre 150 mm y 1000 mm
- Tubería de concreto reforzado CR, diámetros entre 600 mm y 2750 mm
- Tubería de concreto extrarreforzado CR, diámetros entre 200 mm y 500 mm
- Tubería de concreto reforzado revestida con lámina de polietileno CRR, diámetros entre 1000 mm y 2750 mm
- Tubería de PVC, internamente lisa y externamente corrugada, diámetros entre 110 mm y 1000mm
- Tubería de PVC de perfil cerrado, diámetros entre 600 mm y 1500 mm
- Tubería de PVC de perfil abierto con o sin refuerzo, diámetros entre 160 mm y 1500 mm
- Tubería de Gres, diámetros entre 150 mm y 900 mm
- Tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), diámetros entre 200 mm y 3600 mm
- Tubería metálica corrugada con revestimiento interno en concreto para alcantarillado pluvial, diámetros entre 375 mm y 3600 mm
- Tubería de polietileno de alta densidad con pared estructural corrugada, diámetros entre 150 mm y 800 mm
- Tubería de polietileno de alta densidad de doble pared exterior corrugado e interior liso entre 150 mm y 1500 mm

6.7.2 Requisitos para las Tuberías

En todos los casos, y para todos los tipos de materiales, las tuberías que se aceptan para la instalación en las redes de alcantarillado deben cumplir con las pruebas Hidrostáticas y de Permeabilidad.

6.7.2.1 Tubería de Concreto sin Refuerzo

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías y accesorios de concreto sin refuerzo para diámetros reales entre 150 mm y 1000 mm que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 1022 Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado"* y con los requisitos de durabilidad exigidos en el capítulo C.4 de la *NSR-98*.

Las juntas para uniones de tubería de concreto deben cumplir los requisitos de la norma *"NTC 1328 Ingeniería civil y arquitectura. Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto"*.

6.7.2.2 Tubería de Concreto Reforzado

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías y accesorios de concreto reforzado para diámetros reales entre 600 mm y 2750 mm que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 401 Ingeniería civil y arquitectura. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado"* y con los requisitos de durabilidad exigidos en el capítulo C.4 de la NSR-98.

Tanto para tuberías de concreto reforzado con o sin refuerzo, las juntas para uniones de tubería de concreto deben cumplir los requisitos de la norma *"NTC 1328 Ingeniería civil y arquitectura. Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto"*.

6.7.2.3 Tubería de Concreto Extra reforzado

El ACUEDUCTO DE BOGOTÁ acepta tuberías y accesorios de concreto extra reforzado para diámetros reales entre 200 mm y 500 mm que cumplan con los requisitos de los numerales 5.1 "Criterios de aceptación", 6.1 "Concreto reforzado", 6.2 "Materiales cementantes", 6.3 "Agregados", 6.7 "Agua" y 10 "Fabricación", de la norma "NTC 401 Ingeniería civil y arquitectura. Y con los requisitos de durabilidad exigidos en el capítulo C.4 de la NSR-98.

Este tipo de tuberías también puede ser usado como alternativa de protección de tuberías que necesiten cárcamo, como está establecido en la norma "NS-090 Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado."

6.7.2.4 Tubería de Concreto Reforzado Revestida con Lámina de Polietileno

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de concreto reforzado para diámetros nominales entre 1000 mm y 2750 mm, revestidas con láminas de polietileno de alta densidad de espesor igual o mayor a 1.5 mm, en donde una de las caras de la lámina este conformada con nervaduras en forma de T, espaciadas aproximadamente cada 65 mm las cuales permitirán anclaje con la superficie del concreto. Esta tubería debe cumplir con los requisitos de la norma *"NTC 401 Ingeniería civil y arquitectura. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado"* y con los requisitos de durabilidad exigidos en el capítulo C.4 de la NSR-98.

Las tuberías de concreto reforzado revestido con lámina de polietileno se instalan de la misma forma que las tuberías de concreto reforzado convencionales, estas no deben presentar aberturas u orificios en el cuerpo de la tubería para izado del tubo por el contrario deben tener ganchos de izaje de tal manera que se garantice la continuidad de la lámina de polietileno y que esta no se rompa, en la instalación también se debe tener en cuenta que al empatar la tubería se deben unir los extremos de la lámina de polietileno que sobresalen de los tubos.

Los extremos de la lámina de polietileno para tuberías de diámetros nominales de 1000 mm a 2000 mm deben tener un ancho sobresaliente del tubo de 10 cm y para tuberías de diámetro nominal de 2000 mm a 2750 mm debe tener un sobre ancho de 15 cm. La unión

de los extremos salientes de la lámina de polietileno se realiza de manera manual utilizando para este procedimiento una pistola de aire caliente.

Las tuberías de concreto reforzado revestidas con lámina de polietileno deben cumplir los requisitos del Ensayo de Abrasión de la norma *"DIN 19565-1 Centrifugally cast and filled polyester resin glass fibre reinforced (UP-GF) pipes and fittings for buried drains and sewers; dimensions and technical delivery conditions"*.

Las juntas para uniones de tubería de concreto deben cumplir los requisitos de la norma *"NTC 1328 Ingeniería civil y arquitectura. Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto"*.

6.7.2.5 Tubería de PVC

6.7.2.5.1 Tubería de PVC pared interior lisa y exterior corrugada

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de PVC de pared estructural, fabricada en un proceso de doble extrusión, pared interior lisa y exterior corrugada con un sistema de unión mecánico en diámetros reales de 110 mm a 500 mm que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 3722-1 Plásticos. Tubos y accesorios de pared estructural para sistema de drenaje subterráneo y alcantarillado. Especificaciones para PVC rígido"*.

El Acueducto de Bogotá acepta rigidez de tubería mínima de PS 57 psi medidas según la norma *"ASTM D2412 Standard test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading"*.

6.7.2.5.2 Tubería de PVC pared interior lisa y exterior corrugada para diámetros de 24", 27", 30", 33", 36", 39" y 42"

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de PVC de pared estructural, fabricada en un proceso de doble extrusión, pared interior lisa y exterior corrugada con un sistema de unión mecánico en diámetros reales de 24", 27", 30", 33", 36", 39" y 42" que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 5055 tubos y accesorios de PVC perfilados para uso en alcantarillado por gravedad, controlados por el diámetro interno"*.

El Acueducto de Bogotá acepta rigidez de tubería mínima de PS 28 psi medidas según la norma *"ASTM D2412 Standard test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading"*.

6.7.2.5.3 Tubería de PVC de perfil abierto

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de PVC de perfil abierto con o sin refuerzo y accesorios para uso de alcantarillado en diámetros reales de tuberías entre 160 mm (6") y 1500 mm (60") que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 4764 Parte 1, Parte 2, Tubos y accesorios de poli cloruro de vinilo (PVC) de perfil abierto con o sin refuerzo. Para uso en alcantarillado"*.

Las uniones para la tubería de PVC de perfil abierto con o sin refuerzo deben cumplir con los requisitos de la Norma *"NTC 4764 Parte 1, Parte 2, Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) de perfil abierto con o sin refuerzo. Para uso en alcantarillado"*.

El Acueducto de Bogotá acepta rigidez de tubería mínimas de PS 10 psi medidas según la norma *"ASTM D2412 Standard test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading"*.

6.7.2.5.4 Tubería de PVC de perfil cerrado

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías y accesorios de PVC de perfil cerrado para uso de alcantarillado en diámetros nominales de tuberías entre 600 mm (24") y 1500 mm (60") que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 5070 Tubos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) (PVC) fabricados con perfil cerrado para uso en alcantarillado, controlados por el diámetro interior"*.

Las uniones para las tuberías de PVC deben cumplir con los requisitos de la norma *"NTC 2536 Sellos elastoméricos (empaques) para unión de tubos plásticos"*.

El Acueducto de Bogotá acepta rigideces de tubería mínimas de PS 10 psi medidas según la norma *"ASTM D2412 Standard test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading"*.

6.7.2.6 Tubería de Gres

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías y accesorios de gres para diámetros reales entre 150 mm (6") y 900 mm (36") que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 4089 Ingeniería civil y arquitectura. Tubos y accesorios de gres para alcantarillado y perforados para drenaje. Resistencia normal"*.

Las juntas para las tuberías de gres pueden ser en caucho o poliuretano y deben cumplir con los requisitos de la norma *"NTC 3526 Ingeniería civil y arquitectura. Juntas de compresión para tubos y accesorios de gres"*.

6.7.2.7 Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (GRP)

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de poliéster reforzando con fibra de vidrio para diámetros reales entre 200 (8") y 3600 mm que cumplan con los requisitos de la norma *"NTC 3870 Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) para uso en sistemas de alcantarillado"*.

Las juntas de tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio con sellos elastoméricos deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma *"NTC 3877 Plásticos. Especificaciones para juntas de tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos"*.

Las uniones por laminación deben cumplir con las indicaciones definidas en la norma técnica *"NTC 2888 Plásticos. Laminados de plástico termoestables reforzados (PTR) moldeados por contacto para equipos resistentes a la corrosión"* para el tipo II citado en esta norma técnica. Para el desarrollo de las labores de laminación se deben tener en cuenta las recomendaciones especiales del fabricante de la tubería.

Los accesorios para las tuberías de GRP deben cumplir con los requisitos de las normas técnicas *"NTC 3870 Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) para uso en sistemas de alcantarillado"* y *"NTC 2888 Plásticos. Laminados*

de plástico termoestables reforzados (PTR) moldeados por contacto para equipos resistentes a la corrosión".

El Acueducto de Bogotá acepta rigideces de tubería mínimas de PS 18 psi medidas según la norma "ASTM D2412 Standard test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading".

6.7.2.8 Tubería metálica corrugada con revestimiento interno en concreto para alcantarillado pluvial

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías metálicas corrugadas con revestimiento interno en concreto para alcantarillado pluvial para diámetros entre 1200 mm y 3600 mm que cumplan con los requisitos dimensionales de la norma, "NTC 4831 Tuberías de acero corrugado recubrimiento metálico para drenajes y alcantarillas", "ASTM A761 Standard Specification for Corrugated Steel Structural Plate, Zinc-Coated, for Field-Bolted Pipe, Pipe-Arches, and Arches". AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALES. Standard specification for highway bridges, 16 ed. Washington : AASHTO, 1996 y ASTM A760 Standard Specification for Corrugated Steel Pipe, Metallic-Coated for Sewer and Drains.

6.7.2.9 Tubería de polietileno de alta densidad con pared estructural corrugada

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de polietileno de alta densidad con pared estructural corrugada y pared interna lisa en diámetros internos entre 150 mm y 800 mm que cumplan con los requisitos de la norma "ISO 21138-1. Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage- Structured-wall piping systems of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE)- Part 1: Material specifications and performance criteria for pipes, fittings and system and Part 3: Pipes and fittings with non-smooth external surface, Type B.

6.7.2.10 Tubería de polietileno de alta densidad de doble pared, exterior corrugada e interior liso.

El Acueducto de Bogotá acepta tuberías de polietileno de alta densidad de doble pared, exterior corrugada e interior lisa, con unión mecánica de tipo campana por espigo con hidrosello de caucho y sus accesorios complementarios para derivaciones domiciliarias, conexiones a cámaras de inspección, piezas especiales de conexión y accesorios para reparación, en diámetros nominales de 4", 6", 8", 10", 12", 15", 18", 24", 30", 36", 40", 42", 48", 54", 60" que cumplan con los requisitos de la norma NTC 5447 " Especificaciones para Tuberías y Accesorios de Polietileno PE de 300 mm a 1500 mm (12"-60") con pared de Perfil Anular Corrugado para Aplicaciones de Alcantarillado.

El sistema de junta deberá ser mecánica y hermética con doble sello de poly isopreno y deberá cumplir con los requisitos exigidos de la norma NTC 2536 (ASTM F477)

6.8 PARÁMETROS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DEL MATERIAL DE TUBERÍA

Para el diseño de redes de tuberías, sean de flujo libre o que trabajen a presión, deben definirse los siguientes parámetros que inciden en la selección de material de tubería:

- Caudal a transportar
- Calidad de agua que va a transportar la tubería.
- Perdidas de carga por fricción
- Cargas externas que actúan sobre la tubería y la profundidad de cimentación de la tubería.
- Características del suelo
- Presencia y calidad de aguas subterráneas
- Riesgo de daños indirectos
- Condiciones de instalación
- Facilidades para rehabilitación y reparación
- Facilidades de suministro de accesorios
- Condiciones topográficas del terreno
- Contemplar peso de la tubería en suelos inclinados.

6.9 SELECCIÓN DE MATERIAL DE TUBERÍA PARA REDES DE TUBERÍAS A FLUJO LIBRE

Teniendo en cuenta los numerales anteriores de análisis de tipo de tuberías y sus respectivos parámetros, a continuación, se presenta los criterios de selección del tipo de tubería para Alcantarillado.

- Caudal que va a transportar la tubería y la capacidad de tuberías de diferentes materiales para caudal determinado en función del coeficiente de rugosidad del material preseleccionado.
- Diámetros disponibles en el mercado para cada material y velocidades máximas permisibles para cada tipo de material, de acuerdo a la Norma NP-027 Tuberías para alcantarillado.
- Calidad de agua que se va a transportar para determinar si puede haber la afectación en área no mojada.
- Tipo y magnitud de las cargas que actúan sobre la tubería y la profundidad de cimentación de la tubería.
- Condiciones topográficas del terreno.
- Condiciones de instalación
- Facilidades de reparación y rehabilitación de tuberías
- Facilidades de suministro de accesorios

Teniendo en cuenta los análisis, parámetros y criterios anteriormente mencionados, para las redes de alcantarillado se seleccionan las tuberías de PVC y GRP teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas del proyecto y las facilidades de condiciones de instalación, reparación, rehabilitación y de suministro de accesorios.

6.10 COTAS MINIMAS DE URBANISMO

A partir del dimensionamiento de los colectores troncales, de la red vial principal de Lagos de Torca, se ha generado el plano de las cotas mínimas urbanizables para los desarrollos que drenan las diferentes áreas aferentes del sistema de drenaje pluvial y sanitario, generando de esta manera la distribución de las elevaciones requeridas para garantizar cada sistema de drenaje de manera adecuada y a gravedad, según los requisitos mínimos establecidos por la Normas NS-085 de la EAAB. Se anota que, para definir las cotas mínimas de cada área de drenaje, se tomó en cuenta que los sistemas colectores de descarga en los sistemas de humedales, la cota de inundación de los mismos en cada sitio de entrega, según los resultados del Informe de Hidrología (Producto 4) y las áreas de inundación previstas para la condición futura, para un período de retorno de 100 años.

El procedimiento de cálculo de la cota mínima urbanizable parte de la cota clave del conducto trazado al frente del predio, definiendo una longitud para las tuberías internas desarrolladas con una pendiente mínima del 0.25%, sumando un valor de 1.20 m correspondiente al recubrimiento de la red y de 0.30 m correspondiente a la altura del andén.

Es importante aclarar que esta información se entregará en el Producto 14 teniendo en cuenta que se aplicará únicamente para la alternativa sugerida.

6.11 EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica de las alternativas de drenaje pluvial, se han llevado a cabo para cuantificación de cantidades de colectores troncales y estructuras mayores, a partir de bases de datos de la EAAB y el Instituto de Desarrollo Urbano IDU.

En el Anexo 2 se presenta la valoración económica de cada propuesta.

6.12 EVALUACIÓN DE MATRIZ MULTICRITERIO

Para la evaluación y selección de alternativas se sigue la metodología multicriterio en la cual se implementa un proceso de jerarquía analítica (AHP) y el proceso de red analítica (ANP). El valor mínimo seleccionado para evaluar de cada componente es 1 y el valor máximo es 9.

6.12.1 Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM)

La metodología de los Métodos Multicriterio consiste en determinar criterios y subcriterios de evaluación, asignar los pesos respectivos a cada criterio y subcriterio, los cuales se analizan a través de comparaciones pareadas para medir la relación entre criterios y su importancia. Posteriormente, expertos evalúan las alternativas por cada criterio, asignando una calificación y así obtener la alternativa óptima para el problema de acuerdo con el criterio profesional de los expertos.

La Tabla 60 muestra la clasificación de los métodos multicriterio existentes de acuerdo con su enfoque.

Tabla 60 Clasificación de los métodos multicriterio.

Clasificación	Abreviatura	Método
Métodos Basados en la teoría del Valor	AHP	Proceso Analítico Jerárquico.
	ANP	Proceso de Red Analítica.

Fuente: WSP; 2020

6.12.2 Métodos Basados en la Teoría del Valor

En la aplicación de estos métodos se requiere que cada criterio tenga una escala de evaluación ya sea de valor numérico o un intervalo. Para la definición de criterios asociados, así como los datos necesarios para la definición de las alternativas en estos criterios, puede implicar alguna arbitrariedad, incertidumbre o en algunos casos indeterminación.

6.12.2.1 Método Jerárquico Analítico (AHP)

El AHP está basado en una estructura jerárquica de elementos involucrados en un problema de decisión. La jerarquía incorpora el conocimiento, la experiencia y la intuición del tomador de decisiones para el problema específico. Las alternativas son clasificadas utilizando diferentes criterios cualitativos y cuantitativos, dependiendo de cómo contribuye cada uno a la obtención del resultado global. (Anagnostopoulos & Vavatsikos, 2006).

La idea básica del AHP típico está basada en las matrices de comparación por pares. Cada elemento de la matriz expresa la preferencia personal que tiene un tomador de decisiones de una alternativa respecto a otra, lo cual se expresa generalmente de forma verbal. La descripción verbal puede ser transformada en números en una escala (generalmente de 1 a 9), escalas directas de (1-5-9) y/o decimales entre 0 y 1. Se realiza un chequeo de consistencia por medio de la Razón de Consistencia (CI). (Topcu, 2004).

6.12.2.2 Proceso Analítico de Redes (ANP)

El ANP es la forma general del AHP, tiene el poder de tratar con decisiones complejas y relaciones entre los criterios. Los métodos de toma de decisiones asumen que los factores son independientes entre sí, mientras que el ANP considera la interdependencia entre los factores, formando bucles de realimentación de las relaciones causa-efecto. (El-Abbasy, Zayed, Ahmed, Alzraiee, & Abouhamad, 2013)

6.12.3 Métodos de Selección de Criterios y Asignación de Porcentajes

Para escoger los criterios más importantes para la selección de la mejor alternativa en la ejecución del proyecto, se deben asignar los pesos que determinan la importancia relativa de cada criterio respecto al total, y por lo tanto permiten realizar una ponderación de acuerdo con el método empleado. Si bien algunas de las metodologías podrían no requerir ponderación de criterios, en la mayoría de los casos es necesario hacerlo y se convierte en un proceso de gran importancia, pues independientemente del método de selección de alternativas, la ponderación de los criterios indiscutiblemente puede llegar a cambiar la escogencia, por su influencia directa sobre el resultado final.

En últimas, lo que se busca al emplear un método para definir la importancia relativa de los criterios es disminuir la subjetividad que implícitamente está en las apreciaciones humanas, para construir una distribución objetiva y consistente.

La Tabla 61 se presenta algunos de los métodos empleados para asignación de pesos en selección de contratistas en proyectos de construcción o infraestructura.

Tabla 61 Métodos de Selección de Criterios y Asignación de Porcentajes.

Categoría	Método	Referencias
Subjetivo	AHP	(Anagnostopoulos & Vavatsikos, 2006; Chou, Anh-Duc, et al., 2013; Jaskowski, Biruk, & Bucon, 2010; Liu & Yan, 2007; Nassar & Hosny, 2013; Park & chul, 2012; Ramon San Cristobal, 2012; Topcu, 2004; Trivedi, 2011; W.-C. Wang et al., 2013; Y. Wang et al., 2014)
	ANP	(El-Abbasy et al., 2013)
	Asignación por Expertos / Tomadores de Decisiones	(Alhumaidi, 2015; Awad & Fayek, 2012; Bendana, del Cano, & de la Cruz, 2008; Darvish, Yasaei, & Saeedi, 2009; Horta, Camanho, & Lima, 2013; Li, Nie, & Chen, 2007; Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2012; Plebankiewicz, 2009, 2012, 2014; Singh & Tiong, 2005; Vahdani, Mousavi, Hashemi, Mousakhani, & Tavakkoli-Moghaddam, 2013; Wei et al., 2011)

Fuente: WSP; 2020

Los métodos de selección y ponderación de criterios se clasifican en dos categorías: los métodos subjetivos y los objetivos. Se puede observar que los métodos más populares en proyectos de ingeniería son los AHP, ANP y asignación por expertos que hacen parte de la categoría subjetiva. Los porcentajes de los criterios determinados por los métodos de ponderación subjetivas dependen sólo de la preferencia de todos los actores involucrados en la realización, revisión y aprobación de los diseños y no de los datos cuantitativos medidos en los proyectos de ingeniería.

6.12.4 Selección de Componentes

Una vez definida la metodología a desarrollar, se procede a determinar nueve (9) componentes por considerar en cada una de las alternativas. A continuación, se presenta la descripción de cada componente con el fin de aclarar y alinear los conceptos de evaluación técnica que fueron empelados por el consultor.

6.12.4.1 Predial

El proceso de crecimiento urbano ha generado innumerables retos para las ciudades en términos de planificación, gestión y financiación de proyectos. Un componente esencial de todos estos desafíos se encuentra en la gestión predial, supuesto esencial para el desarrollo de cualquier obra de infraestructura urbana.

La gestión predial no consiste únicamente en comprar suelo sino en desarrollar todo un conjunto de acciones orientadas a garantizar su disposición y orientar su uso al mayor beneficio colectivo.

Al componente predial se le asignó un 10% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.2 Gestión de Trámites

El componente de gestión de trámites se puede definir como un conjunto de requisitos, pasos, o acciones regulados por el Estado, dentro de un procedimiento administrativo, que deben efectuar los usuarios ante una institución de la administración pública o particular que ejerce funciones administrativas, para adquirir un derecho o cumplir con una obligación prevista o autorizada por la Ley y cuyo resultado es un producto o un servicio.

Este componente tiene en cuenta los trámites y/o permisos que se deben efectuar ante las distintas entidades públicas del Distrito, así como los permisos por la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR). Lo anterior teniendo en cuenta la proyección de redes de alcantarillado sobre el corredor vial de la futura Av. Boyacá que cruza la Reserva Thomas Van Der Hammen.

Al componente de gestión de trámites se le asignó un 10% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.3 Social

El término componente social se refiere a toda la estructura que construye a una población en una región determinada. En líneas generales, un componente social es una estructura compuesta por todos los factores de la sociedad que influyen en ella, es decir, que el término engloba todo lo que la compone como los grupos sociales, grupos políticos, movimientos ambientalistas y demás factores que involucran el desarrollo de una sociedad en general.

Dado lo anterior, este componente tiene en cuenta la percepción de grupos sociales y/o ambientales de las alternativas del sistema de alcantarillado del proyecto Lagos de Torca. De igual forma considera el impacto y/o afectación que tendrían las alternativas de acueducto respecto al acceso vial y a la infraestructura vial existente.

Al componente social se le asignó un 10% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.4 Ambiental

Este componente se centra en los elementos de la biodiversidad como ecosistemas, especies, Etc. Tiene en cuenta el impacto y/o afectación de las alternativas proyectadas del sistema de alcantarillado del proyecto Lagos de Torca, con los tratamientos silviculturales, zonas verdes y cuerpos de agua como Humedales, Quebradas y Canales que se encuentran dentro del proyecto. Para la evaluación de este componente se armonizó la información con los especialistas ambientales y forestales del proyecto y se anexa como soporte un shape con la información de los tratamientos silviculturales y de

zonas verdes del proyecto. Lo cual permite evaluar y diferenciar la afectación de las alternativas proyectadas.

Al componente ambiental se le asignó un 15% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.5 Componente Técnico

Teniendo en cuenta las evaluaciones técnicas de las alternativas proyectadas del sistema de alcantarillado del proyecto Lagos de Torca que son presentadas en el numeral 6.4 del presente informe, este componente técnico hace referencia principalmente a la complejidad constructiva de cada alternativa, así como a la interacción con redes de acueducto del costado oriental y las interferencias con cajas de puntos de conexión red matriz, cámaras, box culvert, EBAR, Cerchas) del proyecto Lagos de Torca.

Al componente técnico se le asignó un 15% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.6 Armonización con Unidades Funcionales del Fideicomiso Lagos de Torca

Este componente se desarrolla acorde a las unidades funcionales del Fideicomiso Lagos de Torca. El objetivo es evaluar la concordancia de cada una de las alternativas proyectadas del sistema de alcantarillado con las unidades funcionales estipuladas en el fideicomiso. Es importante resaltar que a la fecha de elaboración de este informe se presentan dos (2) unidades funcionales para el costado occidental. El análisis y evaluación de esta información se presenta de manera detallada en el numeral “7.1.3.1 *Desarrollo Unidades funcionales y/o Etapas de Desarrollo*”

Al componente de armonización con unidades funcionales del fideicomiso Lagos de Torca se le asignó un 15% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.7 Operación y Mantenimiento

Los planes de mantenimiento se encuentran establecidos para llevar a cabo la normal prestación del servicio y la rápida atención de las reclamaciones, para lo cual es importante disponer de procesos relacionados con la disponibilidad de los recursos físicos y de personal a tiempo. Estos procesos complementarios están básicamente relacionados con la contratación de las obras de mantenimiento y optimización operacional, interventoría de las obras mencionadas, suministro de materiales, elementos, equipos y herramientas para el personal de la empresa que directamente efectúa labores asociadas al mantenimiento de los sistemas.

La EAAB ha establecido procesos de mantenimiento correctivo y preventivo con una periodicidad específica que permite mejorar las condiciones de prestación de los servicios. Este componente se centra adicionalmente en el funcionamiento del sistema de alcantarillado en el proyecto Lagos de Torca.

Al componente de operación y mantenimiento se le asignó un 10% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.8 Análisis de Riesgo

Considerando la definición de riesgo, como el daño, destrucción o pérdida esperada, obtenido de relacionar la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales peligros o amenazas, el riesgo se puede expresar en términos de pérdidas económicas directas. Este componente tiene un análisis global de las vulnerabilidades identificadas en el sistema de alcantarillado.

Al componente de análisis de riesgo se le asignó un 5% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.4.9 Económico

Este componente tiene como objetivo lograr un análisis técnico, con énfasis en los aspectos económicos, de manera tal que permita contribuir notoriamente en la toma de decisiones y selección de la alternativa más viable. El aspecto económico (CAPEX) es netamente cuantitativo en términos de costos de implementación de la alternativa, es decir, sobre el presupuesto de cada una de las alternativas.

De igual forma, este componente tiene en cuenta una cuantificación estimada del costo de operación y mantenimiento (OPEX) de las alternativas del sistema de alcantarillado del proyecto Lagos de Torca. Todos los costos en los que se incurre para operar, mantener, inventariar y manejar el producto durante toda su vida anticipada. Estos pueden incluir costos de adaptación periódica y costos promedio si el sistema requiere efectuar reparaciones importantes en servicio, con base en experiencias de costos para otros sistemas ya desarrollados.

Al componente de económico se le asignó un 10% de ponderación por componente en la matriz multicriterio, esta calificación se otorga de acuerdo con el impacto que tienen las alternativas con cada uno de los componentes seleccionados.

6.12.5 Selección de Criterios de Evaluación

Una vez definidos los componentes a evaluar para cada alternativa, se procede a seleccionar los criterios de evaluación de cada componente junto con el porcentaje de la ponderación por criterios.

6.12.5.1 Predial

Los criterios de evaluación para el componente Predial son los siguientes:

- Número de predios afectados – 50%
- Número de predios especiales (Rondas, Clubes, Cementerios, Instituciones) – 50%

Se otorga una calificación numérica de acuerdo con el impacto que tiene la alternativa en cada uno de los componentes antes descritos. El criterio de evaluación además de ser el de números de predios afectados por los trazados proyectados de cada alternativa, se considera también la reconfiguración de áreas del humedal. Por lo cual la alternativa 1 presenta un mayor puntaje a comparación de las demás alternativas, en el entendido de que presenta una menor afectación de predios y predios especiales. El porcentaje de ponderación de criterios para el número de predios afectados y número de predios especiales es del 50% para cada uno. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente predial corresponde al 10%.

6.12.5.2 Gestión de Trámites

El criterio de evaluación para el componente de gestión de trámites es el siguiente:

- Trámites ante entidades públicas– 100%

Se otorga una calificación numérica de acuerdo con el impacto que tiene la alternativa en cada uno de los componentes antes descritos. El criterio de evaluación de las alternativas está acorde a los planteamientos técnicos proyectados de cada una, es decir, se tiene en cuenta el número de descargas de cada alternativa, los cuerpos receptores y estructuras importantes que conlleven a un mayor trámite con las entidades públicas. En este orden de ideas la alternativa 1 es la mejor calificada, teniendo en cuenta que las descargas están proyectadas solamente al humedal Guaymaral y no cuenta con descargas adicionales al río Bogotá, lo que conllevaría una gestión de trámites mayor con otras entidades. El porcentaje de ponderación de criterios para el trámite ante entidades públicas es del 100%. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente de gestión de trámites corresponde al 10%.

6.12.5.3 Social

Los criterios de evaluación para el componente social son los siguientes:

- Percepción de grupos sociales – 60%
- Acceso Vial (Movilidad y afectación a infraestructura vial existente) – 40%

De esta manera se evalúa el impacto que tiene la alternativa en la percepción de grupos sociales referente a la reconfiguración del humedal, canal y quebradas. Así como a la totalidad de caudal de aguas lluvias que se entrega en cada alternativa a estos cuerpos de agua. Por esta razón la alternativa 3A y 3B presenta la mayor calificación teniendo en cuenta que se plantea una mayor área de reconfiguración del humedal e incluye un menor caudal al mismo cuerpo de agua, lo que genera una mejor percepción respecto a las demás alternativas. Las afectaciones a infraestructura vial existente de la zona, se evalúa teniendo en cuenta las dimensiones de los colectores proyectados, en el caso de la alternativa 1 evaluando la afectación vial que conlleva construir el box Culvert que drena las áreas de drenaje del sector de San José de Bavaria con la Autopista Norte y los diámetros con los que se drena todo el caudal al humedal. Con este mismo criterio se evalúan las demás alternativas. El porcentaje de ponderación de criterios para la percepción de grupos sociales es del 60%, mientras que para el criterio relacionado con el

acceso vial (Movilidad y afectación a infraestructura vial existente) es del 40%. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente social corresponde al 10%.

6.12.5.4 Ambiental

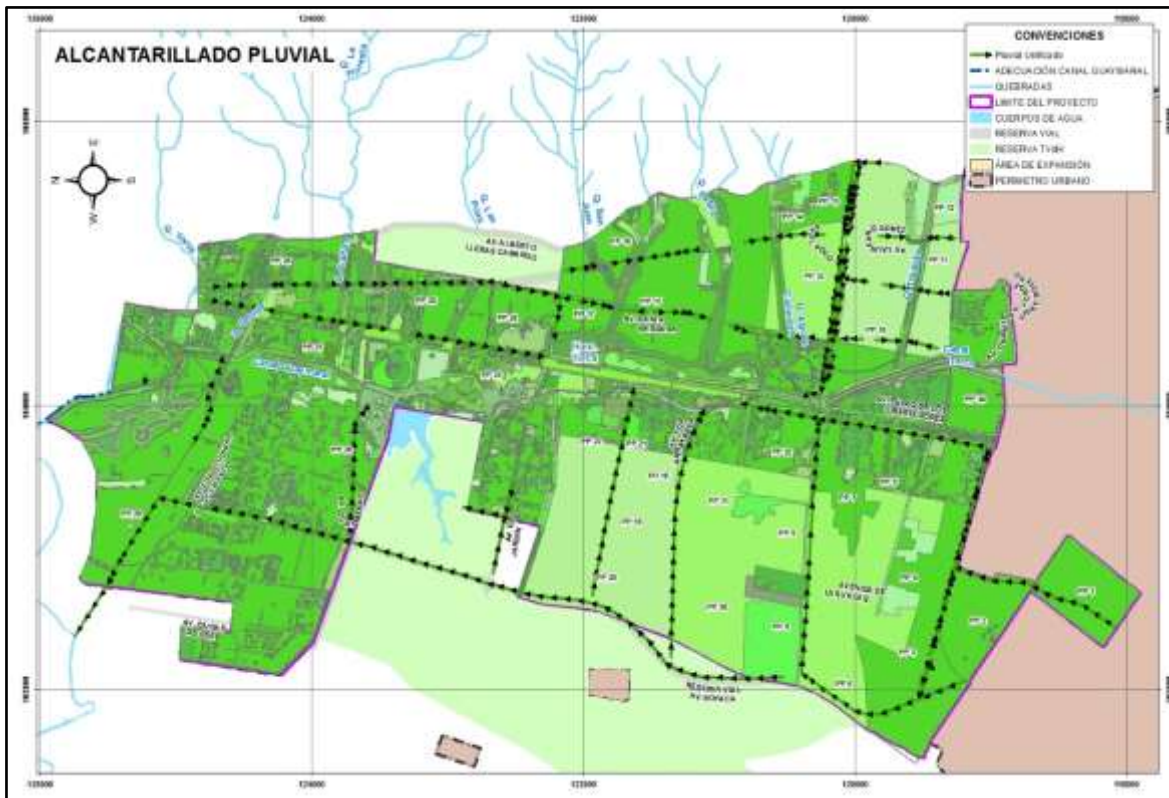
Los criterios de evaluación para el componente Ambiental son los siguientes:

- Tratamientos silviculturales – 40%
- Afectación a zonas verdes – 20%
- Afectación a cuerpos de agua (Humedales, Quebradas, Canales) – 40%

Este componente resulta uno de los más importantes en la evaluación de alternativas, por su incidencia en la toma de decisión, por lo tanto, se le otorga un 15% de peso en el análisis global, evaluando el impacto en la implementación de la alternativa en el componente biótico (flora, fauna y cuerpos de agua). Para la evaluación de este componente se armonizó la información con los especialistas ambientales y forestales del proyecto y se anexa como soporte información en formato shape de los tratamientos silviculturales y de zonas verdes del proyecto. Lo cual permite evaluar y diferenciar la afectación de las alternativas proyectadas. El criterio de evaluación de afectación a cuerpos de agua está basado en las áreas de reconfiguración de cada alternativa.

El ejercicio que permite evaluar los criterios de este componente, se basa en la superposición de todas las alternativas de alcantarillado con la información detallada del componente biótico (Flora, Fauna, Cuerpos de Agua, entre otros). Lo anterior para determinar la afectación que tiene cada tramo de las redes proyectadas respecto a los criterios del componente. Para dar mayor claridad, se presenta a manera de ejemplo la Figura 219 en donde se observa la superposición descrita anteriormente. Cabe resaltar que la imagen corresponde a la alternativa sugerida del sistema de alcantarillado, sin embargo, este ejercicio se realizó para todas las alternativas. La información de coberturas se obtuvo de la caracterización física desarrollada en Producto 5 de esta Consultoría, con el resultado que se muestra en la Figura 219.

Figura 219. Cobertura Componente Ambiental Vs Alternativa 3A Alcantarillado Pluvial.



Fuente: WSP, 2020.

6.12.5.5 Componente Técnico

Los criterios de evaluación para el componente Técnico son los siguientes:

- Complejidad Constructiva – 40%
- Interacción con redes del costado oriental – 30%
- Interferencias con (cajas de puntos de conexión red matriz, Cámaras, Box Culvert, EBAR, Cerchas) – 30%

Este componente tiene un peso del 15% sobre la totalidad evaluada y permite calificar el desarrollo de la alternativa desde el punto netamente técnico hidráulico en la implementación, de esta manera se tienen en cuenta aspectos como la complejidad constructiva (40%), Interacción con redes del costado oriental (30%) e Interferencias con cajas de puntos de conexión red matriz, cámaras, Box Culvert, EBAR, Cerchas (30%). Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente técnico corresponde al 15%. Para la complejidad constructiva el criterio de evaluación de alternativas se llevo acorde a los dimensionamientos de las redes proyectadas de cada una. Es decir, para la alternativa 1 se tiene en cuenta el drenaje del sector de San José de Bavaria, lo que conllevaría construir una estructura de Box Culvert de unas dimensiones considerables, lo cual dificulta la complejidad constructiva de esta alternativa. De igual forma se evalúan las demás estructuras en cada alternativa. De igual forma la alternativa 1 es la que menor interacción con redes del costado oriental presenta, lo anterior debido a su independencia

hidráulica, al aporte de mas caudal al humedal y a las áreas de reconformación del humedal. Teniendo en cuenta lo anterior, las interferencias que se presentarían en la alternativa 1 por la construcción del Box Culvert paralelo sobre la Autopista Norte sería mucho mayor que el de las otras alternativas.

6.12.5.6 Armonización con Unidades Funcionales del fideicomiso Lagos de Torca

El criterio de evaluación para el componente de armonización con unidades funcionales del fideicomiso Lagos de Torca es el siguiente:

- Concordancia con desarrollo de unidades funcionales– 100%

Se otorga una calificación numérica de acuerdo con el impacto que tiene la alternativa en cada uno de los componentes antes descritos. La alternativa 3A presenta la calificación más alta debido a que es la alternativa que más concordancia presenta con el desarrollo de las unidades funcionales del sector occidental. Para la calificación se tuvo en cuenta el acople de las alternativas con los requerimientos técnicos solicitados por los promotores de los Planes Parciales pertenecientes a unidades funcionales de desarrollo. Lo anterior, El porcentaje de ponderación de criterio de concordancia con desarrollo de unidades funcionales es del 100%. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente de armonización con unidades funcionales del fideicomiso Lagos de Torca corresponde al 15%.

6.12.5.7 Operación y Mantenimiento

Los criterios de evaluación para el componente de operación y mantenimiento son los siguientes:

- Operación y mantenimiento de estructuras y cuerpos de agua– 60%
- Funcionamiento del sistema de Alcantarillado– 40%

Este componente tiene un peso del 10% sobre la totalidad evaluada y permite calificar el desarrollo de la alternativa desde el punto netamente de operación y mantenimiento, de esta manera se tienen en cuenta aspectos como operación y mantenimiento de estructuras y cuerpos de agua (60%), Funcionamiento del sistema de Alcantarillado" (40%). Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente de operación y mantenimiento corresponde al 10%. Para la operación y mantenimiento el criterio de evaluación de alternativas se llevó acorde a la complejidad y el dimensionamiento de las redes proyectadas en cada alternativa. Es decir, para la alternativa 1 se tiene en cuenta el drenaje del sector de San José de Bavaria, lo que conllevaría construir una estructura tipo Box Culvert de grandes dimensiones, lo cual aumenta el nivel de dificultad de la operación y mantenimiento. Respecto al tema de reconformación de áreas del humedal, se establece que el mantenimiento deberá ser igual a todo el cuerpo del humedal. Sin embargo, la alternativa que más áreas reconformadas presente, tendrá una mejor calificación, en el entendido que estas obras de reconformación facilitarán a futuro las obras de operación y mantenimiento (Alternativa 3A y 3B). El funcionamiento del sistema de alcantarillado se evalúa en primera medida a la necesidad de evacuar las aguas por gravedad y no utilizando métodos de bombeo. En este orden de ideas la alternativa 2 es la menor calificada por sus estructuras de bombeo proyectadas. Así mismo se evalúa como criterio la afectación en caudal al humedal Guaymaral, las áreas a reconformar y las

dimensiones de los colectores proyectados. Por lo anterior la alternativa 3A es la mejor calificada.

6.12.5.8 Análisis de Riesgo

El criterio de evaluación para el componente de análisis de riesgo es el siguiente:

- Vulnerabilidad del sistema de Alcantarillado (Inundación)– 100%

Se otorga una calificación numérica de acuerdo con el impacto que tiene la alternativa en cada uno de los componentes antes descritos. El criterio de evaluación de alternativas se basa en el número de descargas proyectadas a los distintos cuerpos de agua del sector y el riesgo que podría tener por inundación. Por lo anterior, la Alternativa 1 es la mejor calificada, teniendo en cuenta que sus descargas se realizan únicamente al humedal Guaymaral. En este orden de ideas, las Alternativas 2, 3A y 3B presentan una calificación menor, debido a que proyectan descargar aguas al río Bogotá y al humedal Guaymaral, lo que conlleva una mayor vulnerabilidad del sistema. El porcentaje de ponderación de criterio de vulnerabilidad del sistema de Alcantarillado es del 100%. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente de análisis de riesgo corresponde al 5%.

6.12.5.9 Económico

Los criterios de evaluación para el componente económico son los siguientes:

- CAPEX – 70%
- OPEX – 30%

El criterio de calificación de alternativas para este componente está basado en el presupuesto estimado de cada alternativa. Dado lo anterior, se puede establecer que la Alternativa 1 es la mejor calificada teniendo en cuenta que presenta el presupuesto más bajo entre todas las alternativas evaluadas. De esta manera se evalúa el impacto que tiene la alternativa en el componente económico. El porcentaje de ponderación de criterios el CAPEX es del 70%, mientras que para el criterio OPEX es del 30%. Es importante resaltar que el porcentaje asignado al componente económico corresponde al 10%.

6.12.6 Determinación y Asignación de Porcentajes

Con una estructura jerárquica de componentes, cada criterio está asociado con un porcentaje local (Ponderación por criterio). y un porcentaje global (Ponderación por componente).

El porcentaje local de un criterio se refiere al peso en relación con otros criterios en el mismo grupo y nivel, lo que se evaluará mediante el proceso de comparación por pares (*A1, A2, A3A, A3B*). El porcentaje global de un componente hace referencia a la importancia relativa de todos los demás componentes para el objetivo global de selección de alternativas.

Para calcular el porcentaje local de cada criterio, se proporcionó un juicio técnico comparativo sobre la importancia relativa de un criterio sobre otro, pertenecientes ambos al mismo nivel y el grupo en la estructura jerárquica.

Los componentes utilizados pueden ser cualitativos o cuantitativos, y la jerarquía de cada uno se calcula teniendo en cuenta la contribución de cada componente y criterio, esto definirá el resultado final.

El proceso de jerarquización se basa en comparaciones por pares: Se debe comparar las alternativas (*A1, A2, A3A, A3B*) con respecto a un componente y se asigna un valor numérico para darles un peso o porcentaje relativo. La comparación se basa en una escala fundamental que puede variar, por lo cual se puede seleccionar entre alguna escala utilizada previamente o definir una nueva. Para este caso se definió una escala discreta, se muestra en la Tabla 62.

Tabla 62 Definición Escala Definida de Importancia Relativa.

Valor Numérico	Descripción
1	Baja
5	Media
9	Alta

Fuente: WSP; 2020

Por lo tanto, la alternativa que mayor valor adquiera será la más viable técnica y económicamente.

En la Tabla 63 se presenta la evaluación de la Matriz Multicriterio para las alternativas de drenaje sanitario, a partir de los criterios descritos.

Tabla 63 Evaluación Matriz Multicriterio

ID	Componente a considerar	No.	Criterios de evaluación	Unidad	Ponderación por Componente	Ponderación por Criterio	Escala de comparación				Vector de prioridad			
							Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt B	Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt 3B
1	Predial	1	Número de predios afectados	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	10%	50%	9	1	5	5	0.9	0.1	0.5	0.5
		2	Número de predios especiales (Rondas, Clubes, Cementerios, Instituciones)	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		50%	9	1	5	5				
2	Gestión de Trámites	1	Trámites ante entidades públicas	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	10%	100%	9	1	5	5	0.9	0.1	0.5	0.5
3	Social	1	Percepción de grupos sociales	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	10%	60%	5	1	9	9	0.5	0.1	0.9	0.9
		2	Acceso Vial (Movilidad y afectación a	Escala Discreta (1-		40%	5	1	9	9				

ID	Componente a considerar	No.	Criterios de evaluación	Unidad	Ponderación por Componente	Ponderación por Criterio	Escala de comparación				Vector de prioridad			
							Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt B	Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt 3B
			infraestructura vial existente)	Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)										
4	Ambiental	1	Tratamientos silviculturales	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	15%	40%	5	1	9	9	0.87	0.63	0.75	0.75
		2	Afectación a zonas verdes	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		20%	9	1	5	5				
		3	Afectación a cuerpos de agua (Humedales, Quebradas, Canales)	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		40%	5	9	1	1				
5	Componente Técnico	1	Complejidad Constructiva	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	15%	40%	5	1	9	5	0.39	0.87	0.99	0.75

ID	Componente a considerar	No.	Criterios de evaluación	Unidad	Ponderación por Componente	Ponderación por Criterio	Escala de comparación				Vector de prioridad			
							Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt B	Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt 3B
		2	Interacción con redes del costado oriental	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		30%	1	9	5	5				
		3	Interferencias con (cajas de puntos de conexión red matriz,Cámaras, Box Culvert, EBAR, Cerchas, Puentes)	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		30%	1	9	5	5				
6	Armonización con unidades funcionales del Fideicomiso Lagos de Torca	1	Concordancia con desarrollo de unidades funcionales	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	15%	100%	5	1	9	5	0.75	0.15	1.35	0.75
7	Operación y mantenimiento	1	Operación y mantenimiento de estructuras y cuerpos de agua.	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	10%	60%	5	1	9	9	0.5	0.1	0.9	0.9
		2	Funcionamiento del sistema de alcantarillado	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		40%	5	1	9	9				

ID	Componente a considerar	No.	Criterios de evaluación	Unidad	Ponderación por Componente	Ponderación por Criterio	Escala de comparación				Vector de prioridad			
							Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt B	Alt 1	Alt 2	Alt 3A	Alt 3B
				Mas Favorable)										
8	Análisis de Riesgo	1	Vulnerabilidad del sistema de Alcantarillado (Inundación)	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	5%	100%	9	1	5	5	0.45	0.05	0.25	0.25
9	Económico	1	CAPEX	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)	10%	70%	9	1	5	5	0.9	0.1	0.5	0.5
		2	OPEX	Escala Discreta (1- Menos Favorable , 5 Favorable y 9 Mas Favorable)		30%	9	1	5	5				
					100%						6.16	2.20	6.64	5.80
											La Alt 3A es la más viable técnica y económicamente			

Fuente: WSP; 2020

Luego de la evaluación de alternativas mediante la matriz multicriterio se obtuvo que la alternativa 3A es la más viable desde el punto de vista técnico y económico. Debe tenerse en cuenta que con la implementación de esta alternativa se consigue conducir el caudal generado por San José de Bavaria hacia el Río Bogotá, mediante un colector por la reserva vial de la futura Avenida Boyacá por gravedad, lo que genera un funcionamiento hidráulico óptimo del sistema de alcantarillado pluvial. Otra ventaja que tiene la alternativa 3A es que logra disminuir la mayoría de los diámetros de los colectores que se ubican sobre las vías colindantes a los futuros desarrollos.

Desde la visión económica de la Alternativa, esta solución, a pesar de ser la segunda más costosa después de la Alternativa 2, tiene beneficios adicionales soportados por la el mayor alcance en la recuperación de la calidad ambiental del sistema hídrico, determinado por dos aspectos principales; el primero relacionado con la conectividad del sistema de Río Bogotá – Reserva Van der Hammen – Humedal Torca-Guaymaral – Quebradas y Cerros Orientales, y el segundo con la recuperación de las características eco-hidráulicas del Humedal, a través de garantizar que la dinámica hidrológica del humedal en cuanto al ascenso y descenso de sus niveles de agua, se amplíen a otras zonas que antiguamente lo fueron dentro del cuerpo léntico, según lo demostró el análisis de dinámica fluvial del componente de Geomorfológico.

El valor total otorgado de evaluación corresponde a 6,64 para la alternativa más viable. De igual forma la alternativa 3B logra una evaluación de 5,80. La diferencia entre la alternativa 3A y 3B, consiste básicamente en el trazado del colector proyectado por la reserva vial de la futura Av. Boyacá, lo cual genera que la alternativa 3A tenga una mayor concordancia con el desarrollo de las unidades funcionales del proyecto y una complejidad constructiva más favorable que la alternativa 3B. Lo anterior teniendo en cuenta que la Alternativa 3A proyecta una sola descarga al río Bogotá, mientras que la alternativa 3B proyecta 2 descargas. La alternativa 1 se encuentra en el 2 puesto de la evaluación con un valor de 6,16. La diferencia y por la cual pierde la alternativa es en gran parte por el aporte de la totalidad del caudal al humedal Guaymaral, la infraestructura proyectada para drenar las áreas de drenaje del sector San José de Bavaria. La evaluación más baja de la matriz multicriterio se le otorga a la alternativa 2 con un valor de 2,20, lo anterior debido a la infraestructura que proyecta la alternativa (Box culverts, Pondajes, EBALL) y la poca armonización con las unidades funcionales del proyecto.

7 ALTERNATIVA SUGERIDA UNIFICADA

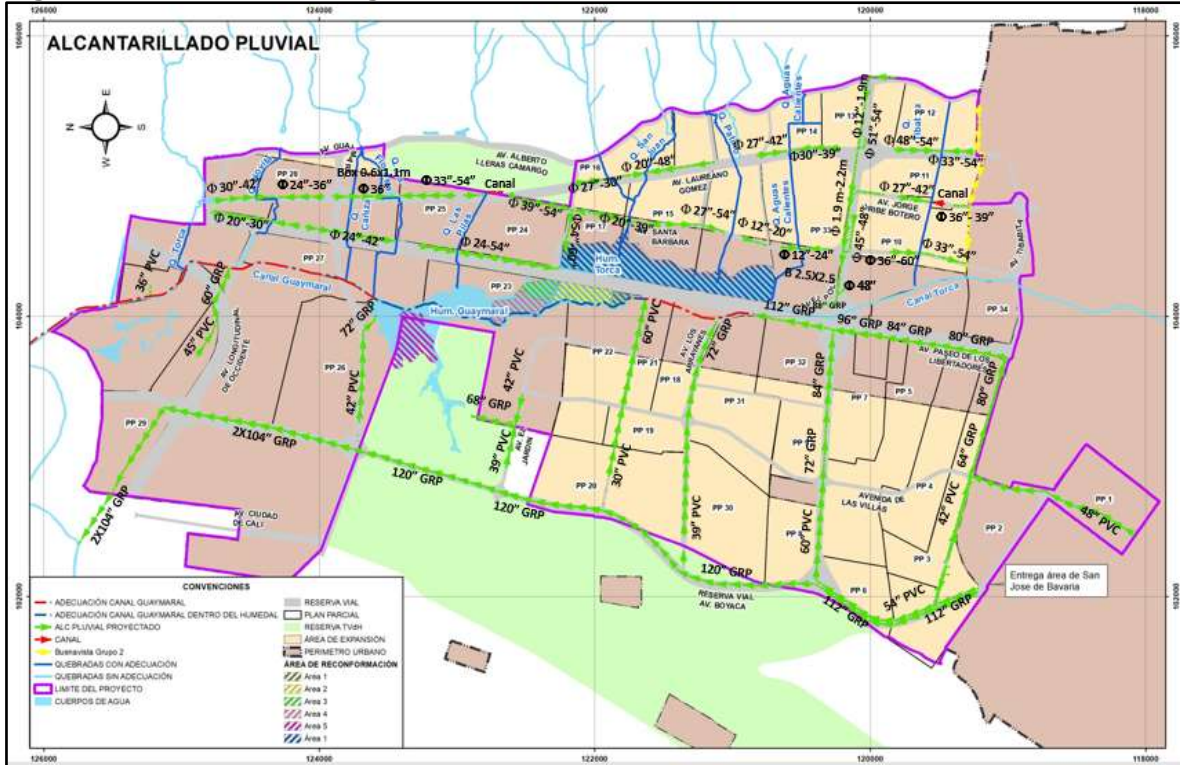
Después de hacer la descripción detallada de las diferentes alternativas planteadas y de hacer la evaluación técnica y económica (ver Producto 7), se seleccionó sobre el sector oriental la alternativa 3 y sobre el sector occidental la alternativa 3A.

Como se indicó anteriormente para el sector oriental se buscó la mejor opción técnica y económica, pues se entrega directamente a las quebradas existentes como los ejes del sistema de drenaje pluvial, que recolecten todo el flujo de las tuberías troncales sentido norte-sur o sur-norte, hasta entregar a cuerpos de agua principales del sistema (Canal Torca, Canal Guaymaral y Humedal Torca). Es necesario que las quebradas sean reconformadas para recibir adecuadamente los caudales de su cuenca y de los colectores. La adecuación deberá llevarse a cabo en la medida en que los planes parciales sean desarrollados, para garantizar el drenaje de cada uno de ellos.

En el costado occidental la Alternativa seleccionada es la 3A, ya que es la que permite optimizar la adecuación del sistema Torca Guaymaral y el canal del mismo nombre. La adecuación de los humedales debe llevarse a cabo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

La alternativa sugerida para el sistema de alcantarillado Pluvial se conforma con la alternativa 3 del costado oriental y la alternativa 3A del costado occidental que comprende el Sistema de Redes de Alcantarillado y la reconformación total de las quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca, la adecuación hidráulica de la totalidad del canal Guaymaral y la adecuación geomorfológica de seis (6) sectores del Humedal Torca Guaymaral (Ver Tabla 64) , cinco de ellos en el sector Guaymaral y uno en el sector Torca, lo que se muestra de manera unificada en la Figura 220.

Figura 220. Alternativa Sugerida – Alcantarillado Pluvial



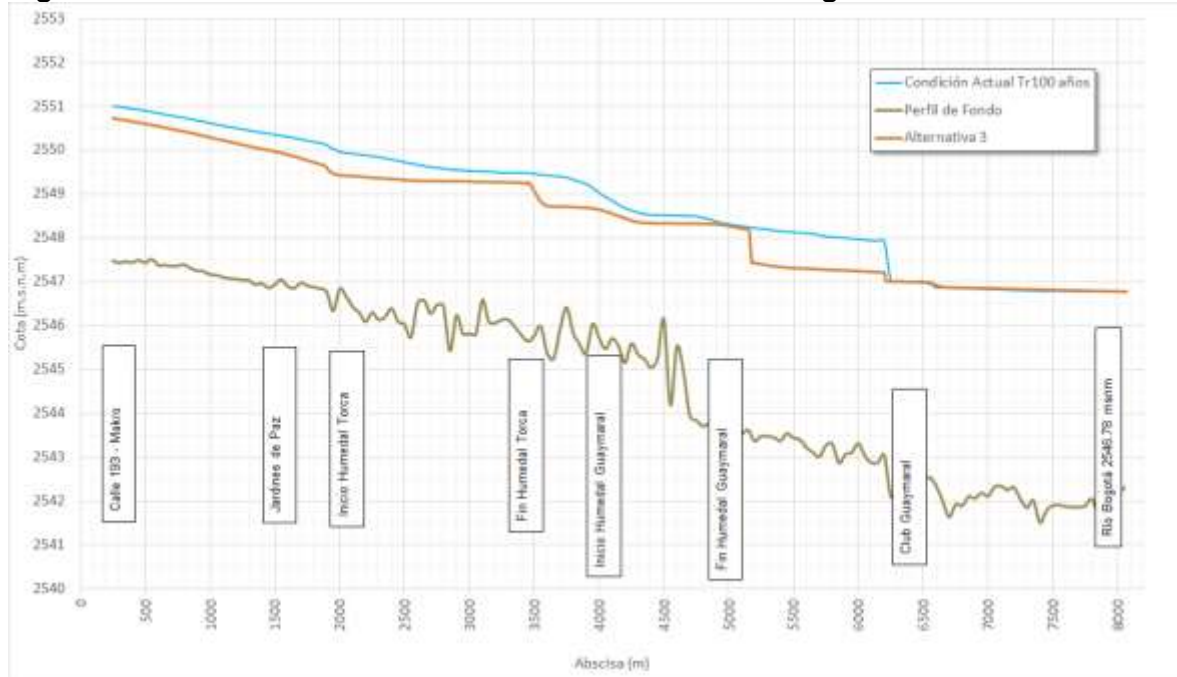
Fuente: HVM Ingenieros - WSP, 2019.

Es importante tener en cuenta que la selección de las alternativas para el sistema pluvial está basada en la implementación de las obras que genera la mejor condición de niveles en los cuerpos receptores, según lo descrito por WSP en el Producto 4 de esta consultoría, y la selección de la alternativa óptima de colectores para el costado oriental corresponde a aquella que permite conducir las aguas hacia los cuerpos de agua que existen en la zona de estudios, ya que las quebradas que pierden su curso a la altura de la Avenida 9, tienen el corredor original invadido y su restauración implica grandes movimientos de tierra.

7.1.1 Adecuación Geomorfológica de Humedales y Canales

A continuación, se muestran las adecuaciones geomorfológicas de humedales y canales de la alternativa sugerida y el perfil hidráulico del mismo.

Figura 221 Perfil hidráulico reconformación Alternativa Sugerida



Fuente: WSP; 2020

Tabla 64 Resumen obras adecuación de Humedales - Alternativa Sugerida

RECONFORMACIÓN HUMEDALES	UN	ALTERNATIVA 3A
Excavación en suelo blando h	m ³	519,533.00
Material seleccionado proveniente excavación	m ³	93,974.83
Transporte y disposición. residuos sólidos	m ³ k	17,703,257.31
Construcción Box Culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	ml	300.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m ²	303,474.20
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m ²	202,316.00

Fuente: WSP; 2020

Tabla 65 Resumen obras adecuación de Quebradas - Alternativa Sugerida

ADECUACIÓN GEOMORFOLÓGICA, RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y PAISAJÍSTICA QUEBRADAS	UN	CANTIDAD
EXCAVACIONES	m ³	158,229
RELLENOS	m ³	53,582
REST. PAISAJISTICA	m ²	235,075
REST. ECOLOGICA	m ²	527,325
ESTRUCTURAS BOX	ml	965

Fuente: WSP; 2020

Tabla 66 Resumen obras adecuación del Canal Guaymaral - Alternativa Sugerida

RECONFORMACIÓN CANAL GUAYMARAL	UN	ALTERNATIVA 3A
Excavación en suelo blando	m3	240,446.34
Material seleccionado proveniente excavación	m3	117,920.51
Transporte y disposición. residuos sólidos	m3k	5,097,074.53
Construcción box culvert (incluye excavaciones y rellenos, concreto para box, aletas, placa de aproximación, cinta para sello de juntas, pilotes y acero)	m	120.00
Índice Restauración Ecológica Quebradas (Incluye preliminares, obras exteriores, plantaciones e intervención y manejo de zonas verdes)	m2	154,400.00
Restauración Paisajística Quebradas (Incluye paisajismo, senderos, cerramientos y aislamientos)	m2	76,000.00

Fuente: WSP; 2020

7.1.2 Sistema de colectores costado occidental

La alternativa 3A consiste en la Adecuación Geomorfológica del Humedal Torca – Guaymaral y el Canal Guaymaral, junto con el drenaje de San José de Bavaria por la Av. Boyacá hasta el Río Bogotá, de igual forma se prevé el sistema de drenaje del sector occidental mediante colectores al Humedal Guaymaral.

- Cuenca 1:

Tramo 1: Colector que inicia en la Avenida Villas colindando con el Plan Parcial 1, continuando su recorrido hasta llegar a la Avenida San Antonio (Calle 183), las tuberías de este tramo manejan un diámetro desde Ø39” hasta Ø51” en material PVC y tiene una longitud aproximada de 720m. Este colector capta las aguas del Plan Parcial 1.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Villas desde la Av. San Antonio hasta la Av. Tibabita con diámetros que van desde Ø51” hasta Ø64” y una longitud aproximada de 600m. Cabe mencionar que se emplea PVC hasta Ø60”, de este diámetro en adelante se plantea el uso de GRP. Esta red conduce las aguas del tramo 1 de esta cuenca.

Tramo 3: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde la Av. Villas hasta la Autopista Norte, con un diámetro de Ø80” y cerca de 900m de longitud. Esta red recolecta y transporta las aguas del Plan Parcial 3.

Tramo 4: Localizado sobre la Av. Tibabita, desde proximidades de la Avenida Boyacá, hasta la Av. Villas, con un diámetro de Ø30”, Ø33” y Ø42”, con una longitud aproximada de 700m. Esta red recolecta y transporta las aguas provenientes de los planes parciales 2 y 3.

Tramo 5: Ubicado sobre la Autopista Norte entre Av. Tibabita y Av. Polo, manejando diámetros de Ø80”, y Ø84” con una longitud aproximada de 1300m.

- Cuenca 2:

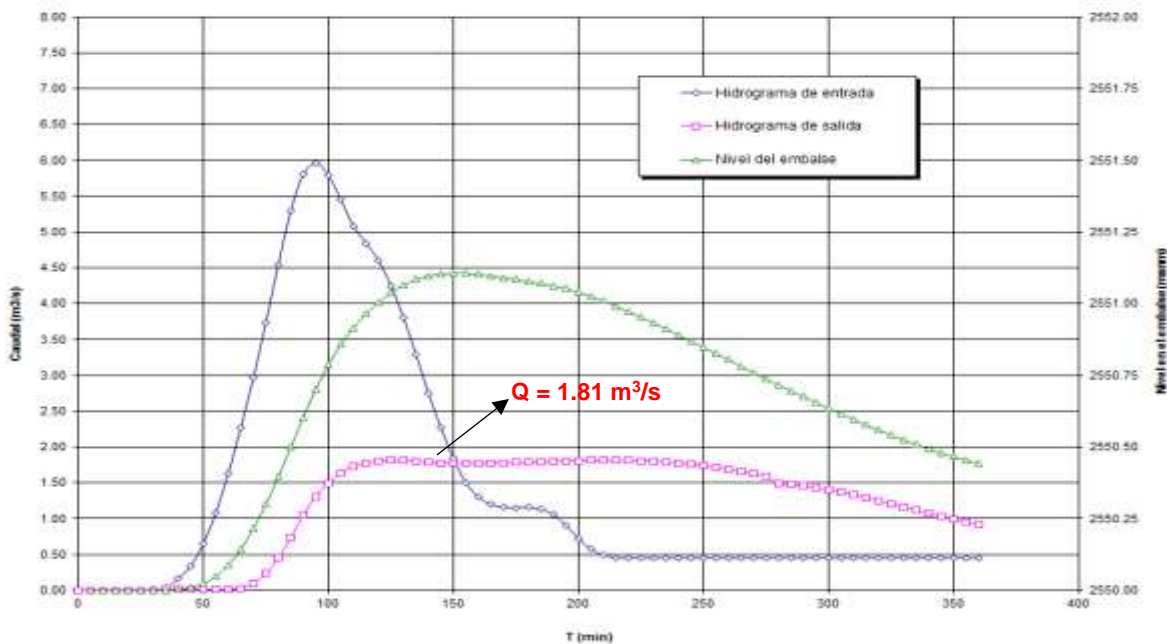
Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Boyacá desde la Avenida Tibabita hasta la Av. Polo con diámetro de Ø54" y longitud aproximada de 1100m. Esta red conduce las aguas de 10.43 ha del Plan Parcial 2.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Polo desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø54", Ø60", Ø68", Ø72", Ø84" con longitud aproximada de 2000m. Esta red conduce las aguas de los planes Parcial 5, 6, 7, 8, 9 y 32.

Es importante mencionar que en proximidades del Plan Parcial 7 "El Otoño" se localizan actualmente tres pondajes interconectados entre si (Rancho (Pondaje 4), Búho (Pondaje 3) y Otoño (Pondaje 2-1)) cuya área total corresponde a 81.44 ha (Rancho = 9.87 ha, Búho = 26.68 ha y Otoño = 44.89 ha). De acuerdo con lo anterior para el cálculo de caudal de la tubería proyectada a lo largo de la Avenida Polo, no es posible considerar de manera directa las áreas anteriormente citadas, razón por la cual la presente consultoría realiza el tránsito de hidrogramas entre los pondajes teniendo en cuenta la regulación y control que éstos ejercen en la zona.

Teniendo esto como precedente el caudal neto real aferente a la tubería proyectada sobre la avenida polo corresponde a 1.813 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, el cual es ingresado de manera puntual a la red (Pozo 67) a través de dos tuberías de 36".

Figura 222 Hidrograma Pondajes Existentes



Fuente: WSP; 2020

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Autopista Norte hasta la entrega en el inicio del Canal Guaymaral, con una tubería de Ø112" una longitud aproximada de 600m.

- Cuenca 3:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Arrayanes desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø39", Ø42", Ø45", Ø51", Ø60", Ø64" y Ø72" con una longitud cercana a 1800m.

- Cuenca 4:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la calle 215 desde la Av. Boyacá hasta la Autopista Norte con diámetros de Ø30", Ø39", Ø51" y Ø60" con una longitud cercana a 1500m.

- Cuenca 5:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Boyacá hasta antes de la Av. Villas con diámetro de Ø39" y longitud cercana a 400m.

Tramo 2: Red pluvial desde la Avenida El Jardín hasta la descarga en el humedal Guaymaral, posee diámetro de Ø54", Ø64" y Ø68" y longitud cercana a 350m.

Tramo 3: Red pluvial localizada sobre la Avenida El Jardín desde Av. Villas hasta después de la Av. Villas con diámetro de Ø42" y longitud aproximada de 260m.

- Cuenca 6:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Avenida Guaymaral desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral de Ø42", Ø48", y Ø68" con una longitud aproximada de 1000m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 26 y 27.

- Cuenca 7:

Tramo 1: Red pluvial localizada Red pluvial localizada por la vía interna del Plan Parcial 29 desde Av. Boyacá hasta la descarga en el Humedal Guaymaral con diámetro de Ø42", Ø51", y Ø60" con una longitud aproximada de 800 m. Esta red conduce parte de parte de las aguas del Plan Parcial 27 y 29.

i. Tramo 2: Red pluvial localizada al norte de la Av. Novita (Calle 242), tiene un diámetro de 36" y una longitud aproximada de 80m hasta su descarga en el Canal Guaymaral. Esta se encargará de recolectar y transportar las aguas lluvias generadas en una manzana urbanizable del Plan Parcial 29 "Mudela del Río.

- Línea Av. Boyacá hasta Rio Bogotá:

Tramo 1: Red pluvial localizada sobre la Av. Boyacá desde Av. San Antonio hasta la descarga en el río Bogotá con diámetro de Ø112" y Ø120" en tubería de GRP con una longitud aproximada de 5000m, adicionalmente a la altura de la Avenida

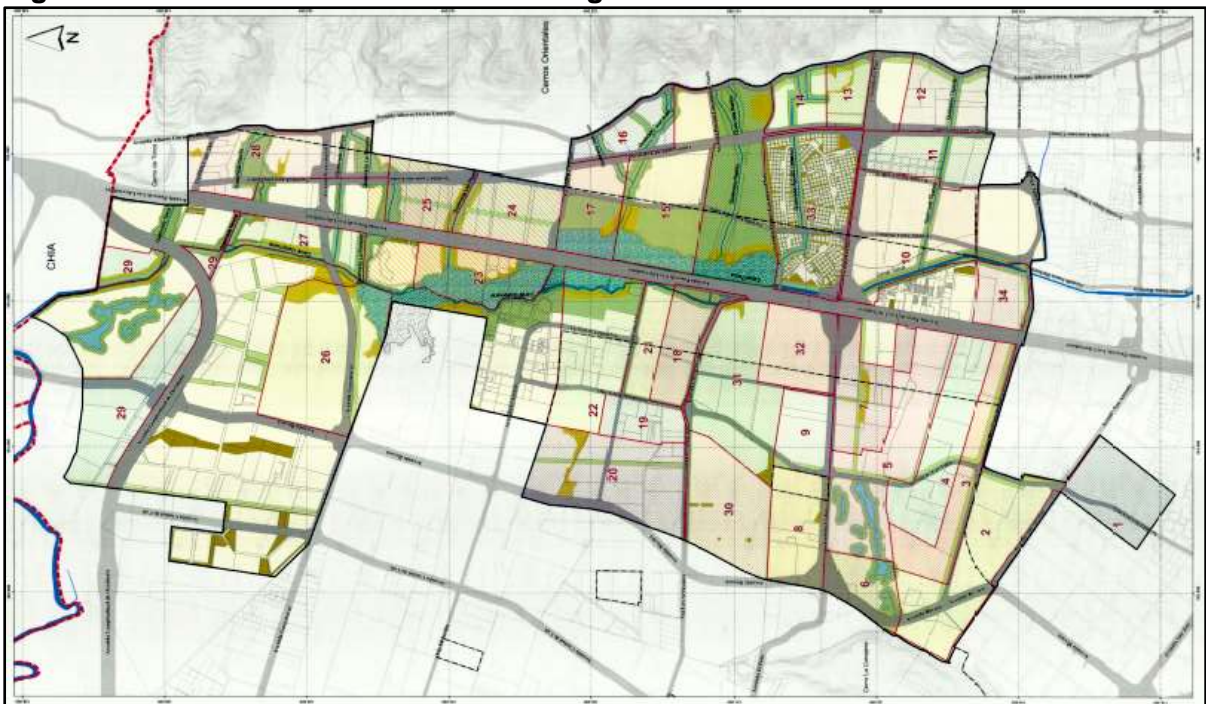
Guaymaral se plantea una pacha (doble tubería) de 100” con una longitud aproximada de 2600m hasta la descarga en el Río Bogotá. Cabe mencionar que este tramo recolectará las aguas lluvias provenientes de San José de Bavaria, las cuales serán conducidas hasta el Río Bogotá.

Tramo 2: Red pluvial localizada sobre la Avenida Novita (Calle 242) hasta la Avenida Boyacá con un diámetro de 36” y una longitud aproximada de 250m.

7.2 DESARROLLO DE UNIDADES FUNCIONALES Y/O ETAPAS DE DESARROLLO – DRENAJE OCCIDENTAL

Teniendo en cuenta la información suministrada por el Fideicomiso en el cual se presentan los desarrollos de los Planes Parciales a futuro inmediato, mediano plazo y largo plazo, para el sistema de alcantarillado pluvial se proponen las siguientes Fases.

Figura 223 Desarrollo Planes Parciales Lagos de Torca

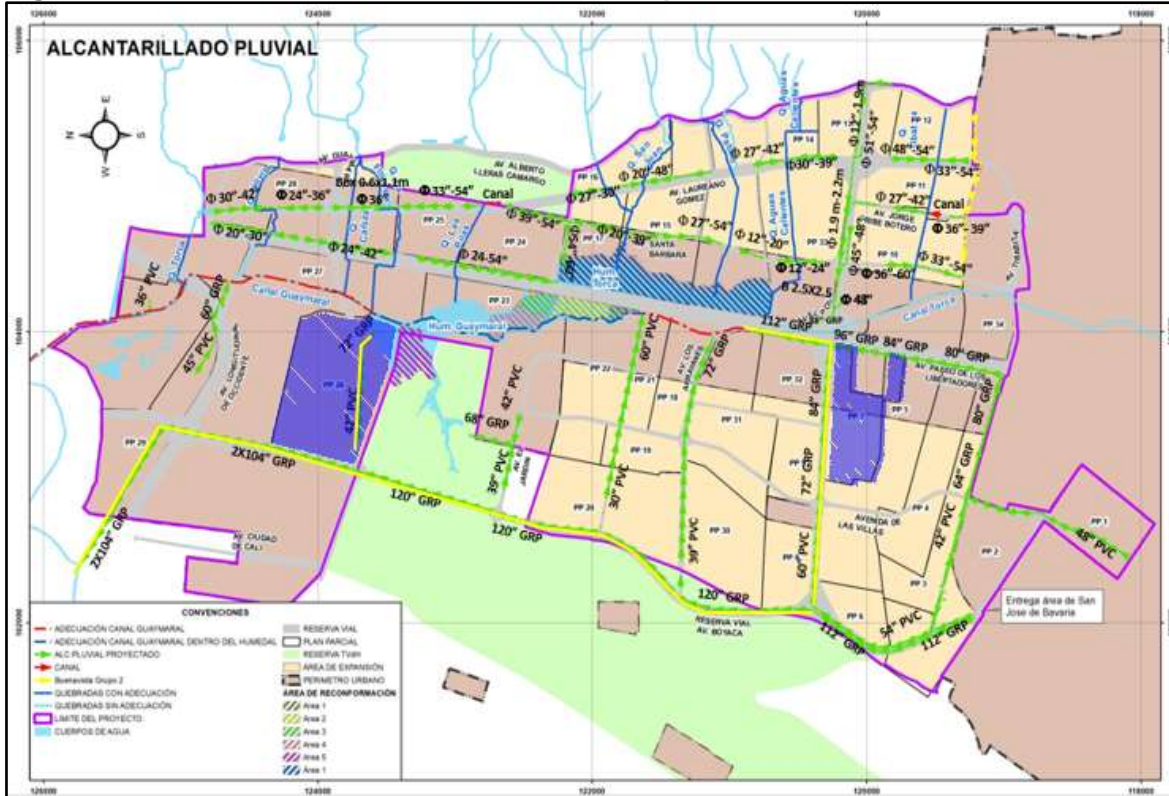


Fuente: Planos Decreto 088-2017, Anexo 13.

➤ Desarrollo Unidad Funcional 2 o Etapa de Desarrollo Inmediata

Los Planes Parciales No. 7 “El Otoño” y No. 26 “El Bosque” hacen parte de la unidad Funcional 2 del proyecto, por lo anterior para el drenaje de aguas lluvias de estos Planes Parciales se deberán realizar las siguientes obras.

Figura 224 Desarrollo Unidad Funcional 2 o Etapas de desarrollo inmediata.



Fuente: WSP; 2020

Plan Parcial No. 7 “El Otoño” y No. 26 “El Bosque”: Se proyecta red de 60” en PVC, 72” en GRP, 84” en GRP y 112” en GRP sobre la AC 201 (Av. El Polo) desde la AK 72 (Av. Boyacá) hasta la AK 45 (Autopista Norte) y hasta entregar al Canal Guaymaral.

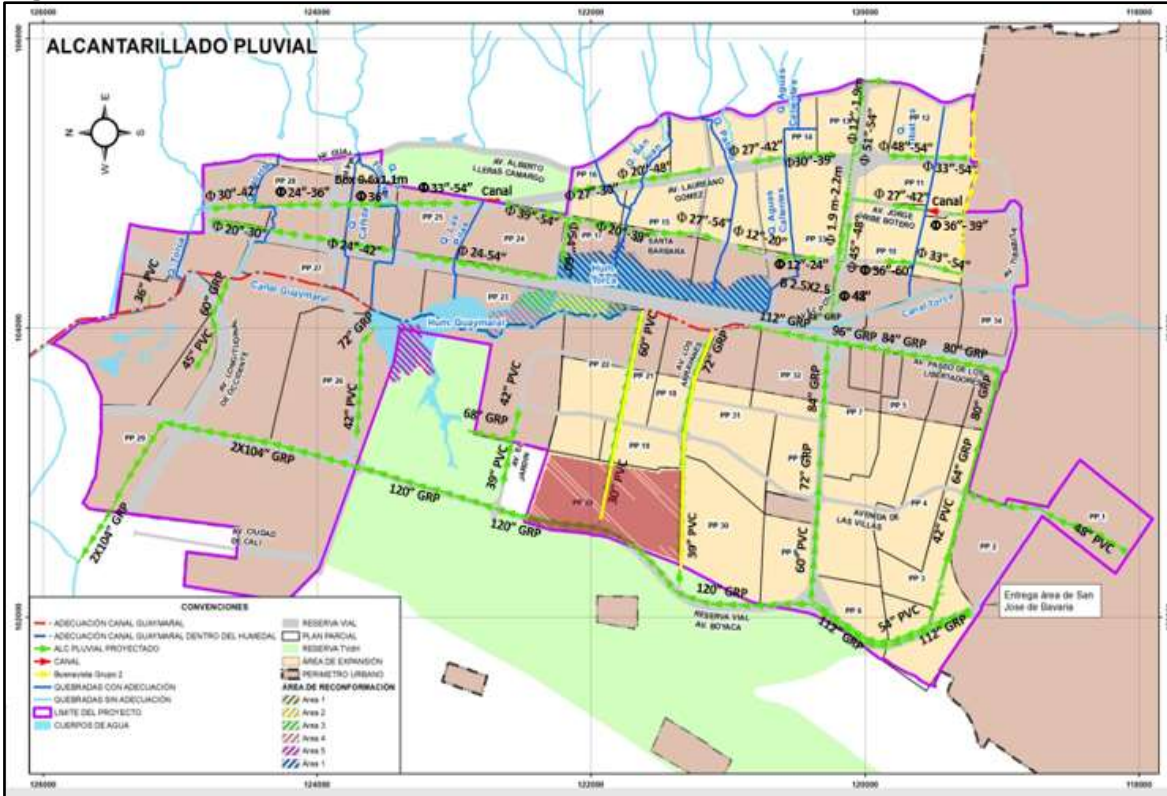
Se proyecta red de 42” en PVC y 68” en GRP sobre la Av. Guaymaral desde la AK 72 (Av. Boyacá) hasta la entrega al Humedal Guaymaral.

Así mismo se proyectan redes de 120” en GRP y 2X100” en GRP localizadas sobre la AK 72 (Av. Boyacá) entre la AC 201 (Av. El Polo) y la entrega al Rio Bogotá.

➤ **Desarrollo Unidad Funcional 3 o Etapa de Desarrollo Inmediata**

El Plan Parcial No. 2 “El Carmen” hace parte de la unidad Funcional 3 del proyecto, por lo anterior para el drenaje de aguas lluvias de este Plan Parcial se deberán realizar las siguientes obras.

Figura 226 Desarrollo de etapas a mediano plazo Plan Parcial No. 20 “El Coral”.

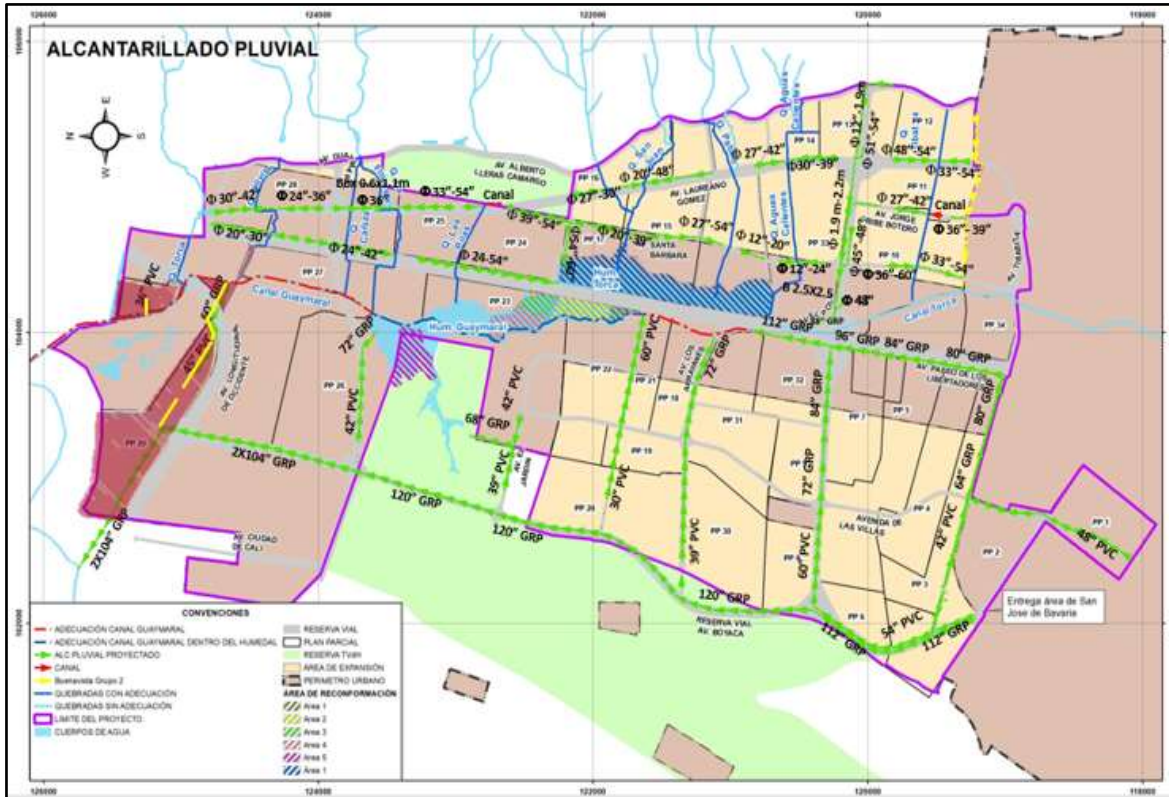


Fuente: WSP; 2020

Plan Parcial No. 20 “El Coral”: Se proyectan redes de 30” en PVC y 60” en PVC sobre la Av. Calle 245 desde la AK 72 (Av. Boyacá) hasta la entrega al Canal Guaymaral y red de 39” en PVC y 72” en GRP sobre la Av. Arrayanes desde la AK 72 (Av. Boyacá) hasta la entrega al Canal Guaymaral.

El Plan Parcial No. 29 “Múdela del Rio” hace parte del Desarrollo a Mediano Plazo del proyecto, por lo anterior para el drenaje de aguas lluvias de este Plan Parcial se deberán realizar las siguientes obras.

Figura 227 Desarrollo de etapas a mediano plazo Plan Parcial No. 29 “Múdela del Río”.



Fuente: WSP; 2020

Plan Parcial No. 29 “Múdela Del Río”: Teniendo en cuenta las redes a construir por la Unidad Funcional 2, se proyecta red de 36” en PVC, 42” en PVC y 60” en GRP sobre la vía local del Plan Parcial No. 29 paralela a la ALO (Avenida Longitudinal de Occidente) desde la AK 72 (Avenida Boyacá) hasta cubrir el frente de sus predios.

Los demás Planes Parciales que hacen parte del **Desarrollo a Largo Plazo** del proyecto, deberán realizar el restante de las obras correspondientes a la alternativa sugerida, para el suministro de Agua potable.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las tres alternativas presentadas se diseñan para la totalidad del caudal de aporte de los caudales de aguas lluvias generados en la zona occidental, lo cual se ha tenido en cuenta los Planes Parciales, considerando el incremento en el coeficiente de escorrentía de estas zonas, comparado con la condición actual. Todas las alternativas contemplan el aporte de las aguas pluviales aferentes desde la zona de San José de Bavaria, entre la calle 170 y la calle 183. Se aclara que las condiciones hidrológicas e hidráulicas del sector oriental se han tenido en cuenta para proponer la adecuación Geomorfológica.

Para la elección de la alternativa se tuvo en cuenta, además del aspecto técnico hidráulico, la incorporación de elementos como el diseño geométrico vial, el urbanismo, y sobre todo el cronograma de construcción general, para así tener la integralidad de elementos que permitan la ejecución de las obras en los términos de tiempo requeridos para el desarrollo urbanístico.

El sistema de humedales Torca y Guaymaral tienen una amplia capacidad de almacenamiento y/o amortiguación de caudales, aunque requerirán de acciones de adecuación para mejorar el confinamiento total del aporte pluvial para la condición futura de urbanismo. Estas obras se deberán complementar con la reconfiguración de canales, reemplazo de obras transversales, que mejoren las condiciones del flujo del sistema hídrico.

Luego de la evaluación de alternativas mediante la matriz multicriterio se obtuvo que la alternativa 3A es la más viable desde el punto de vista técnico y económico. Debe tenerse en cuenta que con la implementación de esta alternativa se consigue conducir el caudal generado por San José de Bavaria hacia el Río Bogotá, mediante un colector por la Avenida Boyacá a gravedad, minimizando de esta forma los costos de operación y mantenimiento porque no se requiere de un sistema de Bombeo. Otra ventaja que tiene la alternativa 3A es que logra disminuir la mayoría de los diámetros de los colectores que se ubican sobre las vías colindantes a los futuros desarrollos. De igual manera esta Alternativa permite disminuir la carga hidrológica que recibirá el Humedal, mejorando así las condiciones de amortiguación y niveles de inundación esperados. Es claro que estos niveles máximos serán el resultado de la adecuación geomorfológica del humedal, la cual se prevé realizar dentro del límite de la ZMPA del Humedal, como lo establece el Decreto 088 de 2017.

En la Alternativa No. 2 se planea un sistema de elevación de caudales mediante una estación de bombas tipo helicoidal o de Tornillo, con el fin de elevar las aguas del Interceptor proveniente del canal Torca, el cual recoge además las descargas pluviales de los Planes Parciales entre la Autopista Norte y la Avenida Boyacá, a través de la Avenida Arrayanes hasta un pondaje y estación elevadora en la margen izquierda del río Bogotá.

La alternativa 3 se formula a partir del Concepto emitido por la CAR en el sentido de que, desde el punto de vista jurídico, es viable la posibilidad de adelantar la extensión de infraestructura de servicios públicos dentro de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., "Thomas van der Hammen" sin que deba mediar la sustracción previa del área a intervenir de conformidad con el cumplimiento previo de requisitos que contempla el Plan de manejo Ambiental – Acuerdo CAR No. 21 de 2014.

Lo anterior implica que la sustracción de la Avenida Boyacá, que se gestiona en la actualidad, no impide la implementación de las redes de servicios públicos por este corredor desde la Av. El Polo hasta la Av. Longitudinal de Occidente. Hacia el sur estos sistemas drenarán a gravedad a través de la Avenida Arrayanes, hasta el Río Bogotá.

De acuerdo con los costos presentados, la Alternativa 1 es la más económica de las cuatro alternativas propuestas, seguida de la Alternativa 3B, la Alternativa 3A y por último la Alternativa 2. Esta última sería la que inicialmente quedaría descartada dado que su costo es muy elevado con relación al beneficio generado en el sistema hídrico, por la escasa disminución de niveles logrado con su implementación. La Alternativa 1 sería la siguiente opción en descartar, si se tiene en cuenta que la limitación en las áreas de adecuación que esta propone, aumentan los niveles de inundación, lo que igualmente limitaría la condición de una descarga favorable del sistema de alcantarillado pluvial de la zona occidental del Plan Zonal. En cuanto a la Alternativa 3B, a pesar de que es menos costosa que la Alternativa 3A, su implementación implica llevar a cabo una intervención a través de un sector comprendido entre el corredor de la Avenida Boyacá y el Río Bogotá, que podría generar dificultades en la gestión predial y ambiental del trazado propuesto; de esta manera, la alternativa 3A, que no siendo la más económica, resulta como la más adecuada para garantizar el adecuado drenaje del Plan Zonal de Lagos de Torca.

Las cotas de instalación presentadas corresponden a las cotas de terreno actuales, sin embargo, se deben ajustar a las cotas rasantes definitivas, una vez se tengan los diseños viales con perfiles y secciones para la verificación de alturas mínimas.

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas con bajas pendientes, las profundidades de instalación y las características constructivas en la zona, se recomienda el uso de tuberías de PVC pared estructural para diámetros de hasta 30" y tuberías en fibra de vidrio GRP para diámetros superiores.

Para el sector comprendido entre la desembocadura de la quebrada Nóvita hasta el río Bogotá, todas las alternativas dan como resultado que los predios a lado y lado del Canal en este sector bajo de la cuenca, no estarán sujetos a inundaciones, aun teniendo en cuenta el efecto de remanso generado por el Río Bogotá, para la condición de nivel máximo de diseño en este en un período de retorno de 100 años. Estas obras permitirán el control de las láminas de inundación relacionadas con el remanso hidráulico generado por el río Bogotá en momento de crecida, como las ocasionadas por el flujo de agua desde la cuenca Torca-Guaymaral, hacia el Río.

En lo que respecta a los niveles de la lámina de agua dentro de los cauces de quebradas reconformados y la del terreno natural adyacente, se observa particularmente que en los tramos cercanos a la desembocadura en el humedal o al canal Guaymaral, se requiere un confinamiento elevado en el terraplén de la reconformación, debido al control de los niveles ejercido por estos cuerpos de agua receptores. De esta manera será necesario que las zonas adyacentes, prevean rellenos en esta zona inmediata, para garantizar la ocurrencia del drenaje a gravedad de dichas áreas. Estas zonas principalmente corresponden a las del Parque Metropolitano Distrital de Guaymaral que circunda el límite del Humedal, para el cual, en fases de diseño posterior a las que se encuentra actualmente este equipamiento, se deberá considerar este tipo de requerimientos. Los casos especiales de zonas que ya se encuentran con actuales desarrollos, tales como los

Clubes Guaymaral, Tennis Bogotá, Colsubsidio y Bima, deben propender por la infraestructura necesaria para evitar que durante la ocurrencia de los niveles máximos de diseño en Humedal como en Quebradas, previstos en estos diseños, puedan realizar el drenaje de las aguas de escorrentía, que debido a las condiciones morfológicas de esos predios, no logren drenar a gravedad.

Desde el punto de vista de los resultados de esta consultoría, la recomendación para el planteamiento del drenaje pluvial para la zona norte de la ciudad, a la Alternativa 3A, en la cual, una parte del drenaje actual y proyectado, confluye al Río Bogotá, mientras que las demás áreas confluyen hacia el Canal Torca, el Canal Guaymaral y el humedal Torca-Guaymaral, previo la ejecución de las acciones de adecuación geomorfológica de estos cuerpos de agua.

En cuanto al sistema de drenaje de las áreas consolidadas actuales, estas seguirán drenando a través de los sistemas existentes (vallados o canales) al sistema de drenaje natural o en la medida de lo posible a los vallados previstos por el Decreto 088 de 2017. Las adecuaciones de estos sistemas de drenaje se deben llevar a cabo a partir de los diseños previstos para las vías sobre las que se implementan.

Un análisis particular requiere las obras necesarias para el cruce de la Autopista Norte, debido a que, en la actualidad, ocasionan control del flujo hacia la zona del sistema Guaymaral (Canal y Humedal). La propuesta de adecuación de estas obras de cruce deberá evaluarse de manera conjunta con el manejo que el futuro concesionario de la Autopista Norte (Agencia Nacional de Infraestructura y Distrito Capital) plantee para el drenaje de esta infraestructura. Esta solución debe incorporar el manejo de conectividad ecosistémica requerida, con miras a la restauración del sistema hídrico y su función conectora de la Reserva Van der Hammen y los Cerros Orientales de la Sabana. Es de anotar que la sobras de cruce hidráulico propuesta en este análisis para garantizar la continuidad del flujo hidrológico en el Humedal, deben estar acompañadas de las consideraciones de conexión ecosistémica indicadas, según lo cual las obras que se van a establecer como definitivas para estos cruces, deben considerar los pasos de fauna como elementos vinculantes de conexión biótica entre el humedal y las quebradas que fluyen hacia este cuerpo de agua, sirviendo de conectores del sistema Río Bogotá – Humedal – Cerros Orientales. Estos elementos de conexión deberán seguir las recomendaciones establecidas por el Plan de Manejo Ambiental del Humedal.

Un determinante general para este proyecto de infraestructura serán los niveles máximos del humedal en el sector de Torca y que para las condiciones actuales tiene un valor que varía entre 2549.96 mnsnm en la desembocadura del canal Torca (Jardines de Paz), y 2549.49 msnm al final del humedal (Acceso al Club Deportivo Los Millonarios). De todas maneras, dentro de los escenarios modelados, se incluyó uno que pretende simular una condición de la futura rasante de la vía elevada, mediante un terraplén, con perfil variable, que inicia en el sector de la Calle 190 y culmina en la Calle 245.

Esta rasante varía, desde el nivel actual de la Autopista Norte en el sector de la calle 190 (2550.0 msnm aproximadamente), hasta un valor máximo de 2556.0 msnm hacia la zona media del Humedal.

En lo que respecta a los aportes de sedimentos hacia los cuerpos de agua (humedal y quebradas) y analizados desde el punto de vista hidráulico, el control se debe establecer

inicialmente haciendo una diferenciación entre el flujo torrencial de las cuencas altas, aguas arriba de la Carrera Séptima, que son sinónimo de flujo supercrítico o rápido, bien diferente al comportamiento de los flujos lentos, subcríticos o fluviales, de las zonas llanas. En el primer caso, el transporte de sedimentos tiene características inherentes al fenómeno aluvional, con la ocurrencia de caudales sólidos y la presencia de crecidas súbitas y violentas. Normalmente la corrección de estos procesos debe incluir acciones tanto en los cauces, con obras de ingeniería hidráulica, como en la cuenca de aporte, con acciones mecánicas y biológicas, dentro de lo posible. Se recomienda por lo tanto que se lleven a cabo los diseños que establezcan el tipo de elementos de control de sedimentos en el cauce de cada quebrada, para el tramo aguas arriba de la carrera Séptima, los cuales pueden constar de sistemas de desarenado, barreras geomecánicas o la implementación de azudes en tramos, que minimicen la energía durante el tránsito de eventos torrenciales.

En la zona baja de las cuencas, las obras de control de la erosión superficial tienen carácter típicamente extensivo e incluyen aquellas intervenciones de ingeniería hidráulica y/o naturalista orientadas a la consolidación de las laderas. Las obras de control están destinadas al control de la red hidrográfica a través de la modificación de la capacidad de transporte sólido de los cursos de agua, la estabilización de la morfología física (pendiente de equilibrio) limitando las divagaciones y los cambios de la cota de fondo.

A nivel de los desarrollos urbanísticos, se propone evaluar la implementación de elementos de retención de sedimentos a través de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS, mediante los cuales se haga la retención primaria de los sólidos finos que puedan arrastrarse a través de los sistemas de drenaje pluvial, previo a la descarga a los sistemas hídricos naturales.

La determinación del CN para las cuencas de drenaje evaluadas dentro de la Actualización del Plan Maestro de Alcantarillado del Borde Norte, es decir para la estimación de los sistemas troncales de drenaje pluvial, se recomienda sea llevada a cabo con el empleo de los coeficientes de escorrentía estimados en el presente estudio. Al momento de llevar a cabo los desarrollos urbanísticos particulares, este análisis deberá especificarse según los tipos de cobertura del suelo previstas al interior de cada agrupación o uso previsto. Para el nivel del Plan Zonal, la estimación futura de la condición de escurrimiento, se efectuó con base en las coberturas previstas por el Decreto 088 de 2017 (Plano 12/21).

La alternativa sugerida para el sistema de alcantarillado Pluvial se conforma con la alternativa 3 del costado oriental y la alternativa 3A del costado occidental que comprende el Sistema de Redes de Alcantarillado, la reconfiguración total de las quebradas en el ámbito del Plan Zonal Lagos de Torca, la adecuación hidráulica de la totalidad del canal Guaymaral y la adecuación geomorfológica de seis (6) sectores del Humedal Torca Guaymaral.

En el producto 12 contiene el plan de inversiones y fases del proyecto para cada una de las alternativas planteadas, presentando como tal una cronología de desarrollo en el tiempo con un flujo aproximado de inversiones.

En las fases posteriores del proyecto y que están relacionadas con los diseños de la ingeniería de detalle, se debe incorporar los resultados que a nivel de diseño conceptual



se han establecido en esta consultoría, en cuanto a la propuesta de adecuación hidrogeomorfológica del Humedal y la reconfiguración de los cauces para las nueve (9) quebradas afluentes. Esos diseños deben tener en cuenta la definición detallada de las estructuras de cruce de las quebradas, de las principales vías, incluyendo las de la Autopista Norte y la vía del ferrocarril (Avenida Novena), así como de elementos que hacen parte del manejo que se ha previsto, tales como las estructuras de retención de sedimentos y control geomorfológico de los cauces, estructuras de control de sedimentos aguas arriba de la Carrea Séptima, así como las estructuras de entrega previstas para el río Bogotá en el Canal Guaymaral, como del Interceptor de la Avenida Boyacá.

Anexo 1 Memorias de cálculo

Anexo 2 Presupuesto

Anexo 3 Modelo Hidráulico



Anexo 4 Planos

Anexo 5 Interferencias