

---

## TABLA FUENTE DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA .....	17
5.1	MEDIO ABIÓTICO.....	18
5.1.1	Geología.....	18
5.1.2	Geología estructural / tectónica .....	29
5.1.3	Sismicidad .....	32
5.1.4	Geomorfología.....	37
5.1.5	Suelos y usos del suelo .....	82
5.1.6	Hidrología .....	102
5.1.7	Calidad del agua.....	150
5.1.8	Usos del agua .....	170
5.1.9	Hidrogeología .....	174
5.1.10	Geotecnia .....	192
5.1.11	Atmósfera .....	252

## LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Trazabilidad caracterización área de influencia.....	17
Tabla 5.2 Distribución de unidades geológicas.....	29
Tabla 5.3 Radio de análisis para el área de estudio.....	32
Tabla 5.4 Características de los eventos sísmicos históricos para el área de estudio	32
Tabla 5.5 Valores de Aa, Av y Ad del proyecto.....	37
Tabla 5.6 Unidades y subunidades geomorfológicas a nivel regional.....	41
Tabla 5.7 Distribución de subunidades geomorfológicas.....	46
Tabla 5.8 Distribución de los diferentes rangos de pendiente del terreno.....	47
Tabla 5.9 Distribución de la curvatura.....	51
Tabla 5.10 Insumos utilizados para la elaboración del análisis multitemporal.....	51
Tabla 5.11 Clasificación de los resultados de Susceptibilidad a la Erosión (Se).....	70
Tabla 5.12 Parámetro Vegetación (V).....	71
Tabla 5.13 Parámetro pendiente (s).....	72
Tabla 5.14 Parámetro geología (Geo).....	72
Tabla 5.15 Distribución de la susceptibilidad por ocurrencia de procesos erosivos.	74
Tabla 5.16 Reclasificación para la susceptibilidad ante procesos de remoción en masa.....	75
Tabla 5.17 Susceptibilidad por litología (SL).....	76
Tabla 5.18 Susceptibilidad por geomorfología (SG).....	76
Tabla 5.19 Susceptibilidad por hidrogeología (SH).....	77
Tabla 5.20 Susceptibilidad por cobertura de la tierra (SC).....	78
Tabla 5.21 Susceptibilidad por densidad de drenajes (SD).....	78
Tabla 5.22 Susceptibilidad por pendientes (P).....	79
Tabla 5.23 Susceptibilidad por morfodinámica (SM).....	80
Tabla 5.24 Nomenclatura aplicada en la unidad fisiográfica (paisaje, clima y suelos)	84
Tabla 5.25 Nomenclatura aplicada en la zonificación climática.....	84
Tabla 5.26 Unidades de suelos del área de influencia del componente suelos.....	84
Tabla 5.27 Uso actual del suelo del área de influencia del componente suelos.....	88

Tabla 5.28 Vocación del suelo del área de influencia del componente suelos .....	94
Tabla 5.29 Categorías de conflictos de uso de la tierra.....	96
Tabla 5.30 Conflictos de uso del suelo del área de influencia del componente suelos	97
Tabla 5.31 Servicios ecosistémicos del área de influencia del componente suelos	101
Tabla 5.32 Estaciones con registros de precipitaciones cercanas al proyecto en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional.....	104
Tabla 5.33 Estaciones con datos de precipitación procesados (1981-2010) en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional.....	104
Tabla 5.34 Estaciones con registros de caudal cercanas a la zona de influencia en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional.....	105
Tabla 5.35 Relación de cruces de las líneas de transmisión con los cuerpos de agua	106
Tabla 5.36 Parámetros morfométricos de las cuencas asociadas a los sitios de cruce	115
Tabla 5.37 Parámetros de forma de las cuencas asociadas a sitios de cruce.....	116
Tabla 5.38 Información general de las estaciones de precipitaciones y caudales .	117
Tabla 5.39 Resultado prueba de homogeneidad.....	121
Tabla 5.40 Resultados de la prueba Mann-Kendall.....	122
Tabla 5.41 Resultado prueba Pettit.....	122
Tabla 5.42 Estaciones de precipitación utilizadas en el balance hídrico a largo plazo	125
Tabla 5.43 Estación Las Flores – Temperatura mensual (°C).....	130
Tabla 5.44 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Temperatura mensual (°C).....	131
Tabla 5.45 Comparación de resultados de temperatura media .....	133
Tabla 5.46 Evapotranspiración Potencial para la estación Las Flores .....	136
Tabla 5.47 Evapotranspiración Potencial para la estación A.E. Cortissoz.....	137
Tabla 5.48 Caudales medios estimados para la estación Sta Rosalia .....	137
Tabla 5.49 Caudales medios de las cuencas de interés .....	138
Tabla 5.50 Coeficientes de escorrentía para las cuencas analizadas por periodo de retorno .....	141
Tabla 5.51 Tiempos de concentración para las cuencas de interés .....	142
Tabla 5.52 Precipitación máxima en 24 horas por periodo de retorno.....	142
Tabla 5.53 Intensidades de lluvia para las cuencas de interés.....	144

---

Tabla 5.54 Precipitaciones de diseño en las cuencas de interés .....	144
Tabla 5.55 Caudales máximos estimados por el método racional en las cuencas de interés .....	145
Tabla 5.56 Caudales máximos estimados por el método SCS en las cuencas de interés .....	145
Tabla 5.57 Caudales máximos estimados por el método W&H en las cuencas de interés .....	146
Tabla 5.58 Caudales máximos estimados para las cuencas de interés .....	146
Tabla 5.59 Comparación de caudales máximos.....	147
Tabla 5.60 Caudales mínimos para las cuencas de interés .....	148
Tabla 5.61 Clasificación del índice de aridez .....	149
Tabla 5.62 Índice de aridez en la zona de estudio .....	149
Tabla 5.63 Puntos de monitoreo de calidad del agua.....	151
Tabla 5.64 Descripción del punto FO1 .....	153
Tabla 5.65 Descripción del punto FO2.....	153
Tabla 5.66 Descripción del punto FO3.....	154
Tabla 5.67 Descripción del punto MU1 .....	154
Tabla 5.68 Descripción del punto MR1 .....	155
Tabla 5.69 Descripción del punto MR2 .....	156
Tabla 5.70 Descripción del punto MR3 .....	156
Tabla 5.71 Puntos de monitoreo de calidad del agua.....	157
Tabla 5.72 Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos analizados – parte 1 .....	158
Tabla 5.73 Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos analizados – parte 2 .....	159
Tabla 5.74 Resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) para las aguas superficiales monitoreadas .....	168
Tabla 5.75 Resultados del cálculo del Índices de Contaminación del Agua (ICO) para las aguas superficiales monitoreadas .....	169
Tabla 5.76 Corrientes de agua interceptadas por la línea de transmisión .....	171
Tabla 5.77 Revisión de información .....	176
Tabla 5.78 Usuarios de puntos de agua subterránea.....	178
Tabla 5.79 Clasificación general para la definición de unidades hidrogeológicas..	182



Tabla 5.80 Definición de unidades hidrogeológicas de la zona de interés.....	183
Tabla 5.81 Variables y evaluación de zonas de recarga .....	187
Tabla 5.82 Clasificación de la amenaza por procesos de remoción en masa .....	193
Tabla 5.83 Correlación entre amenaza por movimientos en masa y categorías de estabilidad geotécnica.....	194
Tabla 5.84 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Termoflores – S.E. Oasis.....	203
Tabla 5.85 Datos de referencia de las exploraciones ejecutadas en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	205
Tabla 5.86 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro.....	206
Tabla 5.87 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores.....	207
Tabla 5.88 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena .....	208
Tabla 5.89 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa.....	211
Tabla 5.90 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión.....	212
Tabla 5.91 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	213
Tabla 5.92 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	213
Tabla 5.93 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	214
Tabla 5.94 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	215
Tabla 5.95 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro.....	215
Tabla 5.96 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro.....	216
Tabla 5.97 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores.....	216
Tabla 5.98 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores.....	217
Tabla 5.99 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena .....	217

Tabla 5.100 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena .....	217
Tabla 5.101 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa.....	218
Tabla 5.102 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa .....	218
Tabla 5.103 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión .....	219
Tabla 5.104 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión.....	219
Tabla 5.105 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis.....	220
Tabla 5.106 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio.....	221
Tabla 5.107 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro .....	223
Tabla 5.108 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores.....	224
Tabla 5.109 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena .....	225
Tabla 5.110 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa.....	227
Tabla 5.111 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión .....	228
Tabla 5.112 Incremento de la masa unitaria total en función de la profundidad ....	230
Tabla 5.113 Clasificación de suelos expansivos (NSR-10, 2010) (Tabla H.9.1-1).	230
Tabla 5.114 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión .....	231
Tabla 5.115 Parámetros geotécnicos normalizados en suelos arenosos .....	231
Tabla 5.116 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión .....	232
Tabla 5.117 Modelo Geotécnico I entre sondeos 3, 4 y 5 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	233
Tabla 5.118 Modelo Geotécnico II entre sondeos 6, 7, 8 y 9 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	233
Tabla 5.119 Modelo Geotécnico III entre sondeos 10, 11 y 12 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis.....	233

Tabla 5.120 Modelo Geotécnico IV entre sondeos 13, 14, 15, 16, 17 y 18 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	233
Tabla 5.121 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 Línea Subterránea kV S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	234
Tabla 5.122 Modelo Geotécnico II entre sondeos 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	234
Tabla 5.123 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro.....	234
Tabla 5.124 Modelo Geotécnico I entre sondeos 9, 10, 11 Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro.....	235
Tabla 5.125 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 y 2 Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores .....	235
Tabla 5.126 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 al 22 Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena .....	235
Tabla 5.127 Modelo Geotécnico II entre sondeos 23 y 24 Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena .....	235
Tabla 5.128 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa.....	236
Tabla 5.129 Modelo Geotécnico II entre sondeos 3 y 4 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa.....	236
Tabla 5.130 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 y 2 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión .....	236
Tabla 5.131 Modelo Geotécnico II entre sondeos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión.....	237
Tabla 5.132 Tabla A.2.4-1 de la NSR-10 .....	238
Tabla 5.133 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos.....	239
Tabla 5.134 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos cortos.....	239
Tabla 5.135 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión .....	240
Tabla 5.136 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	242
Tabla 5.137 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	242
Tabla 5.138 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	242
Tabla 5.139 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	243
Tabla 5.140 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	243
Tabla 5.141 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	243

Tabla 5.142 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	244
Tabla 5.143 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	244
Tabla 5.144 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	244
Tabla 5.145 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	245
Tabla 5.146 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	245
Tabla 5.147 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	245
Tabla 5.148 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	246
Tabla 5.149 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	246
Tabla 5.150 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	246
Tabla 5.151 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	247
Tabla 5.152 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades.....	247
Tabla 5.153 Variables climatológicas analizadas .....	252
Tabla 5.154 Estación Las Flores - Temperatura mensual (°C).....	255
Tabla 5.155 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Temperatura mensual (°C).....	257
Tabla 5.156 Presión atmosférica en los sitios donde se encuentran ubicadas las estaciones analizadas .....	259
Tabla 5.157 Estación Las Flores – Presión media mensual (mBar) .....	260
Tabla 5.158 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Presión media mensual (mBar) ..	261
Tabla 5.159 Estaciones de precipitación con influencia en la zona de estudio.....	262
Tabla 5.160 Estación Las Flores- Humedad Relativa media mensual (%) .....	267
Tabla 5.161 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Humedad Relativa media mensual (%) .....	268
Tabla 5.162 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar media mensual (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	280
Tabla 5.163 Vías presentes en el área de intervención del proyecto .....	281
Tabla 5.164 Coordenadas de puntos de aforo vehicular .....	282
Tabla 5.165 Aforo vehicular según tipo de vehículo .....	284
Tabla 5.166 Resultados de aforo vehicular según tipo de carga .....	284
Tabla 5.167 Localización estaciones de calidad de aire SVCA de SISAIRE .....	289
Tabla 5.168 Concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y CO de las SVCA de 2020289	
Tabla 5.169 Punto de corte del ICA .....	293
Tabla 5.170 Índice de calidad del aire -ICA- de los SVCA analizados.....	293

Tabla 5.171 Puntos de monitoreo de ruido .....	294
Tabla 5.172 Descripción de las fuentes de generación de ruido .....	295
Tabla 5.173 Resultados de ruido ambiental .....	297
Tabla 5.174 Proyección de nivel de ruido para la etapa de construcción .....	300

## LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 Geología regional según la Plancha 17 – Barranquilla; las líneas magenta corresponden al área de estudio .....	19
Figura 5.2 Columna estratigráfica Formación Hibácharo en arroyo Piojó .....	21
Figura 5.3 Columna estratigráfica Formación Tubará en arroyo Morrotillo .....	23
Figura 5.4 Columna estratigráfica Formación La Popa en la vía Puerto Colombia - Barranquilla .....	25
Figura 5.5 Geología local .....	28
Figura 5.6 Estructural del Cinturón Sinú – San Jacinto .....	30
Figura 5.7 Intensidades EMS-98 para el sismo de 1834-05-22 .....	33
Figura 5.8 Intensidades EMS-98 para el sismo de 1975-04-05 .....	34
Figura 5.9 Distribución de magnitud y profundidad de los eventos en el área de análisis .....	35
Figura 5.10 Sismicidad instrumental en el radio de análisis por rangos en profundidad .....	36
Figura 5.11 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS por Carvajal, 2008 .....	39
Figura 5.12 Unidades geomorfológicas a nivel regional, las líneas magenta corresponden al área de intervención .....	43
Figura 5.13 Unidades geomorfológicas a nivel local .....	45
Figura 5.14 Plano anegadizo (Fpa) en el municipio de Barranquilla .....	46
Figura 5.15 Pendientes del terreno .....	48
Figura 5.16 Distribución espacial de la curvatura .....	50
Figura 5.17 Evolución multiemporal en los años 2003-2008. Sector A, Subzona 1.	53
Figura 5.18 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector A, Subzona 1. ....	54

Figura 5.19 Evolución multitemporal en los años 2003 - 2008 - Sector A, Subzona 255	
Figura 5.20 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector A, Subzona 2 .....	56
Figura 5.21 Evolución 2003-2008 Sector B, Subzona 1 .....	57
Figura 5.22 Estado actual (2020) Sector B, Subzona 1.....	58
Figura 5.23 Evolución morfodinámica para los años 2003-2008 - Sector B, Subzona 2.....	59
Figura 5.24 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector B, Subzona 2. ....	60
Figura 5.25 Procesos morfodinámicos.....	62
Figura 5.26 Zona de suelo protegido en la S.E. Magdalena.....	64
Figura 5.27 Llenos antrópicos entre la S.E. Magdalena y S.E El Río .....	65
Figura 5.28 Zonas húmedas .....	66
Figura 5.29 Zonas de empozamientos sur de la subestación El Río .....	67
Figura 5.30 Zonas de sedimentación activa.....	68
Figura 5.31. Zonas de socavación de orillas .....	69
Figura 5.32. Susceptibilidad por la ocurrencia de procesos erosivos .....	73
Figura 5.33 Susceptibilidad por la ocurrencia de procesos de remoción en masa ..	81
Figura 5.34 Unidades de suelos .....	86
Figura 5.35 Uso actual del suelo del área de influencia del componente suelos.....	89
Figura 5.36 Vocación del suelo del área de influencia del componente suelos .....	95
Figura 5.37 Conflictos de uso del suelo del área de influencia del componente suelos .....	99
Figura 5.38 Localización general del proyecto .....	107
Figura 5.39 Red hidrográfica y ubicación de sitios de intervención .....	108
Figura 5.40 Sistemas lénticos identificados en zonas cercanas al proyecto.....	109
Figura 5.41 Tipos de patrones de drenaje.....	110
Figura 5.42 Amenaza por inundación en el municipio de Barranquilla .....	111
Figura 5.43 Cuencas de drenaje caracterizadas.....	112
Figura 5.44 Precipitaciones totales diarias en las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz.....	118
Figura 5.45 Curva de doble masa estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz.....	119
Figura 5.46 Caudales medios diarios estación Sta Rosalia.....	119
Figura 5.47 Caudales medios anuales en la estación Sta Rosalia .....	120

Figura 5.48 Gráfico Grubbs-Beck para datos anómalos estación La Flores y A.E. Cortissoz.....	120
Figura 5.49 Gráfico Grubbs-Beck para datos anómalos estación Sta Rosalia .....	121
Figura 5.50 Llenado de serie de datos de la estación Las Flores.....	123
Figura 5.51 Modelo digital de terreno MDT para balance hídrico.....	124
Figura 5.52 Distribución espacial de la precipitación total anual .....	127
Figura 5.53 Precipitaciones totales mensuales multianuales en las estaciones con influencia en la zona de interés.....	128
Figura 5.54 Temperatura anual estación Las Flores .....	129
Figura 5.55 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Las Flores.....	130
Figura 5.56 Temperatura anual estación Aeropuerto E Cortissoz .....	131
Figura 5.57 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Aeropuerto E Cortissoz .....	132
Figura 5.58 Regresión de datos de temperatura media anual de estaciones IDEAM133	
Figura 5.59 Distribución espacial de la temperatura (°C) .....	134
Figura 5.60 Distribución espacial de la ETR por el método de Turc .....	135
Figura 5.61 Distribución espacial de la ETR por el método de Budyko .....	136
Figura 5.62 Comportamiento mensual de la Evapotranspiración Potencial. ....	137
Figura 5.63 Régimen de precipitaciones totales mensuales en la zona de estudio	139
Figura 5.64 Régimen mensual de escorrentía superficial.....	140
Figura 5.65 Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24h para las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz .....	143
Figura 5.66 Índice de retención y regulación hídrica .....	150
Figura 5.67 Localización de los puntos de monitoreo de calidad del agua.....	152
Figura 5.68 Temperatura .....	161
Figura 5.69 pH.....	161
Figura 5.70 Conductividad eléctrica .....	161
Figura 5.71 Oxígeno disuelto .....	162
Figura 5.72 Sólidos disueltos totales.....	162
Figura 5.73 Sólidos suspendidos totales.....	162
Figura 5.74 Sólidos sedimentables .....	162
Figura 5.75 Turbiedad.....	163



Figura 5.76 Color real .....	163
Figura 5.77 Alcalinidad .....	163
Figura 5.78 Acidez.....	163
Figura 5.79 Dureza .....	164
Figura 5.80 Cloruros .....	164
Figura 5.81 Sulfatos.....	164
Figura 5.82 Fosfatos.....	164
Figura 5.83 Fósforo total.....	165
Figura 5.84 Nitratos .....	165
Figura 5.85 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	165
Figura 5.86 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (DBO <sub>5</sub> ) .....	165
Figura 5.87 Hierro total .....	166
Figura 5.88 Tensoactivos.....	166
Figura 5.89 Coliformes totales .....	166
Figura 5.90 Coliformes termotolerantes .....	166
Figura 5.91 Localización de puntos de captación de agua reportadas por la CRA en cercanías del área de influencia del componente hidrológico.....	172
Figura 5.92 Localización de vertimientos reportados por la CRA en cercanías del área de influencia del componente hidrológico.....	173
Figura 5.93 Provincias hidrogeológicas de Colombia; la estrella azul señala la zona de interés .....	175
Figura 5.94 Usuarios de punto de agua subterránea .....	180
Figura 5.95 Ubicación del sistema acuífero Barranquilla- Sabanalarga (SAC 1-5) dentro de la Provincia Sinú-San Jacinto.....	181
Figura 5.96 Unidades hidrogeológicas para el área de estudio.....	185
Figura 5.97 Esquema de distribución de zonas de recarga, descarga y sistemas de flujo .....	186
Figura 5.98 Zona de recarga potencial .....	189
Figura 5.99 Líneas de flujo.....	191
Figura 5.100 Mapa de valores de Aa. El círculo rojo indica la localización del proyecto .....	193
Figura 5.101 Zonificación geotécnica del área de intervención .....	195
Figura 5.102 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis197	



Figura 5.103 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio.....	197
Figura 5.104 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Estadio – S.E. Centro...	198
Figura 5.105 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E. Termoflores.....	199
Figura 5.106 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena ..	199
Figura 5.107 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa200	
Figura 5.108 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión201	
Figura 5.109 Localización de la Subestación Eléctrica (S.E.) Estadio.....	202
Figura 5.110 Detalles de banco de ductos doble circuito 6x8” .....	248
Figura 5.111 Detalle de banco de ductos circuito sencillo 3x8” .....	249
Figura 5.112 Localización general de estaciones meteorológicas en la zona de interés .....	253
Figura 5.113 Temperatura media, máxima y mínima anual estación Las Flores ...	254
Figura 5.114 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Las Flores.....	255
Figura 5.115 Temperatura máxima y mínima diaria (°C) - Estación Las Flores.....	256
Figura 5.116 Temperatura media, máxima y mínima anual estación Aeropuerto E Cortissoz .....	257
Figura 5.117 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Aeropuerto E. Cortissoz .....	258
Figura 5.118 Temperatura máxima y mínima diaria (°C) - Estación Aeropuerto E. Cortissoz .....	258
Figura 5.119 Estación Las Flores – Presión media mensual (mBar).....	260
Figura 5.120 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Presión media mensual (mBar) .	261
Figura 5.121 Precipitaciones diarias en las estaciones con influencia en la zona de estudio .....	263
Figura 5.122 Llenado de serie de datos de la estación Las Flores.....	264
Figura 5.123 Precipitaciones totales mensuales multianuales en las estaciones con influencia en la zona de interés.....	265
Figura 5.124 Precipitaciones totales anuales en las estaciones con influencia en la zona del proyecto.....	266
Figura 5.125 Estación Las Flores - Humedad Relativa media mensual (%) .....	267
Figura 5.126 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Humedad Relativa media mensual (%)	268

Figura 5.127 Velocidad media del Viento en superficie.....	269
Figura 5.128 Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Las Flores.....	269
Figura 5.129 Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Aeropuerto E Cortissoz.....	270
Figura 5.130 Rosas de viento anuales (m/s).....	271
Figura 5.131 Rosas de viento diurnas.....	272
Figura 5.132 Rosas de viento nocturnas.....	272
Figura 5.133 Rosas de viento mensual – enero y febrero.....	273
Figura 5.134 Rosas de viento mensual – marzo y abril.....	274
Figura 5.135 Rosas de viento mensual – mayo y junio.....	275
Figura 5.136 Rosas de viento mensual – julio y agosto.....	276
Figura 5.137 Rosas de viento mensual – septiembre y octubre.....	277
Figura 5.138 Rosas de viento mensual – noviembre y diciembre.....	278
Figura 5.139 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar anual (kWh/m <sup>2</sup> )	280
Figura 5.140 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar mensual total (kWh/m <sup>2</sup> ).....	281
Figura 5.141 Fuentes lineales (corredores viales) y puntos de aforo vehicular.....	283
Figura 5.142 Localización de los potenciales receptores de interés – Tramo 1.....	286
Figura 5.143 Localización de los potenciales receptores de interés – Tramo 2.....	287
Figura 5.143 Localización estaciones de calidad de aire SVCA de SISAIRE.....	288
Figura 5.144 Comparativo de PM <sub>10</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017290	
Figura 5.145 Comparativo de PM <sub>2.5</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017290	
Figura 5.146 Comparativo de SO <sub>2</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017291	
Figura 5.147 Comparativo de NO <sub>2</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017291	
Figura 5.148 Comparativo de CO con límite normativo Resolución 2254 de 2017	292
Figura 5.149 Localización de los puntos de monitoreo de ruido.....	294
Figura 5.150 Resultados vs límite normativo para periodo diurno.....	298
Figura 5.151 Resultados vs límite normativo para periodo nocturno.....	298

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1 Zonas de actividad comercial.....	90
Fotografía 5.2 Zona de actividad industrial.....	91
Fotografía 5.3 Zona residencial .....	91
Fotografía 5.4 Zona verde urbana en sector portuario .....	92
Fotografía 5.5 Zona recreacional .....	92
Fotografía 5.6 Canales .....	93
Fotografía 5.7 Red vial.....	93
Fotografía 5.8 FO1 – Aguas arriba.....	153
Fotografía 5.9 FO1 – Aguas abajo.....	153
Fotografía 5.10 FO2 – Aguas arriba.....	153
Fotografía 5.11 FO2 – Aguas abajo.....	153
Fotografía 5.12 FO3 – Aguas arriba.....	154
Fotografía 5.13 FO3 – Aguas abajo.....	154
Fotografía 5.14 MU1 – Aguas arriba .....	154
Fotografía 5.15 MU1 – Aguas abajo .....	154
Fotografía 5.16 MR1 – Aguas arriba .....	155
Fotografía 5.17 MR1 – Aguas abajo .....	155
Fotografía 5.18 MR2 – Aguas arriba .....	156
Fotografía 5.19 MR2 – Aguas abajo .....	156
Fotografía 5.20 MR3 – Aguas arriba .....	156
Fotografía 5.21 MR3 – Aguas abajo .....	156
Fotografía 5.22 Sondeos mecánicos ejecutados en la línea subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	203
Fotografía 5.23. Sondeos mecánicos ejecutados en la línea subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio .....	204
Fotografía 5.24 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro .....	206
Fotografía 5.25 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena .....	208

---

Fotografía 5.26 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa .....	210
Fotografía 5.27 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión.....	212
Fotografía 5.28 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis .....	221
Fotografía 5.29 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio.....	222
Fotografía 5.30 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio.....	224
Fotografía 5.31 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores .....	225
Fotografía 5.32 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena.....	227
Fotografía 5.33 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa .....	228
Fotografía 5.34 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión.....	229

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para la elaboración de la caracterización del área de influencia del proyecto UPME-STR-02-2019 del medio abiótico, se siguieron los lineamientos establecidos en los términos de Referencia para la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental – EIA de Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica (TdR – 17), asimismo, se tuvieron en cuenta los lineamientos planteados en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales ANLA 2018. En la Tabla 5.1 se desglosan los respectivos numerales correspondientes a estos documentos, con el objetivo de facilitar la trazabilidad de cada numeral.

Tabla 5.1 Trazabilidad caracterización área de influencia

Documento	TdR - 17	Metodología de estudios ambientales ANLA 2018
5. Caracterización del área de influencia	5. Caracterización del área de influencia	4. Caracterización del área de influencia
5.1. Medio abiótico	5.1. Medio abiótico	4.1. Medio abiótico
5.1.1. Geología	5.1.1. Geología	4.1.1. Geológico
5.1.1.1. Estratigrafía / caracterización litológica	5.1.1.1. Estratigrafía / caracterización litológica	4.1.1.1. Estratigrafía
5.1.2. Geología estructural / tectónica	5.1.2. Geología estructural / tectónica	4.1.1.2. Geología estructural
5.1.3. Sismicidad	5.1.3. Sismicidad	4.1.1.1. Sismicidad
5.1.4. Geomorfología	5.1.4. Geomorfología	4.1.1.4. Geomorfología
5.1.5. Suelo y usos del suelo	5.1.5. Suelo y usos del suelo	4.1.3. Suelos y usos de la tierra
5.1.6. Hidrología	5.1.6. Hidrología	4.1.4. Hidrológico
5.1.7. Calidad del agua	5.1.7. Calidad del agua	4.1.4.1. Calidad del agua
5.1.8. Usos del agua	5.1.8. Usos del agua	4.1.4.2. Usos del agua
5.1.9. Hidrogeología	5.1.9. Hidrogeología	4.1.5. Hidrogeológico
5.1.10. Geotecnia	5.1.10. Geotecnia	4.1.1.5. Geotecnia
5.1.11. Atmósfera	5.1.11. Atmósfera	4.1.7. Atmosférico
		4.1.7.3. Meteorología
5.1.11.1. Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas	5.1.11.1. Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas	4.1.7.1. Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas
5.1.11.2. Calidad del aire (información de inmisión)	5.1.11.2. Calidad del aire (información de inmisión)	4.1.7.2. Calidad del aire
5.1.11.3. Ruido	5.1.11.3. Ruido	4.1.7.4. Ruido

Fuente: Integral S.A., 2020

## 5.1 MEDIO ABIÓTICO

### 5.1.1 Geología

El subsuelo de la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana está fuertemente influenciado por fenómenos sedimentarios de origen marino y fluvial que coadyuvieron a la formación de depósitos de arenas de playa, margas, calizas de arrecifes coralinos y cieno. A continuación, se presenta la descripción detallada de las unidades litológicas a nivel regional y local, que corresponden al área de intervención del proyecto según la integración de las características regionales y locales más relevantes.

#### 5.1.1.1 *Estratigrafía / caracterización litológica regional*

Según (INGEOMINAS, 1998), la disposición geológica del Caribe colombiano es producto de la interacción tectónica de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica. Regionalmente el área de Barranquilla se ubica en el llamado Terreno Sinú - San Jacinto constituido por dos cuñas de materiales sedimentarios (cinturones de San Jacinto y Sinú), caracterizado por presentar pliegues anticlinales estrechos y sinclinales amplios, donde también convergen dos trenes estructurales de dirección N20°E de edad Eoceno medio y otro de dirección N45°E de edad Plioceno-Pleistoceno (DUQUE-CARO, 1980).

Estructuralmente, el mapa tectónico del departamento del Atlántico define que los pliegues y fallas se localizan principalmente hacia el centro y occidente del departamento, y hacia el sector de Barranquilla no se presentan o destacan fallas o pliegues de importancia regional, esto además poco notorio dada la cobertura de depósitos recientes predominantes en la zona.

Según registros geológicos y geotécnicos realizados en la ciudad de Barranquilla, se define el subsuelo como constituido por depósitos sedimentarios de origen fluvial y marino que datan del Terciario y el Cuaternario. De acuerdo con los mapas geológicos publicados por el Ingeominas en el año 1977, desde hace 55 millones de años, el subsuelo donde se localiza Barranquilla, se ha comportado como un paleoalto desde el Eoceno inferior, con eventos de sumergimiento asociados a transgresiones marinas durante el Eoceno medio, Oligoceno y Pleistoceno- Holoceno hace un millón de años. Tal dinámica es la responsable de la presencia de materiales arenosos de playa y arcillosos calcáreos intercalados, localmente aún sin litificar, particularmente en los dos últimos millones de años.

Los materiales rocosos y de depósitos que afloran en la zona de estudio corresponden a rocas sedimentarias de origen marino profundo y transicional continental pertenecientes a la Formaciones Las Perdices y La Popa intercaladas con unidades de Areniscas Friables. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios con orígenes de materiales de origen aluvial, eólico, coluvial y de movimientos en masa (véase Figura 5.1).



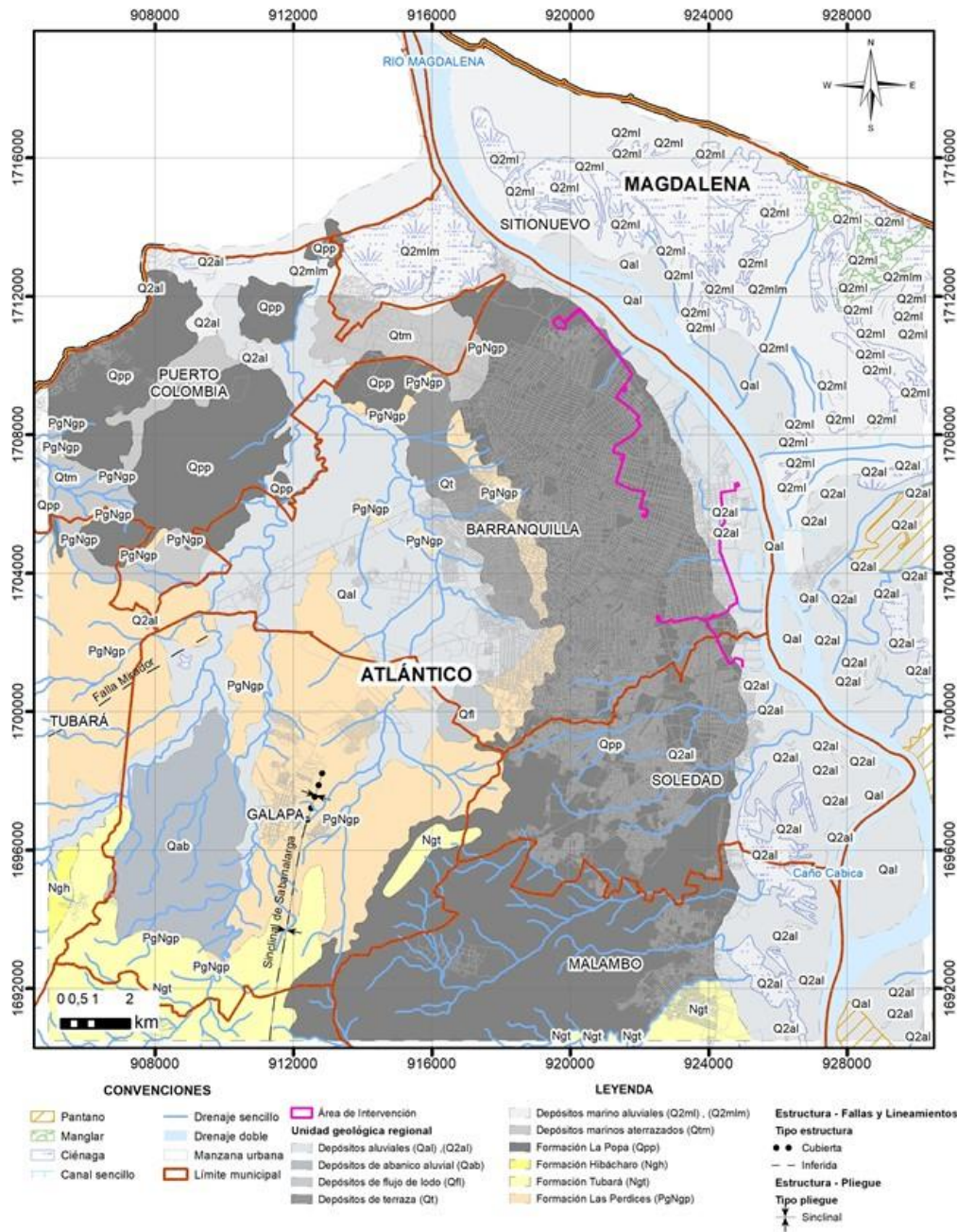


Figura 5.1 Geología regional según la Plancha 17 – Barranquilla; las líneas magenta corresponden al área de estudio

Fuente: (SGC, 2010)

A continuación, se hace una descripción de cada una de estas unidades desde la más antigua a la más reciente, tomando como referencia la nomenclatura de (INGEOMINAS, 1998) y (SGC, 2001).

#### 5.1.1.1.1 Formación Las Perdices (PgNgP)

Denominada así por Anderson (1929), la define como una secuencia de shales, shales arenosos, capas de chert y algunas areniscas observadas al suroccidente de Barranquilla en un sector rural denominado Las Perdices. Esta formación aflora en una extensa área, principalmente hacia la parte media y baja de las laderas occidentales de Barranquilla. Teniendo en cuenta su litología predominantemente arcillosa, la unidad desarrolla morfologías suaves, con un relieve bajo a suavemente ondulado de pequeñas colinas.

La Formación Las Perdices está constituida por arcillolitas y lodolitas de colores grises, verde oliva y amarillos, que dependen del estado de meteorización. Algunos niveles presentan fisilidad, mientras otros tienen una partición concoidea, con tintes de oxidación de color café y son normales los cristales de yeso. Localmente se presentan intercalaciones de arenitas cuarzosas de grano fino, de color amarillas, con laminación plana paralela y en capas delgadas levemente onduladas, donde predomina el cuarzo y el feldespato sobre minerales pesados y óxidos de hierro. De esta unidad no ha sido fácil levantar columnas estratigráficas tipo en la literatura por encontrarse en afloramientos aislados o con coberturas vegetales de difícil acceso. El espesor de la unidad en el área occidental de Barranquilla puede sobrepasar los 120 m.

En relación con su posición estratigráfica, De Porta et al. (1974), Anderson (1929) plantea que la Formación Las Perdices se apoya sobre la “Pozo Series” e infrayace discordantemente al Grupo Tubará. La opinión de Bürgl et al. (1955) es que este contacto superior es muy neto y completamente normal en el arroyo Saco. Por el contrario, para Bürgl (1961) y Zimmerle (1968) el contacto con el Grupo Tubará está marcado por otra discordancia. Con respecto al contacto inferior, Anderson (1929) no hace referencia alguna; Bürgl (1961) y Zimmerle (1968) colocan el límite inferior de la Formación Las Perdices en contacto discordante con la Formación El Doce (al parecer corresponde al equivalente litológico de una parte de la “Pozo Series” de Anderson).

Según las características litológicas y texturales de esta unidad, se define una sedimentación marina restringida con aporte limitado de sedimentos terrígenos tamaño limo, lodo y arena, precipitación de carbonatos, lo cual indica un área bordeada por zonas de pendiente no muy desarrolladas, sedimentación continua, con invasión ocasional de organismos perturbadores del sustrato.

Cuando se da la presencia en esta Formación del mineral correspondiente al yeso diseminado, sea como relleno de fracturas y en láminas paraconformes con la estratificación; su ocurrencia es escasa y por esto se descarta su aprovechamiento para uso industrial. Por su parte, los niveles arcillosos de la Formación Las Perdices pueden ser recursos potenciales por evaluar en la industria de la alfarería.

#### 5.1.1.1.2 Formación Hibácharo (Ngth)

Mencionada inicialmente por Raasveldt (1953) refiriéndose a unas rocas blancas que forman un escape de poca altura desde la costa hasta La Lorena. Posteriormente, Bueno



(1970) utiliza el nombre de Formación Hibácharo para describir una serie de intercalaciones de arcillolitas y limolitas con areniscas amarillentas, las cuales varían en tamaño de grano desde fino a conglomerático, con contenido además de capas de yeso y fósiles.

Morfológicamente esta formación aparece en una serie de colinas alargadas en sentido N20°E, en las que se destacan las lomas de San Diego, San Vicente, Loma Grande, Cuchilla de Tameme, morfología que hacia el sur tiene una dirección N35°W.

Los afloramientos más representativos se observan por el km 17 en la vía del mar desde Loma Arena hacia Barranquilla. La prolongación de la loma de La Magola son los estratos más inferiores observados; afloran hacia la base arenitas en capas gruesas, suprayacidas por arenitas de grano fino intercaladas con arcillolitas gris verde oliva; interpuestas entre éstas se presentan concreciones elípticas elongadas. En la zona de Arroyo Piojó se definió una sección tipo de unos 862 m (véase Figura 5.2).

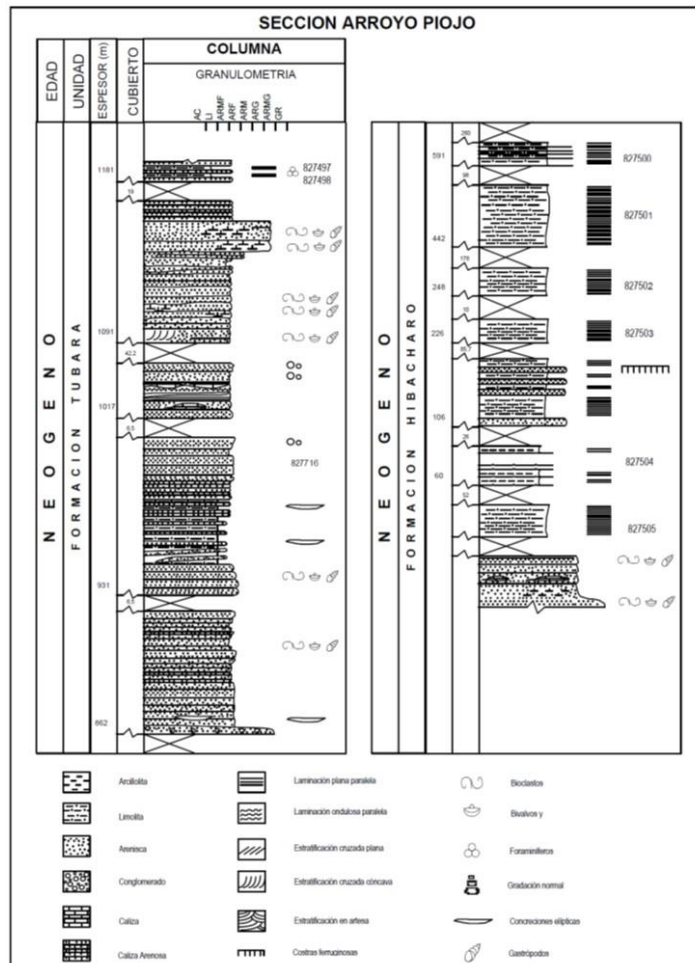


Figura 5.2 Columna estratigráfica Formación Hibácharo en arroyo Piojó

Fuente: (SGC, 2001)

Aunque en la parte inferior y media de la Formación Hibácharo son abundantes los microfósiles, no se tiene referencia de dataciones hechas con base en estos fósiles. La unidad es relativamente muy pobre en microfauna bentónica y planctónica; la información micropaleontológica actualizada y colectada de estas planchas, permite postular que la unidad está comprendida entre el Mioceno medio y superior; es interesante anotar que corresponde a una espesa secuencia restringida a un intervalo de tiempo muy limitado.

#### 5.1.1.1.3 Formación Tubará (Ngt)

El nombre de Tubará fue originalmente utilizado por Anderson (1926) para referirse a los sedimentos que están expuestos en los alrededores de la población de Tubará (Atlántico) y que suprayacen al Grupo San Juan e infrayacen el Grupo Galapa. Posteriormente con mayor precisión, Anderson (1926) define el Grupo Tubará, con un espesor de unos 850 metros y lo dividen en ocho horizontes entre areniscas, shale, areniscas fosilíferas y conglomerados.

Esta unidad entonces corresponde a sucesiones monótonas de arenitas de grano fino constituidas casi enteramente por fragmentos de gasterópodos y bivalvos (ostreidos principalmente) muy bioturbadas, con olor a petróleo, que infrayacen lodolitas, en capas delgadas, con intercalaciones de arenitas lenticulares de grano fino; es común la ocurrencia de clastos ferruginosos como costras dentro de las capas arcillosas. La sección tipo para el área de estudio es más cercana a la localidad de Juan de Acosta, en el arroyo Morrotillo (véase Figura 5.3). El espesor considerado es de unos 650 m.

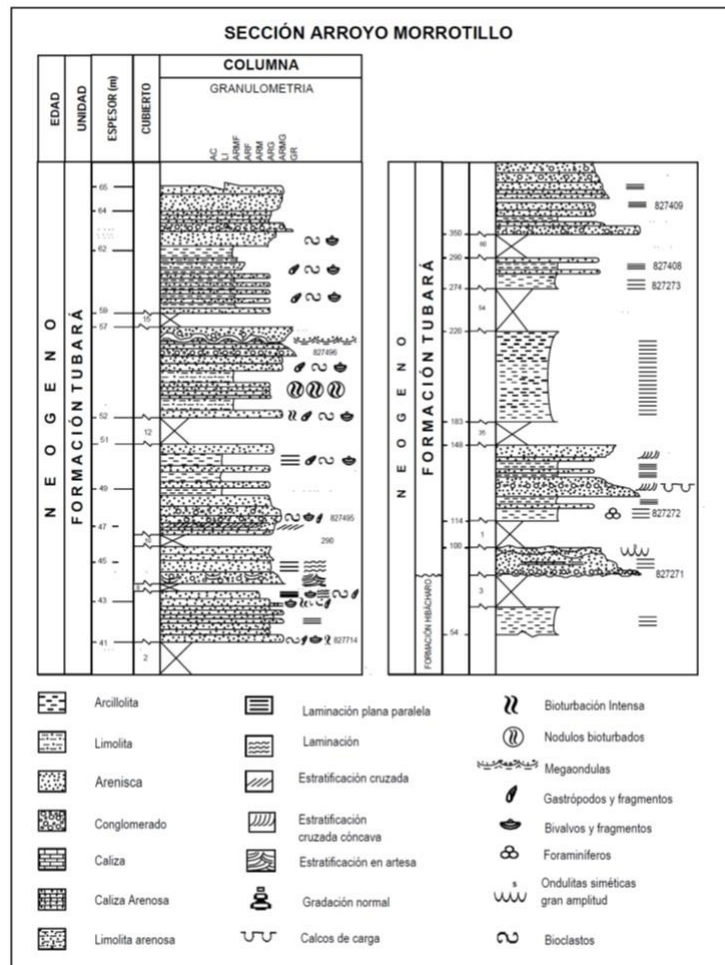


Figura 5.3 Columna estratigráfica Formación Tubará en arroyo Morrotillo

Fuente: (SGC, 2001)

La Formación Tubará descansa sobre la Formación Hibácharo; estas unidades están separadas por una superficie de erosión irregular, muy marcada. Con la Formación Las Perdices, la Formación Tubará descansa discordantemente. Por su parte con la Formación La Popa se desconoce su relación. Formación Tubará infrayace discordantemente sedimentos coluvioaluviales o eólicos del Cuaternario.

Dado la alta concentración de moluscos y los depósitos de relleno de canal con abundante cantidad de conchas transportadas y mezcladas con fragmentos redondeados de chert y lodolitas, se puede postular un ambiente marino somero para esta Formación. También parece estar asociado con ambientes de pantano y lagunares de acuerdo con la ocurrencia de material carbonoso y yeso laminar (selenita), hacia la parte superior de la unidad.

La edad, según el contenido de microfósiles como la microfauna (De Porta et al., 1974) se propone entre el Mioceno tardío y el Plioceno.

#### 5.1.1.1.4 Formación La Popa (Qpp)

Aflora en la parte noroeste del departamento del Atlántico, donde forma una serie de colinas abruptas y alargadas en las lomas de Camarón y Juaruco, al norte de Tubará, en las lomas de La Risota, Nisperal, Aguas Vivas y Pan de Azúcar en los alrededores de Puerto Colombia. Tiene un patrón de drenaje sub-paralelo. La primera referencia de esta Formación se encuentra en Anderson (1926) como la Popa Group, pero es Bürgl en 1957 quien le da el nombre de Formación La Popa a los estratos que conforman el cerro de La Popa en Cartagena.

Está compuesta por calizas muy terrígenas color gris amarillento a amarillo grisáceo, bastante bioperturbadas y arenitas muy calcáreas de grano fino, con algunos granos gruesos y gránulos, muy deleznales (arenas), con abundante matriz calcárea y ocasionalmente presenta fragmentos de moluscos pequeños; también corresponden en la secuencia calizas arrecifales terrígenas, con abundantes bioclastos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas y arenitas deleznales de grano grueso y calcáreas, interpuestas con niveles competentes discontinuos de calizas terrígenas amarillentas y bancos de calizas arrecifales muy bioturbadas; el color predominante es café amarillento y amarillo anaranjado claro. Se definen espesores de unos 150 metros. La sección tipo de referencia se localiza en la vía Puerto Colombia – Barranquilla (véase Figura 5.4).



productos agropecuarios y como piedras ornamentales. Los materiales finos de esta Formación se consideran potencialmente útiles como generadoras de arenas de peña de calidad para la industria de la construcción, algunos niveles de areniscas deleznable.

La edad de esta unidad ha sido muy discutida; Anderson (1926) la consideró pliocena; Link (1927) la considera del Pleistoceno inferior; Royo y Gómez (1950) postula que es del Mioceno superior. Con base en las muestras micropaleontológicas, se asume que esta Formación es del Pleistoceno.

#### 5.1.1.1.5 Sedimentos recientes

Entre los sedimentos recientes a nivel regional se incluyen todos aquellos depósitos de materiales débilmente consolidados, de origen marino, fluvial y eólico que constituyen la cobertura y suprayacen inconformemente las rocas sedimentarias estratificadas del Terciario. Con base en características geomorfológicas y litológicas, se agrupan los siguientes tipos de depósitos: Depósitos marinos de playa (Qmp), depósitos de llanura de inundación (Qfl), depósitos coluvioaluviales (Qcal).

##### A. Depósitos marinos de playa (Qmp)

Corresponden a sedimentos que constituyen las playas y las espigas; son los depósitos más distintivos de la línea de costa. Durante los últimos cuarenta años estos depósitos han presentado una gran movilidad (acortamientos y alargamientos) probablemente debido a factores climáticos, oceanográficos y geológicos (Martínez, 1993).

Están constituidas por arenas de grano fino a medio, localmente el grano es grueso, de color gris claro a gris oscuro, y las espigas son las más oscuras debido a una mayor concentración de minerales pesados.

##### B. Depósitos fluviolacustres (Qfl)

Ocurren tanto en los márgenes del río Magdalena como en sus orillales y en las ciénagas asociadas. Son fácilmente identificables por sus geoformas de barras de meandros con su forma característica de medialuna, islas interiores del cauce del río, las cuales emergen o desaparecen estacionalmente de acuerdo con el nivel del río u otras ya colonizadas por la vegetación, que enmascaran la litología de éstas.

Los sedimentos asociados al lecho actual del río Magdalena están constituidos por arenas de grano fino a medio, de color gris amarillento, compuestas por cuarzo, chert, y fragmentos líticos de formas subangulares a subredondeadas, con buena selección. Los sedimentos asociados a las ciénagas son más arcillosos, constituidos por arcillas limosas con materia orgánica, ocasionalmente arenosas, grises con tintes cafés y rojizos.

Las gravas que constituyen estos depósitos son explotadas artesanalmente; una vez tamizados y clasificados, se utilizan según su tamaño como agregado para concretos, como material ornamental para enchape y como filtro para pozos de agua.

##### C. Depósitos coluvioaluviales (Qcal) o abanicos

Denominados así aquellos depósitos intermontanos y los de llanura aluvial, depósitos de derrubios acumulados en los cauces de los actuales arroyos y los valles intermontanos estrechamente relacionados a dichos arroyos localizados entre las colinas. Estos valles

pueden alcanzar en algunos casos hasta cinco kilómetros de ancho por varios kilómetros de longitud.

Estos depósitos se definen en una amplia distribución geográfica, lo que incide significativamente en la constitución litológica, pues varía de acuerdo con la naturaleza de las rocas parentales de las colinas adyacentes a los valles; en términos muy generales están compuestos por arenas, gravas, limos y arcillas de color café amarillentos que embeben fragmentos de rocas clásticas como areniscas y lodolitas.

Los niveles de arcilla presentes en estos depósitos son explotados para la fabricación de ladrillos y en fabricación de tubos gres en los alrededores de Barranquilla, Juan Mina, Galapa y Baranoa.

#### D. Depósitos de llenos antrópicos

También denominados rellenos, corresponden al material que resulta de las actividades antrópicas para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico. Están conformados por materiales sobrantes de excavaciones a modo de mezclas de arcilla, limo, arena fina y media y grava. Además, es normal la presencia de material orgánico (vegetación y raíces) y desechos de construcción. Estos materiales no parecen cartografiados debido a su poca extensión.

#### E. Arcillas expansivas

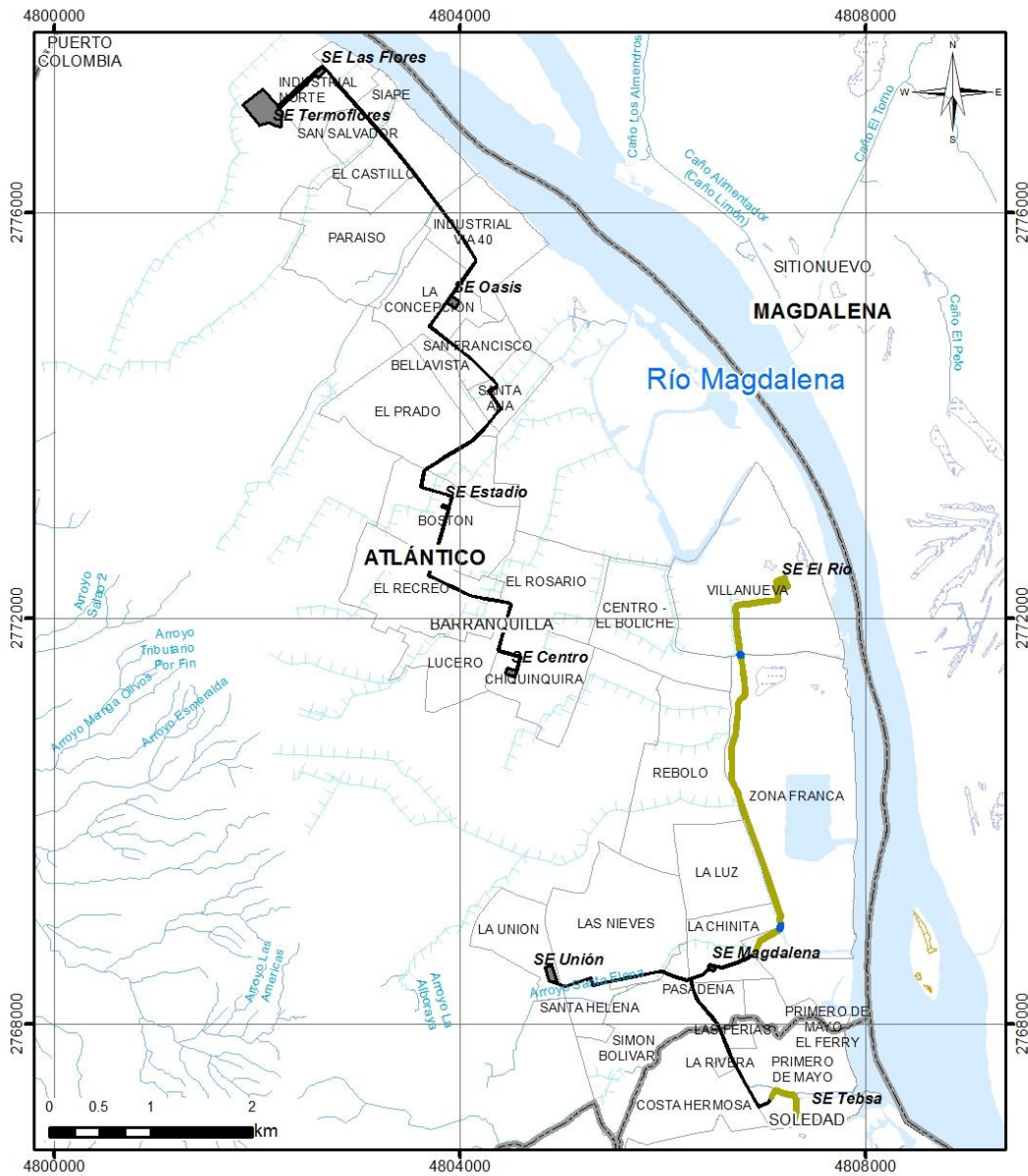
Es importante mencionar dentro de las condiciones de los materiales presentes en la ciudad de Barranquilla los denominados suelos expansivos, estos son aquellos que sufren procesos de expansión y contracción. Éstos, al estar en clima estacional generan grandes grietas por donde migra el material del suelo, hacia abajo y hacia arriba y donde se pueden llegar a generar condiciones de inestabilidad en las obras civiles, tal como ocurre, por ejemplo, en algunos sectores del suroccidente de la ciudad, donde su desestabilización es frecuente. Estas zonas están fuera del área de intervención los barrios El Bosque, Las Terrazas, Mequejo entre otros (Barranquilla, s.f.).

#### **5.1.1.2 Estratigrafía / caracterización litológica local**

Geológicamente, los terrenos en estudio corresponden a rocas sedimentarias en su mayoría de origen marino de edad paleógena, neógena y depósitos cuaternarios litorales y continentales que forman parte de los cinturones de San Jacinto y Sinú. Los procesos de sedimentación y depositación de materiales marinos y continentales aún continúan.

Particularmente, la ciudad de Barranquilla dentro de las áreas en estudio se ubica geológicamente sobre la Formación La Popa además de las coberturas aluviales. Son terrenos claramente influenciados por fenómenos sedimentarios de origen marino y fluvial que coadyuvaron a la formación de depósitos de arenas de playa, margas y calizas entre otros. En la Figura se presenta la espacialización de las unidades geológicas identificadas en el área de intervención y que serán descritas a seguir y que se presentan igualmente en el Mapa I-P--10507UPMESTR02-EIA-GEO-10.





**CONVENCIONES**

- Límite municipal
- Canal sencillo
- Pantano
- Drenaje sencillo
- Ciénaga
- Drenaje doble
- Barrios

**LEYENDA**

- Unidad geológica**
- Cauce aluvial - Ríos (50 m)
  - Depósitos aluviales (Q2al)
  - Formación la Popa (Qpp)

Figura 5.5 Geología local

Fuente: Integral S.A., 2020



A continuación, se describen las unidades geológicas caracterizadas en el área de estudio del proyecto al paso de las líneas de transmisión y en las subestaciones. En términos generales, se presentan variados materiales como arenas medias a finas de coloraciones amarillas, calizas y margas calcáreas amarillas y blancas, limos arenosos color gris.

#### 5.1.1.2.1 Formación la Popa (Qpp)

Se presenta en zonas con morfología plana a ligeramente ondulada y está representada por calizas arrecifales y alcalinosas de coloraciones amarillas, contiene fragmentos de conchas y de especies fósiles. En algunos sectores la roca se encuentra moderadamente meteorizada y fracturada. Se pueden encontrar estratos de hasta cuatro metros, con abundantes corales. La plasticidad es baja, son hidrosolubles, con tacto jabonoso y se disgregan fácilmente generando abundante polvo, con muy baja resistencia al corte. Son ligeramente limosa, con aspecto de tiza, son dispersivas y presentan color gris, amarillento y rosado claro. Localmente también se tienen arenas de grano fino a grueso, deleznable, son granos subangulares a subredondeados, de color gris a café con tintes rojizos por oxidación. Se intercalan lentes de arena gravosa con granos subredondeados constituidos por cuarzo y chert. Son materiales de alta porosidad y permeabilidad, baja compresibilidad y consistencia.

#### 5.1.1.2.2 Depósitos aluviales (Q2al)

Se definen variados depósitos de este tipo, identificables por su morfología plana con suaves ondulaciones, es la unidad más extensa, incluyendo los depósitos de llanura aluvial (más actuales), de geoformas planas, las terrazas, ligeramente inclinados hacia la dirección de la escorrentía; ubicadas al occidente del río Magdalena. En general estos depósitos de poco espesor que varía entre 5 a 10 m, generalmente cubiertos por suelo y vegetación; están constituidos por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas depositadas discordantemente sobre las formaciones más antiguas.

En la Tabla 5.2 se muestra la distribución espacial de las unidades geológicas presentes en el área de intervención del componente geológico.

Tabla 5.2 Distribución de unidades geológicas

Nomenclatura	Unidad geológica	Área (ha)
Qpp	Formación La Popa	20,04
Q2al	Depósitos aluviales	3,73
--	Cauce aluvial	0,02
<b>Total</b>		<b>23,80</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.2 Geología estructural / tectónica

El noroccidente colombiano está localizado en una zona de interacción tectónica entre las placas de Suramérica y Caribe; la convergencia de éstas durante el Terciario dio lugar a la formación de dos provincias, conocidas ampliamente en la literatura como Cinturón del Sinú, en la parte más occidental costera, y el Cinturón de San Jacinto en la parte central y el área de Plataforma al oriente, limitadas por los lineamientos del Sinú y de Romeral (DUQUE-CARO, 1980). Específicamente, el área de estudio está enmarcada dentro de los

Bloques San Jacinto y Sinú Norte, de los cinturones de San Jacinto y del Sinú (véase Figura 5.6).

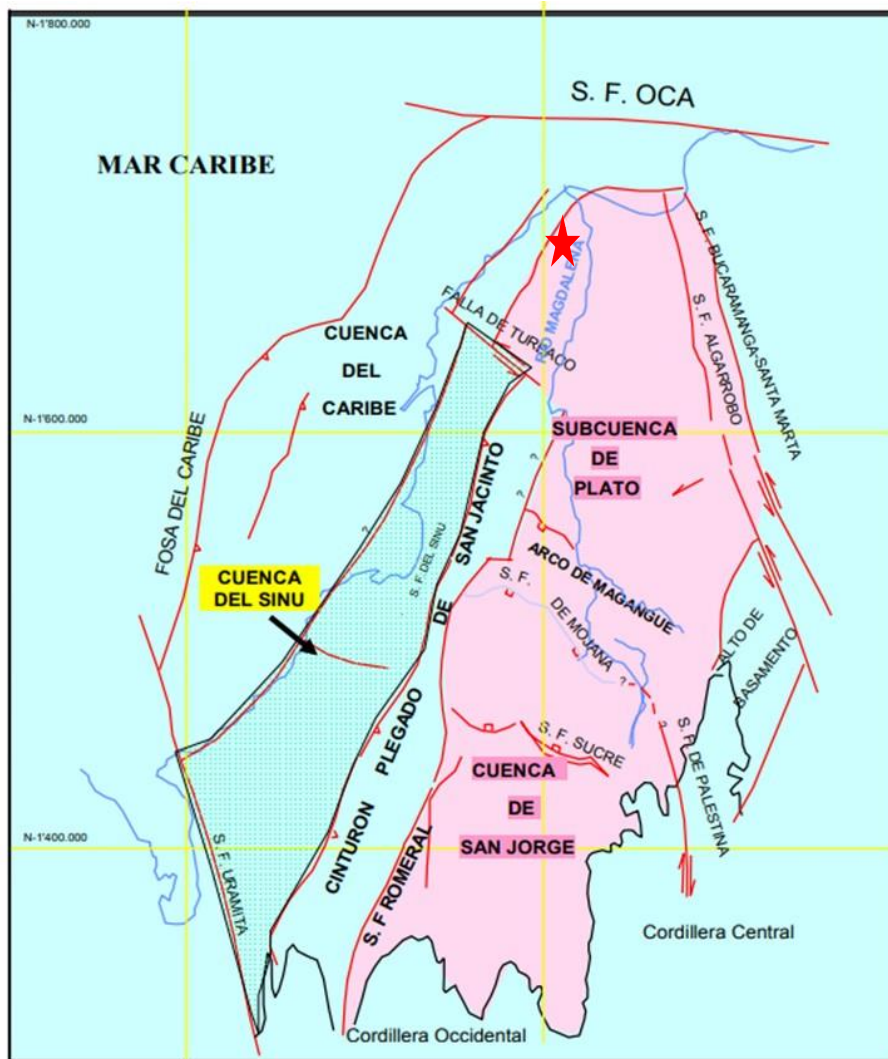


Figura 5.6 Estructural del Cinturón Sinú – San Jacinto

Fuente: Tomada de (ECOPETROL, 2002)

Aunque para el área de estudio no se definen estructuras ni de tipo pliegue ni fallamiento local, debido posiblemente a la cobertura cuaternaria. De acuerdo con (INGEOMINAS, 1998) no se tiene registro de actividad en el Cuaternario de las fallas descritas para la Plancha 17 – Barranquilla. La estructura de falla más cercana corresponde a la falla Mirador, con dirección NE y afecta principalmente las formaciones Tubará e Hibácharo. Para el área de estudio no se presentan estructuras de plegamientos determinantes, el más cercano corresponde al Sinclinal de Sabanalarga, que se considera en la zona de estudio cubierto por los sedimentos recientes de presentarse se encuentran totalmente cubiertas

por los depósitos recientes. En la Figura se definen los trazos de ambas estructuras dentro del marco geológico - estructural regional.

#### **5.1.2.1 Fallas**

A nivel regional las fallas que aparecen en la zona de estudio, en general, pueden estar cubiertas por los sedimentos recientes que conforman una potente cobertura, de ahí que su naturaleza y cantidad de movimiento no hayan sido definidas claramente.

Se definen como estructuras cercanas las denominadas fallas transversales, identificadas a nivel de fotografías aéreas y en las imágenes de satélite; se presentan a modo de fracturas, fallas y lineamientos con dirección variable hacia el NW y hacia el NE.

Con dirección NE se destaca la falla del Mirador; está afecta principalmente las formaciones Tubará e Hibácharo; la primera de éstas coincide con el abrupto cañón al noroccidente de Tubará que marca el contacto entre las formaciones Tubará, Hibácharo y La Popa.

#### **5.1.2.2 Pliegues**

Dentro del área de estudio para el componente geológico no hay presencia de pliegues, ya sean anticlinales o sinclinales, sin embargo, cerca del área de estudio se identifica una estructura sinclinal identificada como el Sinclinal de Sabanalarga. La definen como la mayor estructura del departamento del Atlántico (Duque-Caro et al., 1987), se extiende por una longitud de 45 kilómetros aproximadamente y tiene una amplitud de unos ocho kilómetros. En el área de estudio, se presume la continuidad de esta estructura por la actitud de los estratos de la Formación Tubará en los alrededores de Baranoa y al oriente de Galapa. El trazo del eje de esta estructura es inferido en razón a que los sedimentos cuaternarios suprayacen la Formación Tubará en este sector y cubren el núcleo de la estructura.

#### **5.1.2.3 Perfil geológico**

Teniendo en cuenta la información geológica del área de intervención para el componente geológico, el perfil geológico de la zona de estudio está conformado superficialmente por coberturas no continuas de llenos antrópicos que pueden alcanzar espesores de unos 0,50 m, constituidos por mezclas de arcilla, limo, con arenas y gravas, además se puede tener aporte de materiales derivados de la construcción modo de escombros. Subyaciendo esta unidad se encuentran materiales que conforman los depósitos aluviales en su disposición subhorizontal con espesores entre 5 a 10 m, constituidos por secuencias de arenas, arcillas, fracciones menores de limos y gravas.

#### **5.1.2.4 Meteorización**

Las condiciones de meteorización para el área de estudio se definen en las unidades geológicas superficiales, que corresponden a zonas homogéneas según propiedades geomecánicas de los materiales que conforman los terrenos superficialmente. Considerando, además que las unidades aflorantes tienen un origen fluvial, definido en suelos transportados, y no corresponden a suelos residuales, producto de procesos de meteorización de las rocas.

Bajo estas premisas, puede llegar a definirse el grado de meteorización obedeciendo al perfil generalizado para unidades geológicas de ( Dearman. W.R, 1985), obteniendo así la

discretrización de la meteorización para los suelos más representativos en la zona de estudio que corresponden a los aluviales, suelos transportados y que morfológicamente se caracterizan por comprender terrenos generalmente planos o ligeramente basculados, cuyo origen se asocia a los procesos sedimentarios activos del río Magdalena. Granulométricamente, donde se constituyen de arenas, arcillas y fracciones de limos y gravas.

### 5.1.3 Sismicidad

Para el análisis de la sismicidad del proyecto UPME-STR-02-2019 en el área metropolitana de Barranquilla, se determinó como área de estudio un radio de 50 km alrededor del punto central definido para las obras proyectadas, como se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Radio de análisis para el área de estudio

<b>Latitud central (°)</b>	10,9839
<b>Longitud central (°)</b>	-74,7883
<b>Diámetro de la circunferencia (km)</b>	100

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.3.1 Sismicidad histórica

Dentro del área de análisis de la sismicidad para el proyecto UPME-STR-02-2019 no fueron identificados eventos sísmicos históricos. Los eventos históricos más cercanos se encuentran a distancias superiores a los 90 km desde el punto central, estando localizados en los departamentos de Magdalena y Bolívar. En la Tabla 5.4 se presentan las características principales de dos eventos sísmicos históricos localizados fuera del área de interés.

Tabla 5.4 Características de los eventos sísmicos históricos para el área de estudio

<b>Fecha (aaaa-mm-dd)</b>	<b>Hora local (hh:mm)</b>	<b>Latitud (°)</b>	<b>Longitud (°)</b>	<b>Prof. (km)</b>	<b>Magnitud Mw</b>	<b>Área epicentral</b>	<b>Distancia al proyecto (km)</b>
1834-05-22	03:00	11,49	-74,07	10,00	6,40	Santa Marta (Magdalena)	97,00
1975-04-05	15:38	10,15	-75,56	45,00	5,70	Cartagena (Bolívar)	126,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020

A continuación, se presentan las principales características y algunos de los efectos generados por los sismos históricos mencionados.

##### 5.1.3.1.1 Sismo de 1834-05-22

En este día, la Costa Caribe de Colombia fue sacudida por un sismo que causó graves daños principalmente en la ciudad de Santa Marta, donde colapsaron casas e iglesias y otras quedaron averiadas. En Taganga, Ciénaga y Cartagena se presentaron algunos daños de consideración, mientras que en Mompós fue sentido fuerte y hubo leves averías.

Se presentaron fenómenos de licuación de suelos en Santa Marta y en la vía a Pueblo Viejo, así como deslizamientos en el flanco oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. Durante seis días se sintieron más de 55 réplicas y se siguieron reportando hasta aproximadamente el 10 de junio, destacándose la del 25 de mayo que fue de mucha intensidad y alertó de nuevo a los habitantes de la región (Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020). En la Figura se presenta el mapa de intensidad reportado para este evento.



Figura 5.7 Intensidades EMS-98 para el sismo de 1834-05-22

Fuente: Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020

#### 5.1.3.1.2 Sismo de 1975-04-05

Este sismo fue sentido en Cartagena, Calamar y Barranquilla, donde se registraron daños leves en algunas construcciones. En otras poblaciones de la costa, el sismo también fue sentido, pero no causó daños. A las 5:30 de la tarde del mismo día se registró una leve réplica que fue sentida por muy pocas personas en Cartagena. No se presentaron efectos en la naturaleza (Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020). En la Figura se presenta el mapa de intensidad reportado para este evento.





Figura 5.8 Intensidades EMS-98 para el sismo de 1975-04-05

Fuente: Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020

### 5.1.3.2 Sismicidad Instrumental

De acuerdo con la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), alrededor de la zona del proyecto se han registrado desde mayo 1 de 1997 hasta el 27 de julio del 2020 cerca de 137 eventos sísmicos (Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020), distribuidos como se observa en la Figura . Cabe aclarar que la fecha de inicio de la puesta en funcionamiento de la RSNC corresponde a junio 1 de 1993. La sismicidad anterior a esta fecha se considera como histórica.

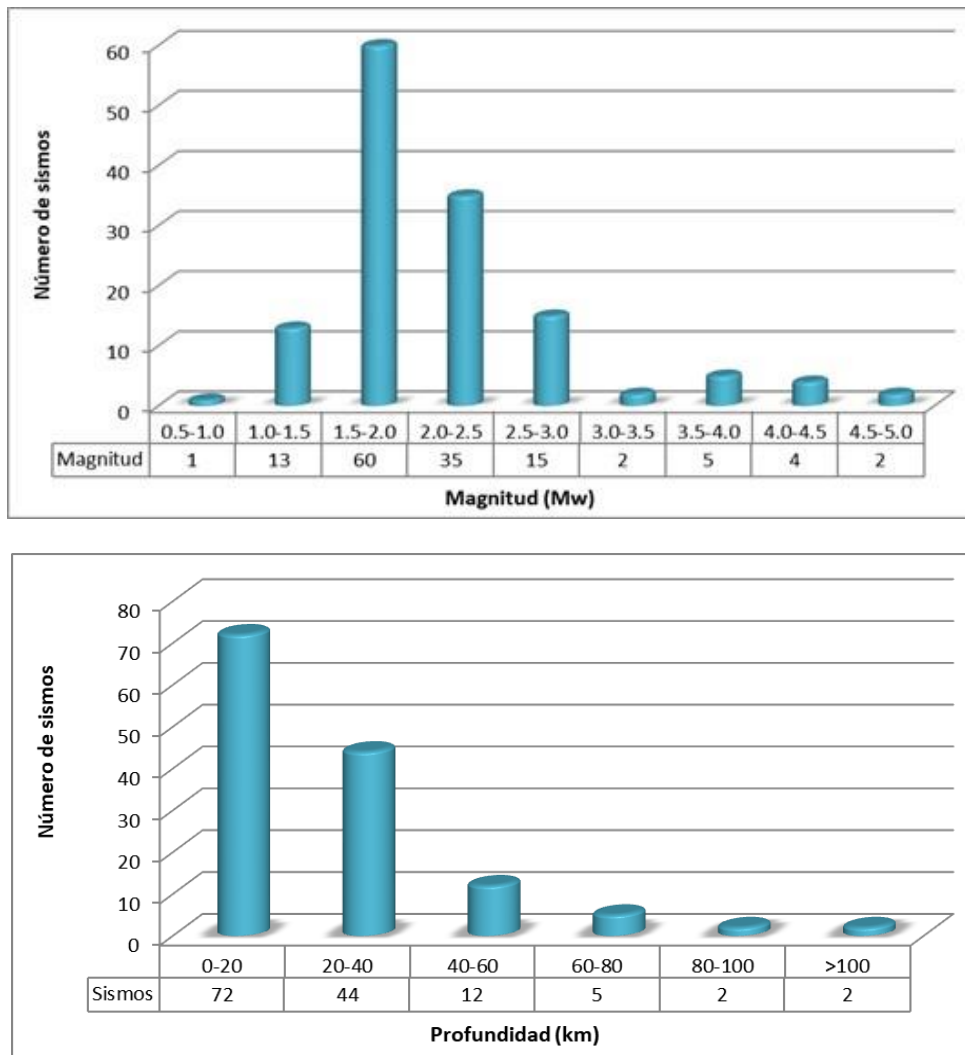


Figura 5.9 Distribución de magnitud y profundidad de los eventos en el área de análisis

Fuente: Elaboración propia a partir de Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020

Generalmente es aceptado que los sismos con magnitudes  $M_w$  menores a 4,0 no representan ningún peligro para las obras de infraestructura, por lo cual normalmente se eliminan los eventos menores a esta magnitud, para realizar los estudios de amenaza sísmica. Por lo anterior, luego de realizar este filtro se encontró que en el área de interés se han presentado seis eventos con  $M_w \geq 4,0$ .

En la Figura se presenta la distribución de la sismicidad por magnitud y profundidad, donde se observa que la mayoría de los eventos son de magnitudes inferiores a 3,0 y se encuentran a una profundidad menor a 40 km.

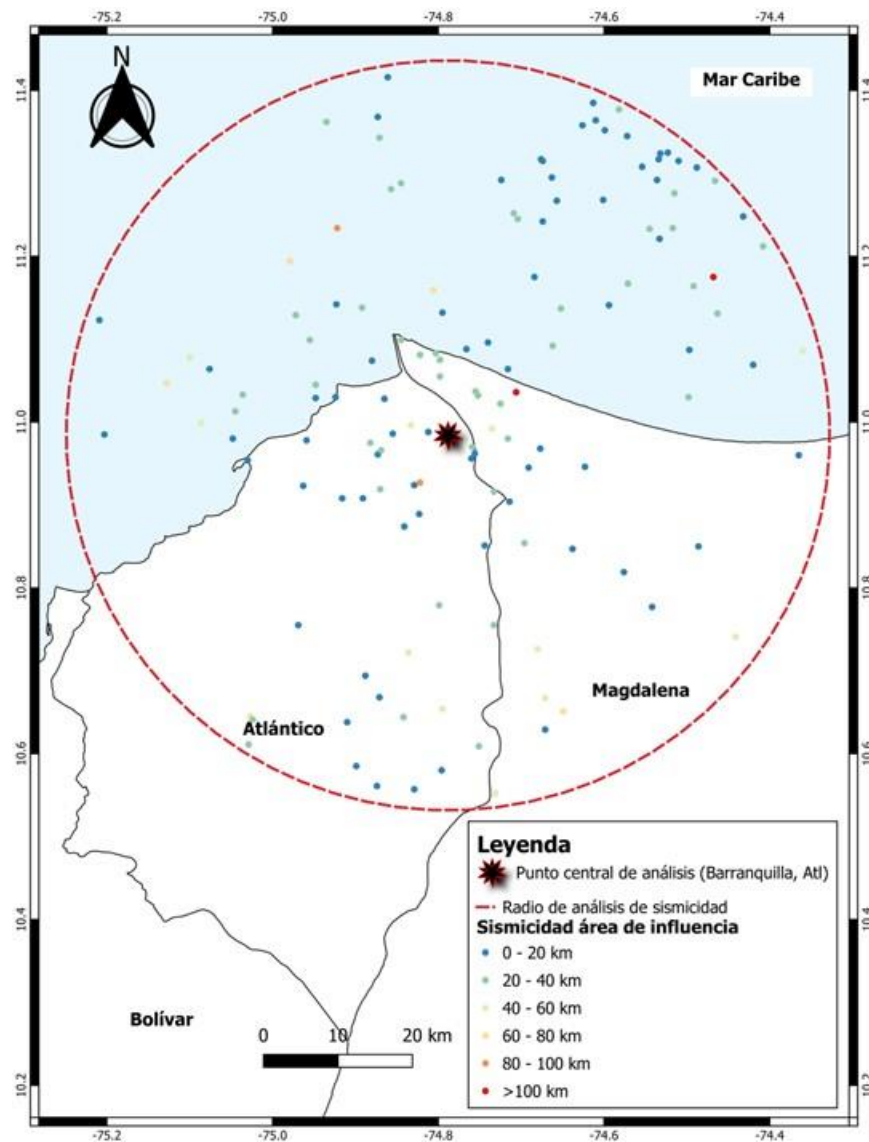


Figura 5.10 Sismicidad instrumental en el radio de análisis por rangos en profundidad

Fuente: Elaboración propia a partir de Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2020

De acuerdo con la revisión realizada en bases de datos existentes, dentro del área de análisis de sismicidad no se localizan fallas activas que puedan generar eventos sísmicos importantes. Las trazas de fallas activas más cercanas se localizan al este del área de estudio, a una distancia mínima de 67 kilómetros, y corresponden a las fallas de Santa Marta y Oca.

La falla Santa Marta tiene una longitud de aproximadamente 330 km, con rumbo N20°W y buzamiento alto al E. De acuerdo con (Sandoval, 2001), esta falla posee un grado de actividad bajo a moderado (0,01-1 mm/año).



La falla de Oca, por su parte, posee una longitud de aproximadamente 137 km, extendiéndose desde el occidente de Santa Marta hasta la Isla de Toas, al sur del Golfo de Venezuela. La estructura posee rumbo E-W a N75°W y buzamiento aproximadamente vertical. Es considerada como una falla de actividad baja a moderada (0,01-1,0 mm/año) (Montes & Sandoval, 2001).

### 5.1.3.3 Estimación del espectro de respuesta

Para realizar los diseños es necesario estimar un espectro de respuesta con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10, donde se determinan los espectros elásticos para: un amortiguamiento del 5% expresado en términos de la aceleración ( $S_a$ ) y del período espectral ( $T$ ) para un período de retorno de 475 años. Los parámetros fundamentales para la construcción de estos espectros son:  $A_a$ , que es la aceleración pico efectiva para diseño;  $A_v$ , que representa la velocidad horizontal pico efectiva; y los factores de amplificación ( $F_a$  y  $F_v$ ) que varían según la clasificación del suelo.

En la NSR-10 se presenta un mapa de zonificación sísmica de Colombia, donde se define el nivel de amenaza según la localización del sitio de interés. Igualmente, se encuentra la definición del tipo de perfil de suelo considerando los parámetros de éste, determinando así su clasificación según la descripción del perfil de suelo donde se emplazará la estructura a diseñar.

Con la información anterior se estima el espectro de diseño del proyecto de acuerdo con la NSR-10, donde el área de localización proyecto está considerada dentro de una zona de amenaza sísmica baja, cuyos coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva ( $A_a$ ) y velocidad horizontal pico efectiva ( $A_v$ ) se presentan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Valores de  $A_a$ ,  $A_v$  y  $A_d$  del proyecto

Municipio	$A_a$ (Tr=475años)	$A_v$ (Tr=475años)
Barranquilla	0,10	0,10

Fuente: AIS (2010)

Teniendo en cuenta que el proyecto es de desarrollo eléctrico, se recomienda usar la NSR-10 para todos los aspectos de diseño sísmico del proyecto y el espectro seleccionado debe ser afectado por un factor de importancia de 1,5. Lo anterior es dado por pertenecer al grupo de edificaciones indispensables (Grupo IV), donde en ella clasifican las edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica.

### 5.1.4 Geomorfología

La geomorfología se enfoca en el estudio y descripción de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas del terreno en superficie, de acuerdo con su interacción con la litosfera, hidrosfera, atmósfera, biosfera y su relación con las estructuras infrayacentes (Leiva, Moya, Trejos, & Carvajal, 2012). El análisis geomorfológico para la identificación de la evolución del paisaje puede estar determinado donde ocurren procesos morfodinámicos que modelan el relieve, como la remoción en masa, erosión, dinámica de las corrientes y eventos tectónicos, y brinda, además, información importante sobre posibles amenazas naturales, usos potenciales del suelo y coberturas.

La descripción de los tipos de relieve que se encuentren dentro del área de estudio del componente geomorfológico, se hace de acuerdo con el punto de vista de evolución geológica, en donde los procesos endógenos como la orogénesis (proceso con los cuales se originan las cordilleras), fragmentación y deriva continental (tectónica de placas), expansión del suelo oceánico, vulcanismo (principal proceso formador de 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 (CONCOL Consultores S.A.S. WSO Ingeniería Colombia S.A.S, 2020).

De esta forma, se presenta el análisis geomorfológico del área de intervención del componente geomorfológico, donde se analizan variables morfométricas como las pendientes del terreno y su curvatura para así definir las unidades morfogenéticas y las condiciones morfodinámicas, relacionadas con los procesos erosivos y los movimientos en masa.

El análisis de la evolución de los procesos morfodinámicos o de inestabilidad, permite conocer la dinámica morfológica de la zona y brinda herramientas para el futuro manejo de acuerdo con los requerimientos y necesidades del proyecto. Las unidades morfogenéticas definidas a partir del análisis geomorfológico son los elementos más bajos en la jerarquía de clasificación del relieve, las cuales poseen características homogéneas tanto en la forma como en la morfogénesis y morfodinámica que las afectan. Partiendo de la diferenciación de estas unidades, se identifican los procesos morfodinámicos que se presentan al interior de cada una de ellas, identificando formas activas o pasivas, que se diferencian de acuerdo con la presencia o ausencia de procesos morfodinámicos relevantes. Este ejercicio se hace a partir de la interpretación de imágenes de diversos años de acuerdo con su disponibilidad y se representa en un mapa por año de análisis y con los cuales se puede identificar la evolución de los rasgos identificados.

#### **5.1.4.1 Morfogénesis**

Este aspecto involucra la definición del origen de las diferentes geoformas, entre lo que abarca las causas y procesos que dieron origen a las formas del terreno, ya que el origen de un paisaje depende de los procesos y agentes que interactúan para darle las formas a la superficie terrestre en diferentes intensidades y proporciones y durante intervalos de tiempo geológico.

El análisis geomorfológico de un área determinada debe seguir un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local, definido por una jerarquización geomorfológica (véase Figura 5.11), en la cual se relaciona las escalas de trabajo y fundamentos como la génesis de las geoformas, ambientes morfogenéticos, morfometría del terreno y morfodinámica (Leiva, Moya, Trejos, & Carvajal, 2012).

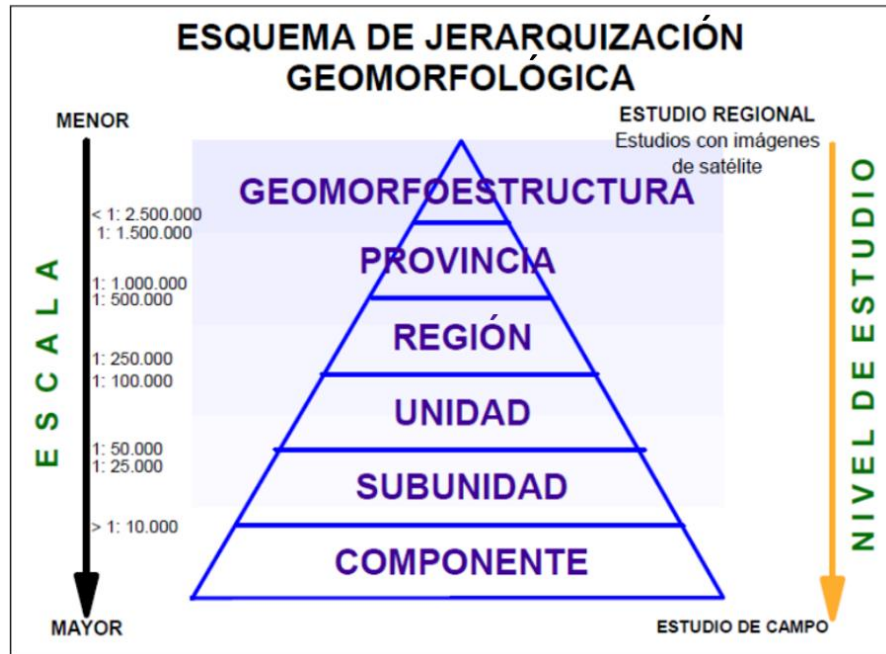


Figura 5.11 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS por Carvajal, 2008

Fuente: (Leiva, Moya, Trejos, & Carvajal, 2012)

#### 5.1.4.1.1 Geomorfoestructura

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea (Leiva, Moya, Trejos, & Carvajal, 2012).

La evolución del paisaje presente corresponde a la interacción de variados procesos modeladores, los cuales han actuado a lo largo del tiempo, en diferente grado de preponderancia, sufriendo procesos de sedimentación y levantamientos orogénicos y epiorogénicos, evidenciado por la presencia de plegamientos y fallamientos, asociados a la actividad tectónica, metamorfismo y magmatismo, generando así, la configuración geológica y geomorfológica actual.

Partiendo de la propuesta de jerarquización geomorfológica esquematizada en la Figura 5.11, a una escala mayor de 1:2.500.000, el área de estudio se define dentro de una geomorfoestructura de Sistema Orogénico Costero.

#### 5.1.4.1.2 Provincia geomorfológica

Corresponde a la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente y están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomorfológicos similares (Leiva, Moya, Trejos, & Carvajal, 2012). La provincia se define en cuenca baja del Magdalena y Cauca hacia el costado oriental.

El ambiente morfogénico hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas, bajo las cuales se generaron las geoformas y se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados de origen tanto endógeno como exógeno que dan lugar a la formación, evolución y modificación de estas (INGEOMINAS, 2010).

#### 5.1.4.1.3 Región

La zona de estudio se enmarca en una región geomorfológica (1:250.000 a 1:500.000) conformada por ambientes morfogenéticos correspondientes a los fluviales (F), denudacionales (D), marinos (M), morfoestructurales (S) y los antrópicos (A). Para el área de estudio se definen las regiones costeras norte de Montes de María y río Magdalena y los ambientes se describen a seguir:

- A. Ambiente fluvial (F): son las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial, ya sea erosivos o de sedimentación generados por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas respectivamente (INGEOMINAS, 2010).
- B. Ambiente Denudacional (D): determinado por la actividad de procesos de meteorización, y predominantemente de procesos erosivos hídricos y de fenómenos de transposición o de remoción en masa actuantes sobre geoformas pre - existentes.
- C. Ambiente Marinos Profundos y Costeros (M): aquellas geoformas construidas por la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero del mar.
- D. Ambiente Morfoestructural (E): son las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico, o sea aquellas geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario.
- E. Ambiente Antropogénico (A): se define en las geoformas de terreno que son producto de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre con obras de infraestructura y desarrollos urbanísticos (INGEOMINAS, 2010).

#### 5.1.4.1.4 Unidades y subunidades geomorfológicas

El término unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomorfológico constructivo o destructivo ya sea por acumulación o erosión y está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos. En la Tabla 5.6 se pueden observar las unidades geomorfológicas presentes a nivel regional para así contextualizar los terrenos.

Tabla 5.6 Unidades y subunidades geomorfológicas a nivel regional

Geomorfo-estructura	Provincia	Región (referida al ambiente)	Unidad	Subunidades	Símbolo
Sistema Orogénico Costero	Cuenca Baja del Magdalena y Cauca	Fluvial (F)	Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados, Bajadas	Superficies onduladas en frentes montañosos, tiene forma de cono, pendientes onduladas, suaves, se favorecen procesos de depositación.	Fac
			Barra compuesta	Amalgamiento de varias barras por múltiples eventos de erosión y sedimentación.	Fbc
			Barra longitudinal	Acumulación de sedimentos en barras asociadas al río Magdalena.	Fbl
			Cauce aluvial	Canal excavado por corrientes permanentes, contiene carga de materiales finos	Fca
			Complejo de orillales	Su origen es por fluctuaciones del cauce, migración de meandros generando formas semilunares.	Fco
			Laguna	Depósito natural de agua generado por inundaciones en épocas de altas pluviosidad	Flg
			Plano anegadizo	Superficie en forma de artesa de suave pendiente con mal drenaje, predominan sedimentos finos.	Fpa
			Plano o llanura de inundación	Morfología plana de depósitos aluviales, drenajes de baja incisión, escasos a nulos procesos erosivos.	Fpi
			Terraza de acumulación antigua	Geoforma plana a suavemente ondulada asociados a abanicos y aluviales, no se identifican procesos erosivos.	Ftan
		Denudativo (D)	Cerro remanente o relicto	Colinas de bajo relieve, de cima redondeada, procesos erosivos diferenciales escasos.	Dcrem
			Lomeríos disectados	Lomas o colinas de fuertes pendientes, Procesos denudativos intensos.	Dldi
			Loma residual	Lomas de laderas cortas, pendientes abruptas, intensa meteorización y erosión.	Dlor
			Lomeríos pocos disectados	Morfología alomada, cimas subredondeadas, bajo relieve, erosión superficial	Dlpd
			Montículo y ondulaciones denudacionales	Morfología colinada de topes redondeados, pendientes suaves, pocos procesos de remoción en masa.	Dmo
			Planicie	Terrenos extensos y planos asociadas a depósitos recientes afectados por procesos erosivos o de incisión.	Dp

Geomorfo-estructura	Provincia	Región (referida al ambiente)	Unidad	Subunidades	Símbolo
			Planicie ondulada	Superficies planas, suavemente ondulada, áreas sujetas a inundación.	Dpo
		Marino (M)	Laguna costera	Cuerpos de aguas saladas en zonas de depresión.	Mlc
			Llanura intermareal	Morfología plana a levemente inclinada, deriva de fluctuaciones del nivel freático.	Mlii
			Planos de inundación	Depresión leve y poco profunda a nivel del mar o por debajo.	Mpi
			Terrazas marinas	Superficies elevadas subhorizontales con desnivel tectónico o por cambio del nivel del mar.	Mtm
		Estructural (S)	Cuesta	Prominencias elongadas a modo de colinas de fuertes pendientes, muestran procesos erosivos a modo de deslizamientos.	Sc
			Ladera de contrapendiente de cuesta	Ladera longitudinal muy corta de pendientes escarpadas, drenaje dendrítico, localmente procesos erosivos.	Sclc
			Ladera estructural de cuesta	Ladera de pendientes inclinadas, de drenajes poco incisados, localmente procesos erosivos	Scle
			Ladera contrapendiente de sierra anticlinal	Superficie vertical a subvertical, escalonada, laderas cortas de fuertes pendientes.	Ssalc
			Ladera estructural de sierra anticlinal	Flanco de anticlinal, de pendientes abruptas,	Ssale
			Sierra anticlinal	Eje del anticlinal en laderas de contrapendiente,	Svi
		Antropogénicos (A)	Explotación minera	Áreas de explotación a cielo abierto, canteras de materiales pétreos y de construcción.	Aemc
			Excavaciones	Depresiones rectangulares hechas manualmente, normalmente empozadas.	Ase
			Superficie de explanación	Planos de allanamiento en laderas de sustrato rocoso, explanadas o en terraceos que disminuyen las pendientes bajo condiciones de estabilidad.	Asp

Fuente: Modificado de (INGEOMINAS, 2010)

Con base en las anteriores descripciones de las unidades y subunidades geomorfológicas se presenta en la distribución de las unidades geomorfológicas a nivel regional.



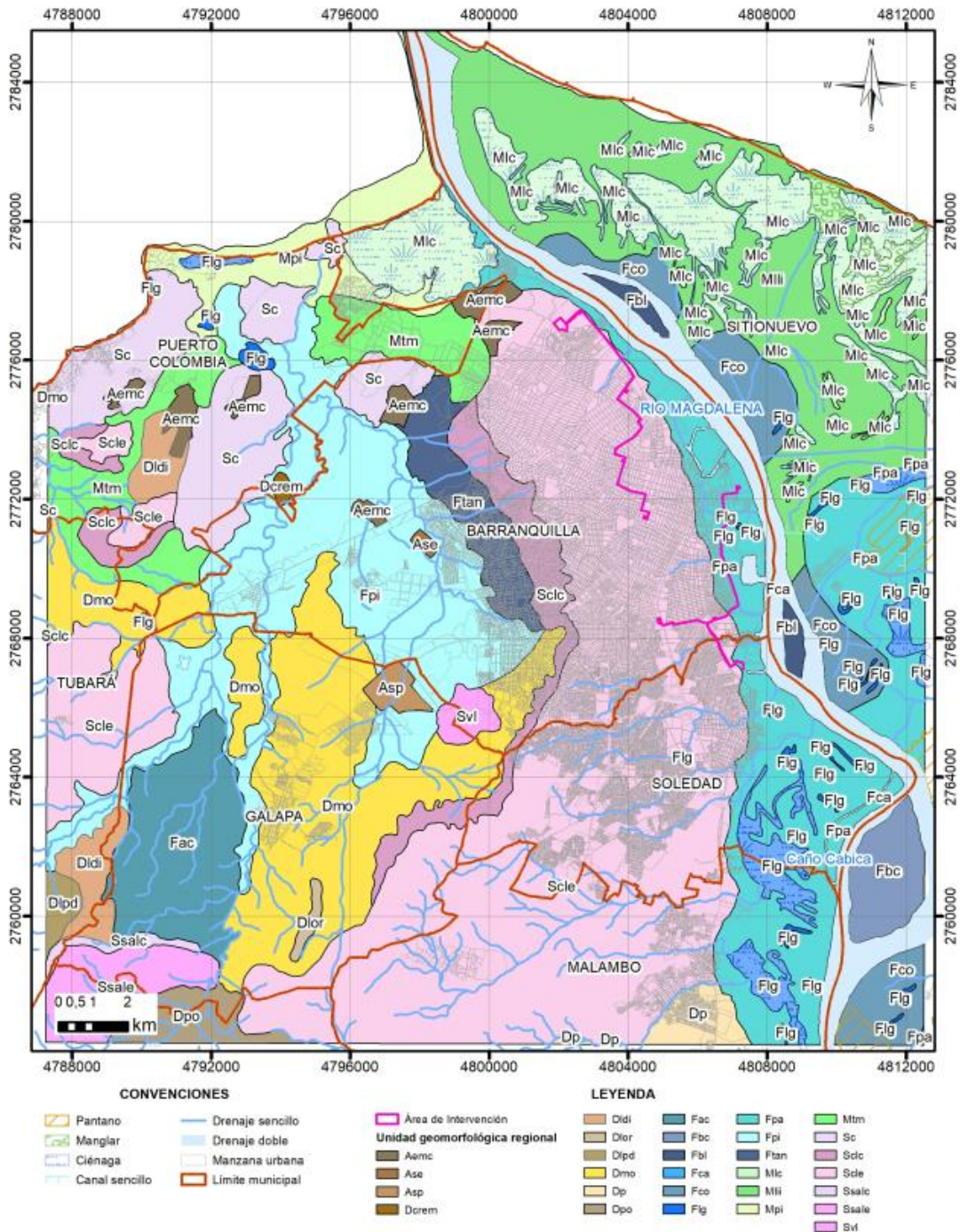


Figura 5.12 Unidades geomorfológicas a nivel regional, las líneas magenta corresponden al área de intervención

Fuente: Elaboración propia a partir de (INGEOMINAS, 2010)

---

Localmente las condiciones geomorfológicas de los terrenos de intervención con el Proyecto UPME STR 02-2019, corresponden a un relieve plano suavemente ondulado conformado por sedimentos recientes de origen fluvial asociados al río Magdalena, donde las áreas más planas se localizan hacia las márgenes del mismo, son áreas parcialmente inundables, donde se pueden distinguir aquellas zonas sujetas a inundación por períodos cortos no regulares y otras sometidas a la acción periódica y prolongada de aguas como los playones y bajos.

Dentro de las zonas planas es posible distinguir áreas de transición entre las colinas y las zonas más bajas, que presentan una pendiente suave, relieve con algunas disecciones, vegetación de bosques muy seco, constituidas por sedimentos de piedemontes, fluviales intermontanos asociados a los cauces de los principales arroyos del área. En la Figura 5.13 se discretizan las unidades geomorfológicas locales, las cuales se muestran en el Mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-UGEOM-30 y Figura 5.13.



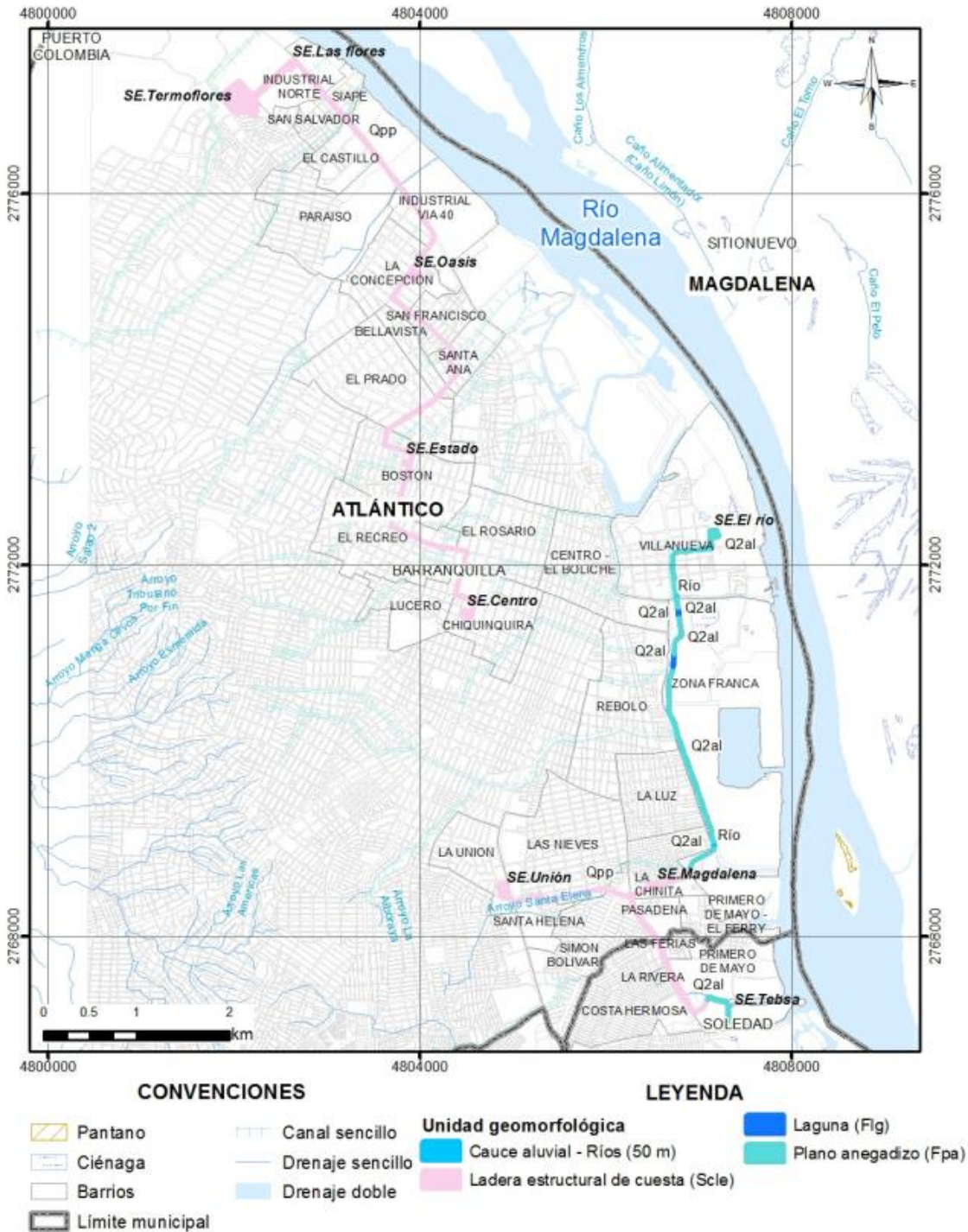


Figura 5.13 Unidades geomorfológicas a nivel local

Fuente: Integral S.A., 2020

**A. Laguna (Flg)**

Depósito natural de agua que es generada por inundaciones en épocas de altas pluviosidad, ocasionalmente permanecer secas en épocas del año de menor pluviosidad. Son cuerpos discontinuos de mediana extensión ubicados dentro de la unidad de aluviales.

**B. Plano anegadizo (Fpa)**

Es la unidad fluvial más presente en los terrenos, son superficies en forma de artesa de suave pendiente, donde predominan sedimentos finos. Su origen es de encharcamientos temporales; pueden o no tener drenajes de baja incisión asociados por donde drenan sus aguas. En la Figura 5.14 se observa un panorama típico del desarrollo de vegetación de pastos y herbazales sobre planicies aluviales asociadas a estos depósitos. Es sobre esta unidad que pueden verse procesos erosivos asociados a la propia dinámica fluvial en fenómenos de socavación de orillas.

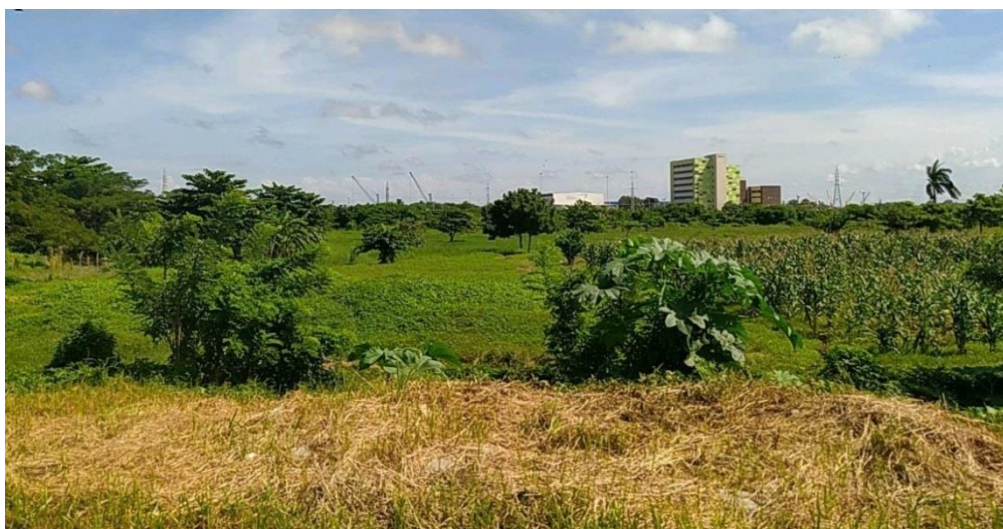


Figura 5.14 Plano anegadizo (Fpa) en el municipio de Barranquilla

Fuente: Integral S.A., 2020

**C. Ladera estructural de cuesta (Scl)**

Son ladera de pendientes inclinadas, donde se pueden tener afloramientos de sedimentos granulares que se asocian con la Formación La Popa. Es una unidad de drenajes poco incisados, y localmente se definen algunos procesos erosivos.

La Tabla 5.7 muestra la distribución de las subunidades geomorfológicas para el área de intervención del proyecto.

Tabla 5.7 Distribución de subunidades geomorfológicas

Nomenclatura	Subunidad geomorfológica	Área (ha)
Fgl	Laguna	0,146441
Fpa	Plano Anegadizo	3,320567
Scl	Ladera Estructural de Cuesta	22,588671

Nomenclatura	Subunidad geomorfológica	Área (ha)
----	Cauce aluvial	0,026621
	<b>Total</b>	<b>26,0823</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.4.2 Morfografía

La morfografía corresponde a las características o aspectos relacionados con la geometría de las unidades geomorfológicas y se interpreta desde las pendientes y la curvatura del terreno.

#### 5.1.4.2.1 Pendientes del terreno

Para la zona de estudio se derivó el mapa de pendientes del terreno usando como insumo el Modelo de Elevación Digital (DEM – por sus siglas en inglés). En la Tabla 5.8 se presenta la distribución de los diferentes rangos de pendientes para el área de intervención.

Tabla 5.8 Distribución de los diferentes rangos de pendiente del terreno

Clasificación	Rango de pendiente	Área (ha)
Plano o a nivel	0 - 1%	1,80
Ligeramente plana	1 - 3%	8,99
Ligeramente inclinada	3 - 7%	12,81
Moderadamente inclinada	7 - 12%	2,48
Fuertemente inclinada	12 - 25%	0,002
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	25 - 50%	---
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	50 - 75%	----
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	75 - 100%	----
Totalmente escarpada	>100%	----
<b>Total</b>		<b>26,08</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

A continuación, se presenta la descripción de los diferentes rangos y clases de pendientes del terreno identificadas dentro del componente geomorfológico que se referencian en la Figura 5.15 y que se cartografiaban en el Mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-PEN-10.



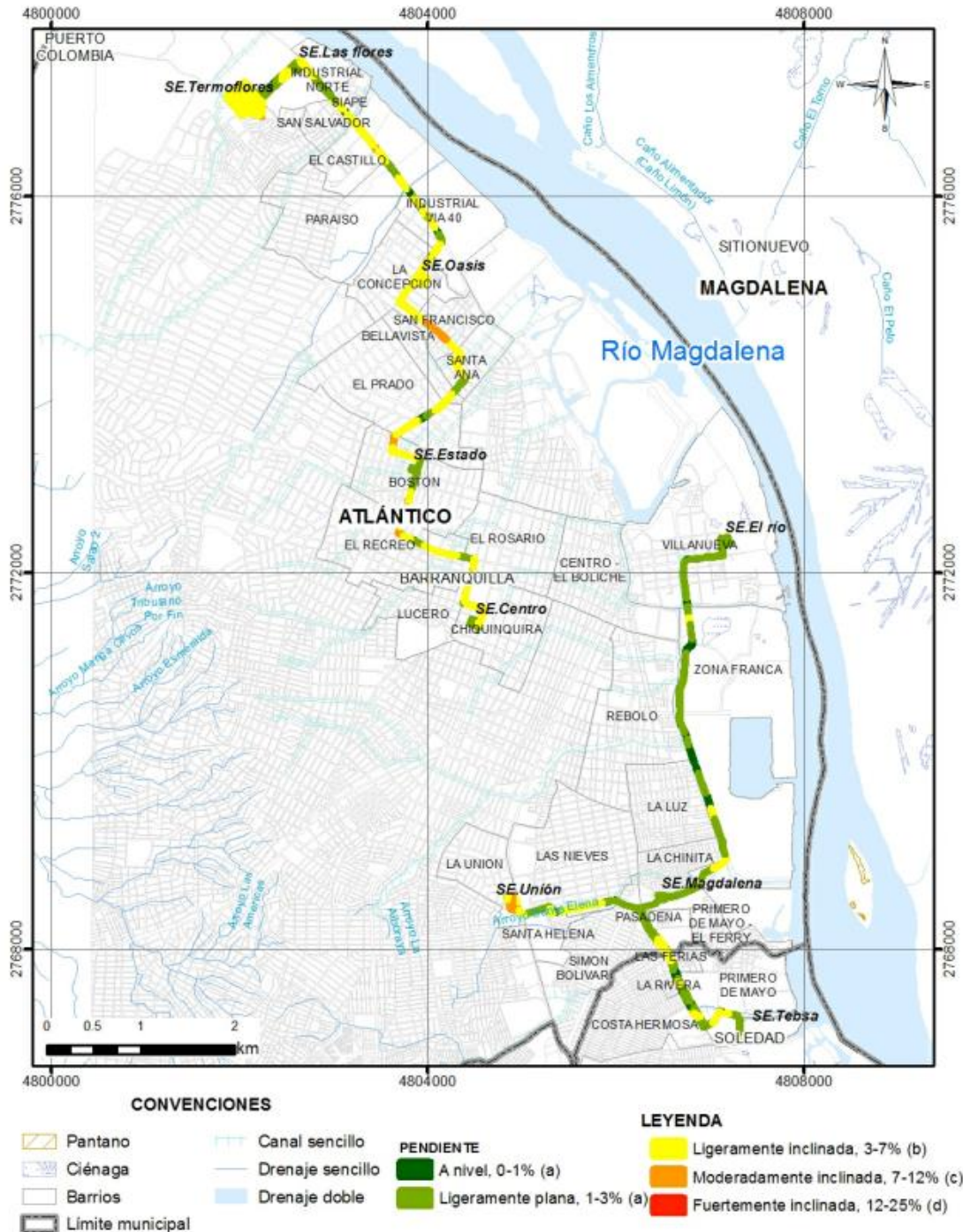


Figura 5.15 Pendientes del terreno

Fuente: Integral S.A., 2020

A. Zonas a nivel (0-1%), ligeramente planas (1-3%) y ligeramente inclinadas (3-7%)

Corresponden a aquellos sectores propios de ambiente fluvial, donde se tienen los planos anegadizos y las lagunas, se definen en material aluvial; se presentan así las pendientes planas a ligeramente inclinadas, asociados principalmente a la depositación de material transportado, que suavizan la pendiente.

B. Zonas moderadamente inclinadas (7-12%)

Son aquellas áreas asociadas a antiguos escurrimientos de agua generados por los retiros de grandes cuerpos de agua producto del aumento en la capacidad hídrica del río Magdalena y algunos de sus afluentes o caños.

C. Zonas fuertemente inclinadas (12-25%) y ligeramente escarpadas o ligeramente empinadas (25-50%) - Zonas fuertemente escarpadas (75-100%) y totalmente escarpadas (>100%)

En la zona de estudio, estas clases están mínimamente representadas en lo que corresponde a las pendientes fuertemente inclinadas, aunque en un área muy reducida. En términos generales no se presentan áreas relacionadas con pendientes de ligeramente escarpadas a totalmente escarpadas.

#### 5.1.4.2.2 Curvatura

Esta variable está asociada al grado de concavidad y convexidad espacial de la superficie del terreno. Es calculada a partir del modelo de elevación digital del terreno (DEM) para cada una de las celdas en un cuadrado de 5x5. Matemáticamente se asocia a las derivadas de segundo orden de la altitud, estas brindan información en términos de cambios positivos o negativos con respecto a las celdas adyacentes, lo que se interpreta en tendencias hacia la concavidad o convexidad de la superficie. Presenta una gran relación con la susceptibilidad por movimientos en masa, está asociada a la concentración o dispersión del drenaje superficial, que está directamente relacionado con la saturación de las formaciones superficiales y el aumento de presión en los poros, el cual se hace mayor en superficies de morfología cóncava y menor en superficies convexas. En la Figura 5.16 se definen estas condiciones para el área de estudio.

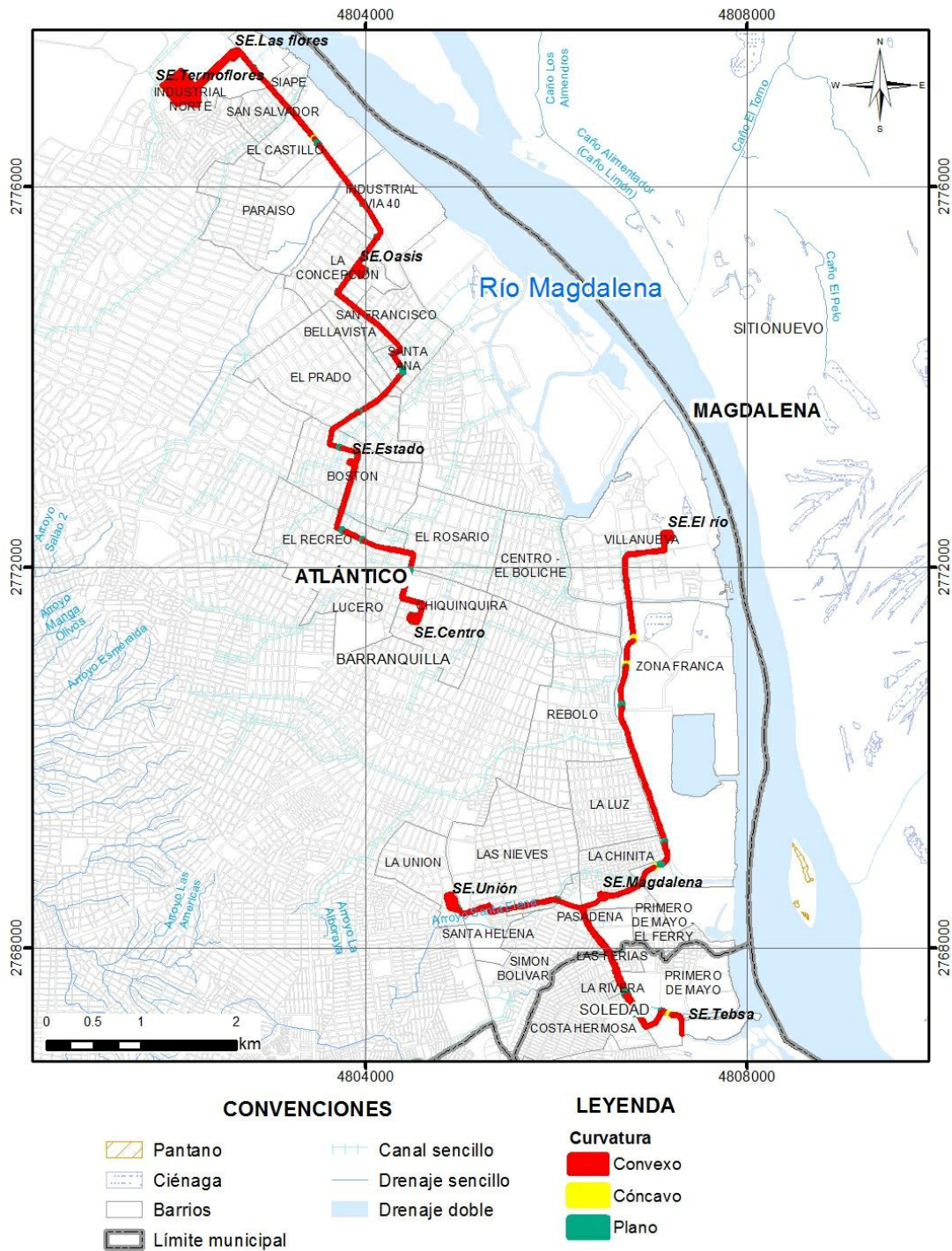


Figura 5.16 Distribución espacial de la curvatura

Fuente: Integral S.A., 2020



En la Tabla 5.9 se observa la distribución espacial en términos de curvatura del área de intervención, donde claramente se definen terrenos de predominancia convexa.

Tabla 5.9 Distribución de la curvatura

Clasificación	Rango	Área (ha)
Cóncavo	< -0,5	0,5054
Plano	-0,5 – 0,3	1,2960
Convexo	> 0,3	24,2810
<b>Total</b>		<b>26,0823</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.4.3 Morfodinámica

Los procesos morfodinámicos corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o simultáneas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, principalmente los externos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. Están asociados a una secuencia conformada por la meteorización y erosión de las rocas, el transporte de los materiales removidos y su posterior sedimentación.

#### 5.1.4.3.1 Análisis multitemporal

Para el área de intervención del componente geomorfológico, se llevó a cabo un análisis multitemporal basado en la fotointerpretación de imágenes satelitales u ortofotos de diferentes años con el fin de identificar las condiciones de los procesos modificadores del paisaje y definir su evolución en el tiempo. En la Tabla 5.10 se presenta una síntesis de la información utilizada en el marco del análisis multitemporal para el área del componente geomorfológico.

Tabla 5.10 Insumos utilizados para la elaboración del análisis multitemporal

Tipo de imagen	Año	Fuente
Ortofoto	2020	Integral S.A.
Imagen satelital	2008	Google Earth Pro
Imagen satelital	2003	Google Earth Pro

Fuente: Integral S.A., 2020

Antes de entrar al detalle del análisis multitemporal, es importante mencionar algunas consideraciones:

- El área de influencia del componente geomorfológico del proyecto se encuentra, en su totalidad, sobre la zona urbana del municipio de Barranquilla, Atlántico. Debido a lo anterior, y además teniendo en cuenta la morfografía de la zona caracterizada por terrenos planos a levemente inclinados, existe un limitante para la definición de procesos morfodinámicos a una escala inferior a 1:20.000. En este orden de ideas, la mayoría de los procesos morfodinámicos observados se caracterizan como antrópicos y el análisis multitemporal se centrará más en la evolución urbanística de los terrenos aledaños al trazado del proyecto y lo que se determine en el área de intervención.

- Adicional a la extensa intervención urbana, industrial y portuaria que se desarrolla en el área de influencia, la resolución de las imágenes satelitales y ortofotos disponibles, especialmente aquellas obtenidas de la plataforma Google Earth Pro, no permite la identificación clara de zonas pequeñas donde puedan desarrollarse procesos erosivos locales, así que se reitera que el análisis multitemporal tiene un enfoque global con relación al área de influencia del proyecto.
- En vista de la extensión del área de intervención, el análisis multitemporal se presentará para dos sectores: El sector A comprendido por el tramo del trazado que entre la subestación La Unión y la subestación El Río; este sector a su vez se divide en dos subzonas; una ubicada al sur que incluye la subestación La Unión y Magdalena, y la otra al norte hasta la subestación El Río. El sector B corresponde al trayecto del trazado que abarca a las subestaciones Centro, Oasis, y Termoflores, y se divide en dos subzonas, la A entre la subestación Centro y la subestación Oasis, y la B entre la subestación Oasis y la subestación Termoflores.
- Dado que la totalidad de los procesos identificados a la escala del trabajo estaban por fuera del área de influencia del componente geomorfológico del proyecto y los procesos identificados están relacionados únicamente con las intervenciones antrópicas realizadas en los últimos 20 años, se considera pertinente la elaboración de un único mapa de procesos morfodinámicos actual (2020), teniendo en cuenta la estabilidad temporal que se observó en las demás fechas analizadas (2003 y 2008)

A continuación, se presentan los hallazgos más importantes en el marco del análisis multitemporal.

#### A. Sector A – Subzona 1 (2003 y 2008)

Esta subzona se encuentra en un área totalmente urbana-industrial, y de acuerdo con lo observado en la Figura 5.17, las condiciones entre 2003 y 2008 no varían a niveles notorios. Lo que puede destacarse es la presencia de una zona al occidente del área de influencia con un leve aumento en el grado de intervención antrópica asociada al incremento urbano-industrial de la región. Dichas intervenciones antrópicas traen consigo la generación de terrenos localmente desprotegidos de vegetación.



Figura 5.17 Evolución multiemporal en los años 2003-2008. Sector A, Subzona 1

Fuente: Integral S.A., 2020

Asimismo, al sur del ramal oriental de esta subzona, se identifican sitios donde para 2008 hay mayor área construida, e incluso en el polígono del extremo superior derecho se alcanza a identificar que tal intervención antrópica ha venido con una recuperación parcial de la cobertura vegetal en zonas previamente desprotegidas.

#### B. Sector A – Subzona 1 (2020)

La Figura 5.18 muestra la situación considerada como actual para la misma área cubierta en el numeral previo. Los cambios van en el mismo orden de lo observado entre 2003 y 2008, es decir, las zonas previamente identificadas han sufrido un claro desarrollo antrópico asociado a adecuaciones urbanas e industriales en el municipio de Barranquilla, además, el área ubicada en el extremo superior derecho descrita como área con suelo desprotegido en 2003 y posterior recuperación parcial de vegetación en 2008, se encuentra ahora cubierta antrópicamente para lo que se alcanzan a definir como adecuaciones viales. Lo anterior es lo esperado en este tipo de regiones donde el urbanismo y la industrialización requieren constante actividad constructiva.



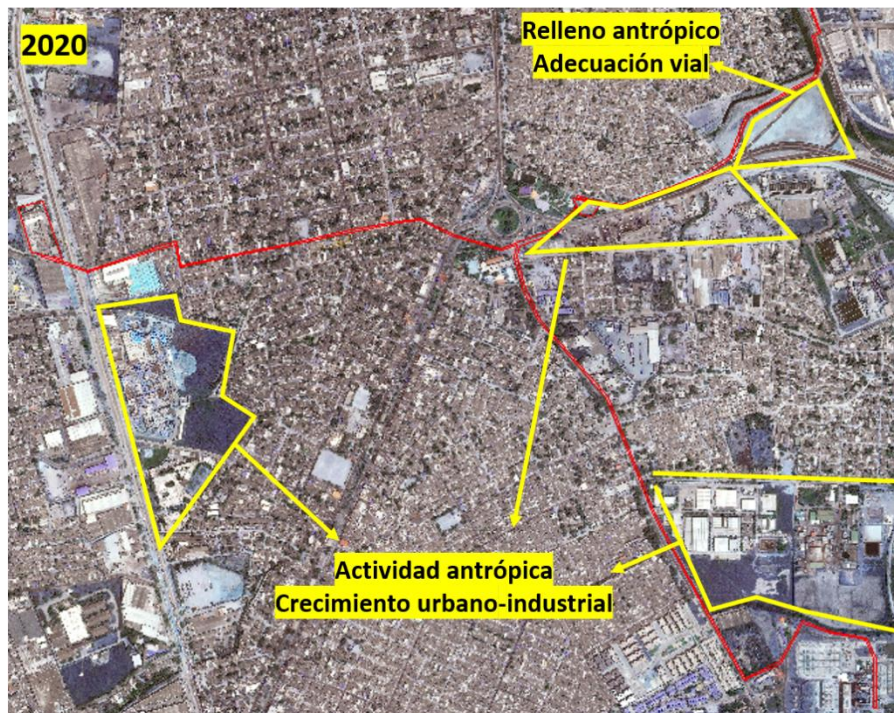


Figura 5.18 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector A, Subzona 1.

Fuente: Integral S.A., 2020

En general, no se identificaron procesos morfodinámicos naturales en esta subzona del área de estudio; es decir, todo lo mencionado está asociado de alguna manera con el desarrollo antrópico del municipio de Barranquilla.

#### C. Sector A – Subzona 2 (2003-2008)

Esta subzona comprende un trayecto del trazado que se extiende en sentido N-S al occidente del río Magdalena. En ella se identificaron dos áreas principales. El área central se intercepta con el área de influencia y destaca por presentar actividad antrópica notoriamente menor que sus alrededores, sin embargo, es de destacar que esta no es nula, pues se alcanzan a diferenciar ciertas construcciones y porciones de suelo desprotegido. Además, por fuera del área de influencia y asociados a esta zona, se identifican cuerpos de agua (lagunas) y algunos sitios de mayor humedad. Como se observa en la Figura 5.19, esta área permanece en condiciones generales estables entre el 2003 y el 2008.

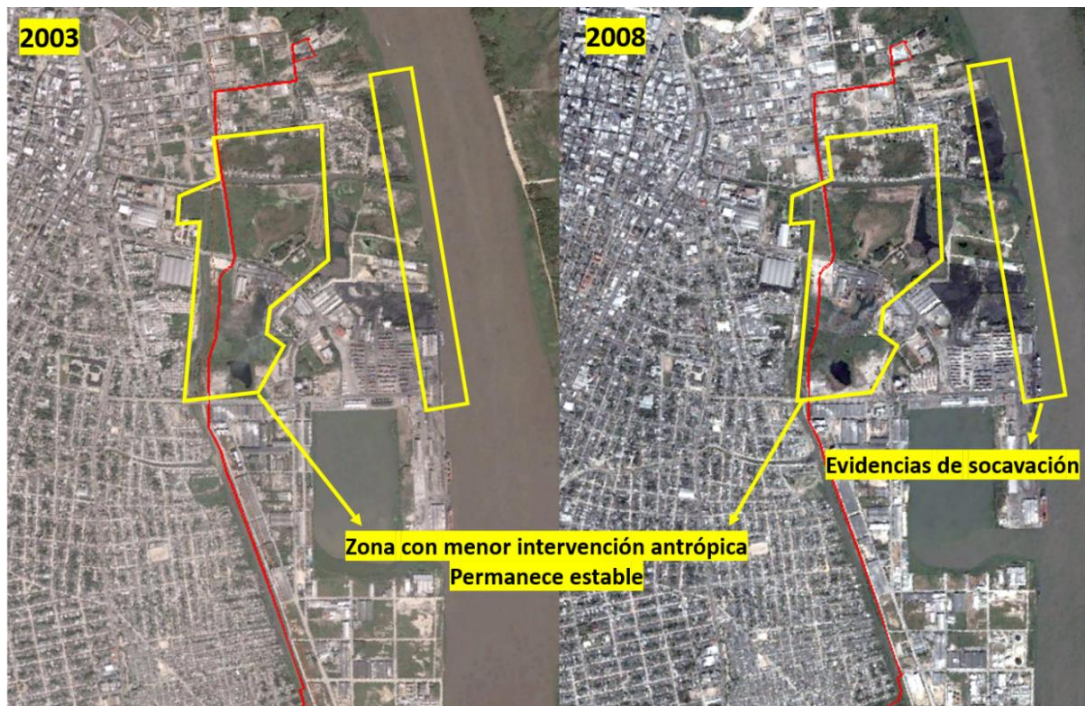


Figura 5.19 Evolución multitemporal en los años 2003 - 2008 - Sector A, Subzona 2

Fuente: Integral S.A., 2020

La segunda zona de relevancia morfodinámica corresponde a la margen occidental del río Magdalena, la cual en el 2003 se observa sin irregularidades, pero en el 2008 muestra evidencias de socavación lateral entre leves y moderadas, así como sedimentación activa. Estos procesos están asociados a variaciones naturales de la hidrodinámica del cuerpo de agua, pero también existe la posibilidad de que intervenciones antrópicas realizadas en esta margen tengan influencia en la interacción entre el río y el área en cuestión, potenciando la socavación en las márgenes de la corriente. Es importante notar que este sitio se encuentra por fuera de los límites del área de influencia y de intervención del proyecto.

#### D. Sector A - -Subzona 2 (2020)

Para el año 2020, como se observa en la Figura 5.20, hay cambios notorios en los dos sitios resaltados en el numeral anterior y ambos están relacionados con la progresiva actividad antrópica. En primer lugar, la zona central ha sufrido un proceso claro de relleno de naturaleza antrópica; a tal punto en que la parte norte no deja ver la vegetación que se identificó en los años 2003 y 2008. Esto permite concluir, que uno de los procesos más comunes realizados en la región es el de relleno de zonas de humedales, lagunas y cuerpos de agua con el fin de ejecutar la adecuación respectiva para construcciones a futuro. En la parte sur se identifican aún algunas franjas de vegetación, así como una clara zona de empozamiento. Se reitera en el hecho de que ninguno de estos procesos afecta de manera directa el área de influencia e intervención del proyecto.





Figura 5.20 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector A, Subzona 2

Fuente: Integral S.A., 2020

En segundo lugar, la margen occidental del río muestra, similarmente, adecuaciones antrópicas relacionadas al avance de la zona portuaria en la región; las evidencias de socavación lateral disminuyeron notablemente, y no se observan unidades aluviales de sedimentación activa.

#### E. Sector B – Subzona 1 (2003 y 2008)

Esta subzona se ubica, al igual que el sector A, subzona 1, en el corazón urbano del municipio de Barranquilla, por lo que a la escala y resolución ofrecidas por las imágenes satelitales no se identifican procesos morfodinámicos naturales. Ahora bien, hacia el nororiente del área de influencia se observa una zona no urbanizada con rasgos de suelo desprotegida y un área con vegetación considerable. Las variaciones de este sitio entre el año 2003 y 2008 son mínimas, pero sí se alcanza a observar un avance en construcciones hacia el nororiente, así como un aumento moderado de la densidad de cobertura vegetal (véase Figura 5.21).



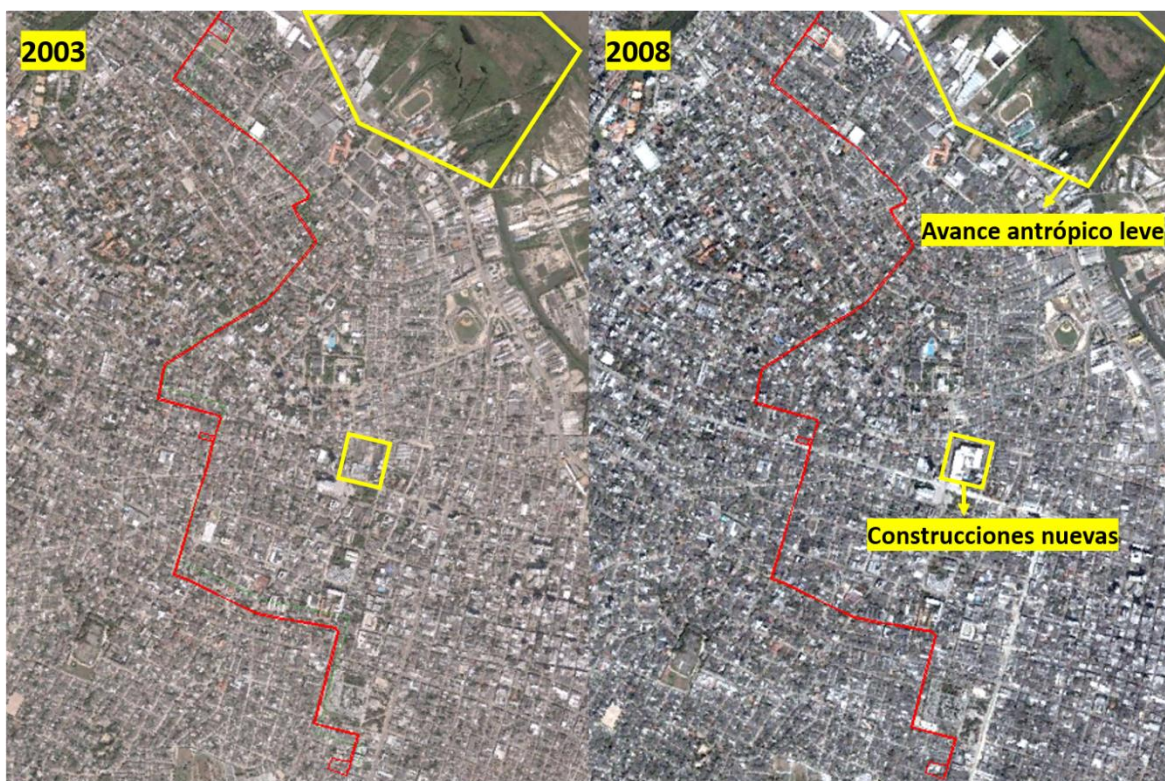


Figura 5.21 Evolución 2003-2008 Sector B, Subzona 1

Fuente: Integral S.A., 2020

#### F. Sector B – Subzona 1 (2020)

El avance antrópico en el sitio mencionado previamente se hace aún más notorio en la ortofoto del año 2020, el sector norte del polígono se encuentra completamente cubierto de construcciones y, en contraste, para la parte baja se observa una capa vegetal mucho más densa que la identificada en 2008 (véase Figura 5.22). Esto sugiere que en esta zona ha habido un proceso de reforestación controlada, así como la finalización de las modificaciones antrópicas que se introdujeron en el numeral previo.



Figura 5.22 Estado actual (2020) Sector B, Subzona 1

Fuente: Integral S.A., 2020

G. Sector B – Subzona 2 (2003 y 2008)

El tramo final del área de influencia muestra actividad antrópica creciente en la zona central, al occidente del área, y en el extremo oriental adyacente al río Magdalena, en la zona portuaria (véase Figura 5.23). Además, hacia el noroccidente se encuentra el límite de la zona urbana de Barranquilla, y en los terrenos más allá de este se observan procesos erosivos asociados a intervenciones antrópicas incipientes.



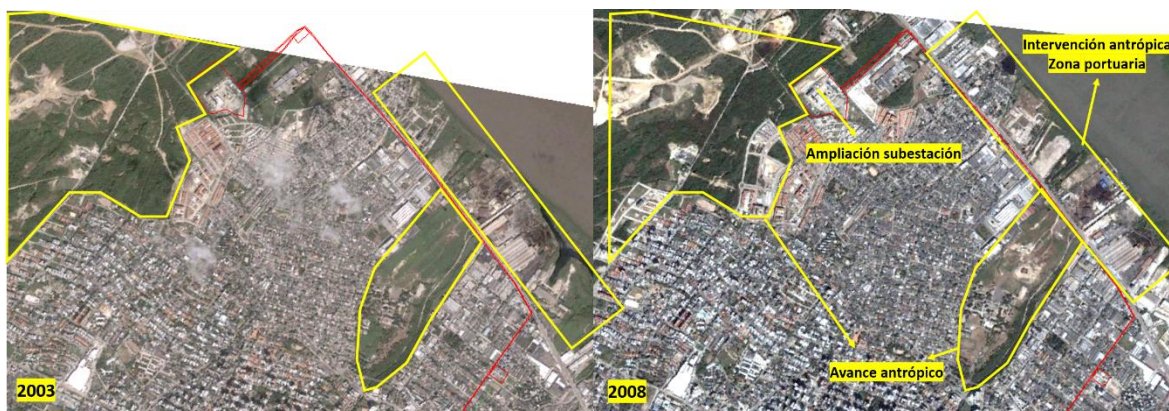


Figura 5.23 Evolución morfodinámica para los años 2003-2008 - Sector B, Subzona 2

Fuente: Integral S.A., 2020

Es posible identificar un incremento paulatino de dichos procesos entre los años 2003 y 2008, lo cual indica un proceso constructivo no finalizado en este período de tiempo. La zona muestra áreas con pérdida de cobertura vegetal lo cual expone el suelo y le otorga mayor susceptibilidad a la erosión.

#### H. Sector B – Subzona 2 (2020)

Finalmente, para el 2020, todos los procesos antrópicos mencionados en el numeral anterior parecen estar terminados, de tal modo que la exposición de suelo desprotegido no es identificable en esta fecha. Tanto las adecuaciones al noroccidente como lo observado en la zona central y adyacente al río Magdalena se encuentran completamente estabilizadas por el avance antrópico respectivo (véase Figura 5.24).

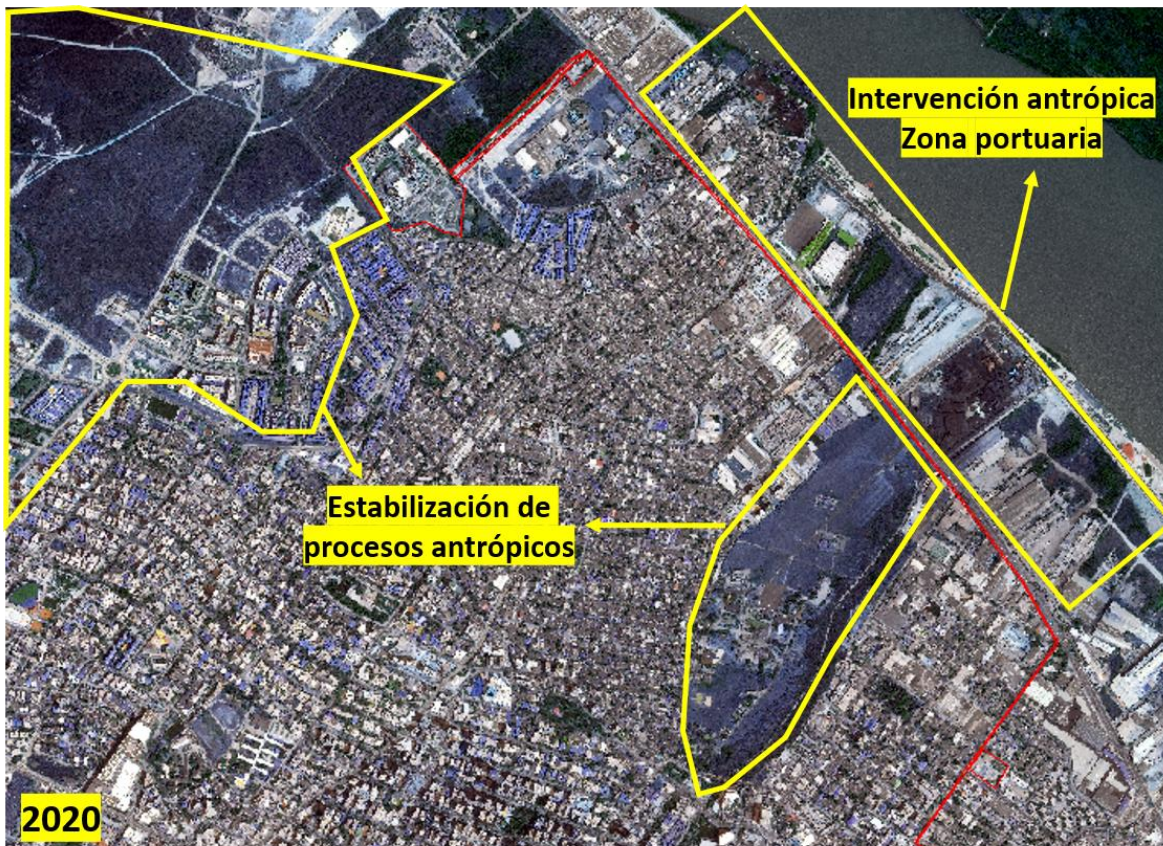


Figura 5.24 Estado morfodinámico actual (2020) - Sector B, Subzona 2.

Fuente: Integral S.A., 2020

El análisis multitemporal realizado permite concluir tres aspectos fundamentales:

1. Las condiciones morfográficas y el desarrollo urbano de los municipios de Barranquilla y Soledad para el área de influencia, sitio donde se encuentra la totalidad del área de intervención del proyecto, no permiten el desarrollo de procesos morfodinámicos críticos para la estabilidad como movimientos en masa, reptación o erosión concentrada.
2. Las variaciones en los últimos 20 años en cuanto a morfodinámica para la zona de interés son completamente dependientes de la hidrodinámica del río Magdalena y de las obras antrópicas ejecutadas para el desarrollo urbano, industrial y portuario de la ciudad.
3. No se identificó ningún proceso morfodinámico relevante dentro del área de influencia del componente geomorfológico, por lo que se concluye que la zona presenta una estabilidad muy alta desde el punto de vista morfodinámico.



#### 5.1.4.3.2 Áreas de sedimentación activa

En el área de intervención o de influencia del proyecto, así como en sectores aledaños, no se identifican zonas activas de sedimentación además de aquellas asociadas a los procesos deposicionales normales del río Magdalena. Estos puntos de sedimentación, correspondientes a barras aluviales de carácter lateral, puntual o central, se describen e ilustran en el numeral 5.1.6.3.4, y su localización se presenta en el mapa de procesos morfodinámicos de 2020 mostrado en la Figura 5.25.

#### 5.1.4.3.3 Áreas de erosión activa

Los procesos erosivos dentro del área de influencia se limitan a las zonas susceptibles derivadas de intervenciones antrópicas que generan áreas desprotegidas, así como a los sectores puntuales de los canales donde se observa socavación lateral de orillas. Estos procesos se describen e ilustran en el numeral 5.1.6.3.4, y su localización se presenta en el mapa de procesos morfodinámicos de 2020 mostrado en la Figura 5.25.

Es importante notar que las zonas de erosión activa y de sedimentación activa ocupan menos del 2% del área de influencia total para el proyecto, y los sitios que si se encontraron suelen tener influencia mínima sobre el área de intervención, de tal modo que morfodinámicamente se está tratando un área de inestabilidad muy baja, casi nula, completamente dependiente de las obras antrópicas que se han ejecutado en los sectores.

#### 5.1.4.3.4 Caracterización de procesos morfodinámicos

La totalidad del área de estudio del componente geomorfológico del proyecto se encuentra sobre terrenos moldeados por formaciones sedimentarias carbonatadas, correspondientes a la Formación La Popa, y por depósitos aluviales recientes. Estas unidades dejan como resultado un paisaje bastante plano o de una inclinación muy leve. La naturaleza litológica del área de influencia, definida por depósitos aluviales predominantemente finos y rocas sedimentarias químicas, integrada con las características morfográficas, cuyo relieve relativo generalizado es bajo, tiene como consecuencia la ausencia de procesos morfodinámicos asociados a la remoción en masa, estos corresponden a procesos antrópicos, zonas húmedas, empozamientos, sedimentación activa y socavación de orillas (véase Figura 5.25 y mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-PRMF-20).

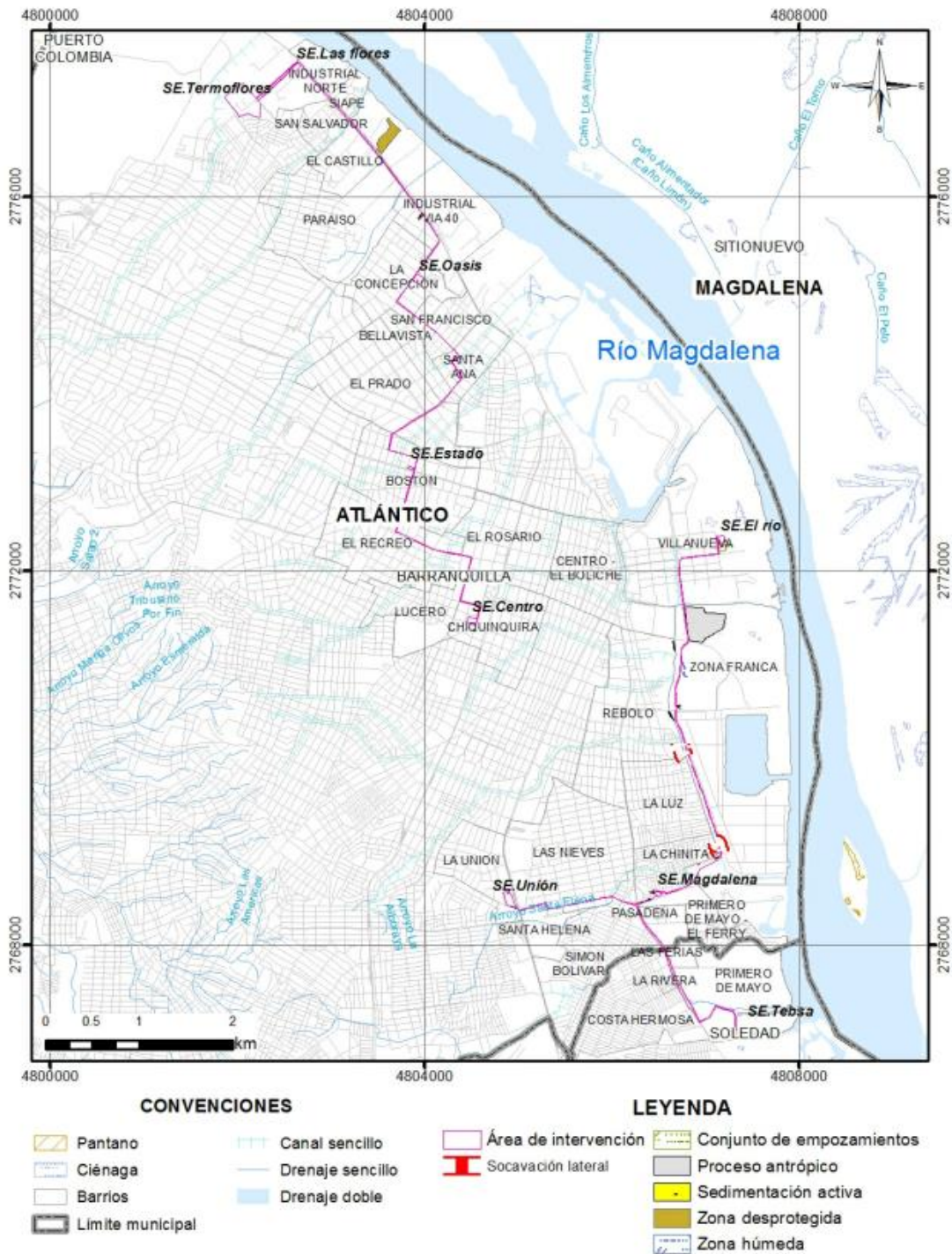


Figura 5.25 Procesos morfodinámicos

Fuente: Integral S.A., 2020



Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que todo el trazado que define el área de intervención del proyecto, así como la localización de las subestaciones, se encuentran sobre área urbana de los municipios de Barranquilla y Soledad, de tal modo que las modificaciones antrópicas para adecuaciones urbanas, comerciales y portuarias comprende más del 90% de la zona de estudio.

De acuerdo con todo lo anterior, es una conclusión inmediata que el análisis de procesos morfodinámicos por medio de interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, para esta zona particular, mostrará con mayor claridad procesos asociados a dichos avances antrópicos o a la dinámica de los ríos y canales predominantes en el área.

A seguir se describen los procesos que pudieron ser identificados e ilustrados: procesos antrópicos, zonas húmedas, empozamientos, sedimentación activa y socavación de orillas.

#### A. Procesos antrópicos

En diferentes sitios del área de estudio fue posible identificar aquellas zonas afectadas moderadamente por procesos erosivos gracias a la exposición de los materiales superficiales tras la adecuación antrópica realizada para el avance urbanístico, de tal modo que, en general, estos sitios definidos con procesos antrópicos se encuentran relacionados con la construcción de vías secundarias, extensión de lotes y nuevas construcciones.

Es importante notar, que la mayoría de estos sitios no se encuentran afectando el área del proyecto como tal, ya que esta, al coincidir con el trazado proyectado para la intervención del proyecto, está definida casi totalmente por vías ya construidas en la ciudad. En este orden de ideas, cuando se identifican zonas de procesos antrópicos que dan lugar a algún grado de erosión, suele ser por modificaciones recientes y cercanas, mas no superpuestas, al trazado proyectado.

En la Figura 5.26 se presenta un ejemplo de una zona desprotegida producto de acciones antrópicas sobre terrenos adyacentes a la subestación Magdalena. Además del suelo sin cobertura vegetal que contrasta con el estado del terreno aledaño, se observan algunas zonas más al occidente que corresponden a intervenciones para la construcción de vías de acceso secundarias.



Figura 5.26 Zona de suelo protegido en la S.E. Magdalena

Fuente: Integral S.A., 2020

Otro de los procesos antrópicos observados, que se destaca en las zonas portuarias al oriente del área de interés y al occidente del río Magdalena es la conformación de rellenos antrópicos para cubrir aquellas áreas donde se encontrarían cuerpos de aguas como lagunas y ciénagas asociadas a la cercanía con el río y la planicie aluvial. Estos depósitos o rellenos se realizan con el fin de seguir con el avance de las zonas comerciales y portuarias en este sector.

En la Figura 5.27 se muestra un ejemplo de lo anterior hacia el costado oriental del tramo comprendido entre la subestación Magdalena y la subestación El Río. El área en cuestión muestra un contraste definido por una mitad de la zona desprotegida y otra más consolidada en cuanto al relleno antrópico, lo que sugiere que es una acción antrópica en avance actual.



Figura 5.27 Llenos antrópicos entre la S.E. Magdalena y S.E El Río

Fuente: Integral S.A., 2020

#### B. Zonas húmedas

En algunas zonas donde la vegetación es más abundante, como se observa en la Figura 5.28, pueden encontrarse sitios donde la pendiente y la concavidad del terreno propician la acumulación de aguas de escorrentía y favorecen el flujo a un punto convergente, en el cual se refleja superficialmente como un área de una coloración más oscura que las circundantes. Estas zonas se entienden como áreas con un mayor contenido de humedad, y pueden ser las más susceptibles al desarrollo de empozamientos.



Figura 5.28 Zonas húmedas

Fuente: Integral S.A., 2020

Las zonas húmedas al occidente del tramo que conecta la subestación Magdalena y la subestación El Río; parte de ella se encuentra dentro del polígono de influencia del componente geomorfológico, muchas veces definidas como lagunas. Estas zonas suelen ser intervenidas antrópicamente como se describió anteriormente, desarrollando rellenos antrópicos para el avance de zonas comerciales, urbanas y portuarias.

### C. Empozamientos

Cuando las condiciones morfológicas, morfográficas, hidrológicas e hidrogeológicas son las adecuadas, una zona puede ser propensa a desarrollar cuerpos de aguas estacionarios conocidos como empozamientos. En toda la zona de estudio solo se identificó un conjunto de estas áreas al sur de la subestación El Río (véase Figura 5.29). Los empozamientos se muestran como cuerpos de agua relativamente pequeños, pero con distancias entre ellos muy reducida, de tal modo que en condiciones de mayor pluviosidad es posible que esta zona tome la forma de una laguna mayor de carácter estacionario. Similar a las zonas húmedas, estos sitios son frecuentemente intervenidos antrópicamente para evitar la acumulación de agua y promover el avance urbano, industrial y portuario.





Figura 5.29 Zonas de empozamientos sur de la subestación El Río

Fuente: Integral S.A., 2020

#### D. Sedimentación activa

Dada la ausencia de altos relieves relativos y la predominancia de construcciones, vías, zonas urbanas y comerciales, para el área de influencia no se habla de zonas de sedimentación activa asociadas al desarrollo de depósitos de vertiente producto de procesos de remoción en masa; de tal modo que la única evidencia de sedimentación activa que se tiene son las barras laterales, intermedias o puntuales que puedan desarrollarse sobre los drenajes canalizados que desembocan en el río Magdalena, así como las unidades aluviales presentes en dicho río.

Las zonas de sedimentación activa pueden observarse como pequeñas barras laterales a lo largo de los drenajes canalizados, pero también se observa que en zonas donde la geometría de la canalización es modificada para adecuarse al sistema vial del municipio pueden concentrarse sedimentos debido a la variación en el ancho del canal o en su gradiente. En la Figura 5.30 se ilustran estos casos.





Figura 5.30 Zonas de sedimentación activa

Fuente: Integral S.A., 2020

No se observaron zonas de sedimentación aluvial activas de dimensiones relevantes dentro del polígono del área de intervención del proyecto.

#### E. Socavación de orillas

Incluso si los drenajes que desembocan en el río Magdalena han sido canalizados para adecuar el avance urbano del municipio, con el tiempo estos pueden desarrollar zonas de erosión activa donde la energía y velocidad de flujo es tal que las márgenes del cauce se ven afectadas a mayor grado por actividad erosiva hídrica.

Dado que estos procesos se ubican de manera local sobre los canales, no se observa una afectación directa sobre el trayecto definido para la intervención del proyecto. Las zonas de socavación lateral se encuentran principalmente sobre el canal al occidente del tramo que interconecta las subestaciones Magdalena y El Río. Lo anterior se ilustra para un sitio en la Figura 5.31.



Figura 5.31. Zonas de socavación de orillas

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.4.3.5 Análisis de torrencialidad

La amenaza por avenidas torrenciales es función de tres variables principales: la densidad de drenajes (Dd), la precipitación (P) y el tiempo de concentración (Tc). Esta última habla de las condiciones morfológicas de la cuenca que se analiza, y su valor determina el tiempo que tarda una gota desde el punto más alto de la cuenca en llegar al punto de cierre o de salida. En este orden de ideas, tiempos de concentración altos son típicos de cuencas con morfología plana donde el relieve no facilita el transporte del fluido por acción gravitacional, características presentes en el área de influencia del proyecto.

Adicionalmente, la precipitación media anual en el municipio de Barranquilla se ha estimado entre 780 y 820 mm/año, valor que para efectos de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales se consideran extremadamente bajos.

Si se considera entonces que el sistema de drenajes se encuentra canalizado dentro del área urbana disminuyendo efectivamente la influencia de la variable Densidad de Drenaje (Dd), que la precipitación no es lo suficientemente alta como para detonar eventos torrenciales y que, morfológicamente, no hay factores que promuevan tiempos de concentración bajos, se concluye que el área de influencia del componente geomorfológico en relación a la cuenca hidrológica donde se encuentra emplazada no es una zona con susceptibilidad a ocurrencia de avenidas torrenciales, por lo que se considera innecesario hacer una evaluación semicuantitativa de la amenaza por avenidas torrenciales.

#### 5.1.4.3.6 Análisis de susceptibilidad por la ocurrencia de procesos erosivos

Uno de los fenómenos frente a los cuales resulta importante hacer un estudio de susceptibilidad es a los procesos erosivos. Los suelos y materiales en general tienen una respuesta diferente a los procesos erosivos, esto según aspectos propios como litología y mineralogía o por factores externos como la tasa de precipitación, la pendiente del terreno o la cobertura vegetal presente. Utilizando la metodología propuesta por Ceballos & Toro (2012), se realizó un estudio de la susceptibilidad del área del proyecto UPME STR 02-2019 ante la ocurrencia de procesos erosivos. La base de esta metodología se encuentra en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

$$Se = 0,162 \times V + 0,0092 \times Lm + 0,0057 \times Es + 0,0187 \times s + 0,023 \times Geo + 0,228$$

La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo define la susceptibilidad a la erosión (Se) en función de cinco parámetros, algunos de hechos propios de los terrenos, y otros asociados a agentes externos como los meteorológicos.

Estos parámetros son: vegetación (V), lluvia o precipitación (Lm), escorrentía (Es), pendiente del terreno (s) y geología (Geo). A continuación, se explica cada uno de ellos y se presentan los valores tomados para el análisis dentro del área de estudio del proyecto.

Tras evaluar cada uno de los parámetros y aplicar la ecuación previamente introducida, se obtienen valores de susceptibilidad que se clasifican según la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Clasificación de los resultados de Susceptibilidad a la Erosión (Se)

Susceptibilidad a la erosión (Se)	Categoría
0-2	Muy baja
2-4	Baja
4-6	Moderada
6-8	Alta
8-10	Muy alta

Fuente: Modificado de Ceballos & Toro (2012)

#### A. Parámetro Vegetación (V)

Las coberturas vegetales conforman el insumo principal para la calificación del parámetro Vegetación. A cada tipo de cobertura se le asigna una calificación para el parámetro V según su susceptibilidad a los procesos erosivos, siendo 1 el menor grado de susceptibilidad y 10 el mayor grado. Las coberturas vegetales presentes en el área de

influencia han sido homologadas a las definidas por la metodología de Ceballos & Toro (2012), y su calificación se presenta en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Parámetro Vegetación (V)

Tipo de cobertura	Calificación
Herbazal denso inundable arbolado	3
Herbazal denso inundable no arbolado	6
Instalaciones recreativas	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	6
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4
Mosaico de pastos con espacios naturales	6
Pastos arbolados	4
Pastos enmalezados	4
Pastos limpios	8
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1
Tejido urbano continuo	1
Tierras desnudas y degradadas	10
Zonas industriales o comerciales	1
Zonas Portuarias	1
Zonas verdes urbanas	1

Fuente: Integral S.A., 2020

#### B. Parámetro lluvia – precipitación (Lm)

Como insumo para determinar la influencia de la precipitación en cuanto a procesos erosivos, se utiliza un índice de precipitación que, de acuerdo con la metodología de Ceballos & Toro (2012), corresponde a la relación entre la precipitación media anual (PMA) en mm/año y el valor de precipitación máxima mensual obtenido por polígonos de Thiessen. El primer valor se deriva del mapa de isoyetas de PMA disponible para la zona de estudio, allí se tienen datos que oscilan entre 750 mm/año y 1100 mm/año. En segundo lugar, para la precipitación mensual máxima, se consideran los datos de la estación Las Flores (199,8 mm) y la estación A.E. Cortissoz (164,4 mm). El cociente entre la precipitación media anual y la precipitación mensual máxima da como resultado un insumo ráster con valores inferiores a 10 que corresponden al valor de la variable Lm en la ecuación USLE.

#### C. Parámetro escorrentía (Es)

Este parámetro evalúa el comportamiento o flujo preferencial del área de escorrentía dentro del área de estudio. Para su calificación, se utilizó la opción de Acumulación de Flujo del conjunto de herramientas de modelamiento hidrológico bajo la plataforma del software ArcGIS (Spatial Analyst – Hydrologic Modeling).

#### D. Parámetro pendiente (s)

La definición de la pendiente con fines de evaluación de la susceptibilidad a los procesos erosivos se hace por medio de una reclasificación de los rangos de pendiente como se



indica en la Tabla 5.13. Posteriormente se les asigna una calificación, siendo las zonas de mayor pendiente mucho más susceptibles y las zonas planas menos susceptibles.

Tabla 5.13 Parámetro pendiente (s)

Rango de pendiente (%)	Calificación
< 2	1
2 - 6	2
6 - 13	4
13 - 20	6
20 - 55	8
> 55	10

Fuente: Ceballos & Todo (2012)

#### E. Parámetro geología (Geo)

Para la determinación de este parámetro, a cada una de las unidades geológicas aflorantes en el área de estudio se le asigna una calificación de 1 a 10. Los depósitos cuaternarios, al contar con un grado de compactación significativamente menor, son más susceptibles a la erosión que las rocas sedimentarias químicas, sin embargo, al ser de carácter químico, la meteorización por disolución les otorga una susceptibilidad intermedia. En este orden de ideas, la Tabla 5.14 muestra los valores tomados para cada unidad litología dentro de esta evaluación metodológica.

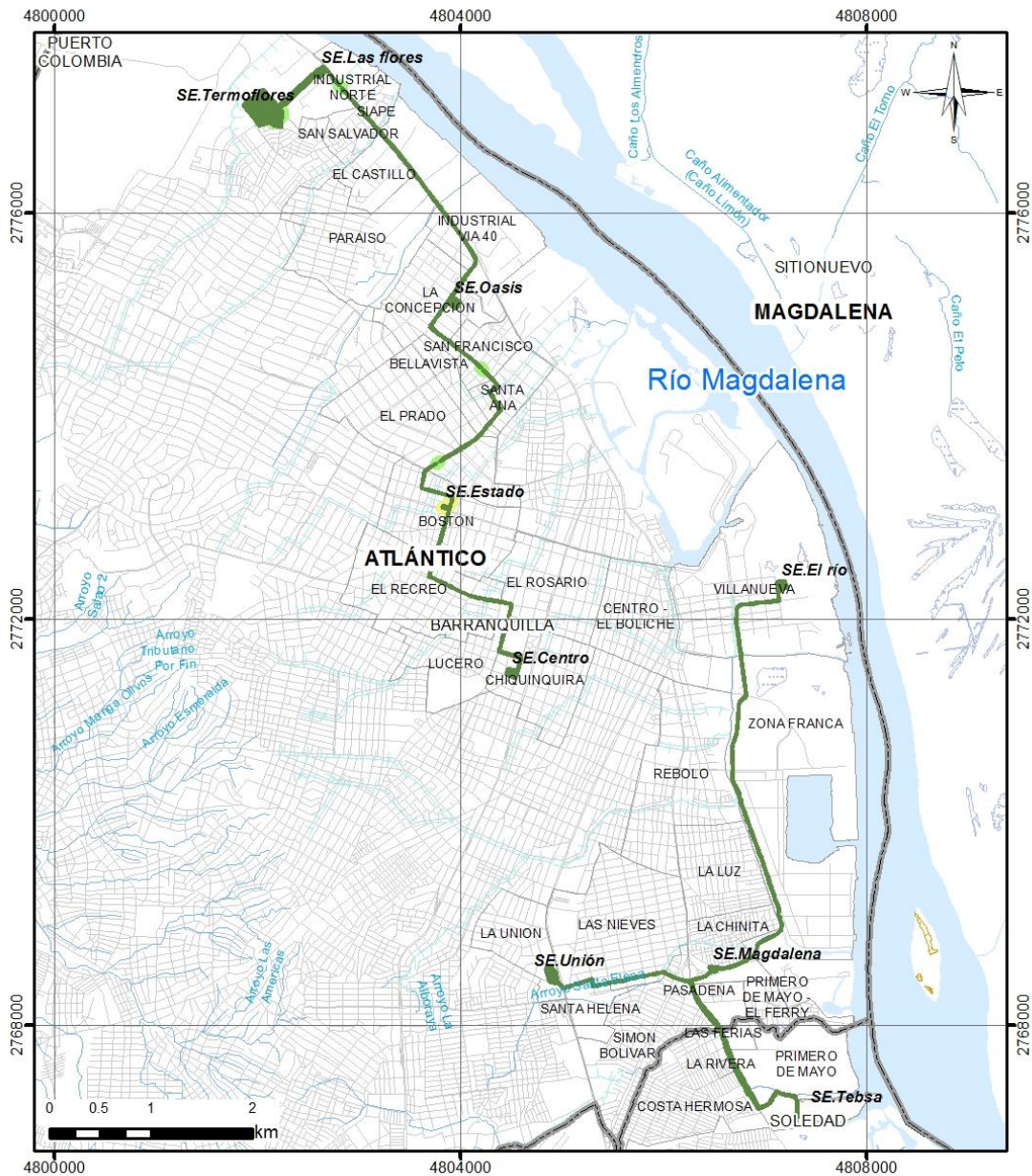
Tabla 5.14 Parámetro geología (Geo)

Unidad geológica	Valor Geo
Depósitos aluviales	8
Formación La Popa	5

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.32 se presenta el mapa resultado al procesar estas calificaciones según la ecuación USLE por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) y se cartografían en el Mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-SUPE-40.





**CONVENCIONES**

- Pantano
- Ciénaga
- Barrios
- Límite municipal

- Canal sencillo
- Drenaje sencillo
- Drenaje doble

**LEYENDA**

- Suscept\_procerosivos**
- Media
  - Baja
  - Muy baja

Figura 5.32. Susceptibilidad por la ocurrencia de procesos erosivos

Fuente: Integral S.A., 2020

Según los resultados presentados en la Figura 5.32, la susceptibilidad por ocurrencia de procesos erosivos en el área de influencia del proyecto UPME STR 02-2019 se encuentra distribuida en tres categorías: susceptibilidad muy baja, baja y moderada. La distribución en área y porcentaje de esta zonificación se presenta en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Distribución de la susceptibilidad por ocurrencia de procesos erosivos

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Muy Baja	25,6715	98,42
Baja	0,3351	1,29
Moderada	0,0757	0,29
Total	26,0823	100

Fuente: Integral S.A., 2020

La mayor parte del área de influencia se encuentra en una categoría de susceptibilidad muy baja. Este resultado es producto de la predominancia de zonas industriales o comerciales, urbanas e infraestructura vial en el área de influencia, pues disminuyen notoriamente la calificación del parámetro vegetación (V), si a esto se le adiciona que la mayor parte de los terrenos se encuentran sobre la Formación La Popa y que las pendientes son muy bajas en casi toda el área de interés, se tiene que los factores más determinantes de la susceptibilidad son la escorrentía, dependiente de la acumulación de flujo, y la precipitación media anual, la cual se deriva del mapa de isoyetas. Esta última varía entre 750 y 1100 mm/año, valores relativamente bajos en comparación a otras zonas de mayor pluviosidad que superan los 2400 mm/año. Todas estas consideraciones conllevan a que el resultado de susceptibilidad muy baja para gran parte del área de influencia sea el esperado.

Es de notar, sin embargo, que hay sitios donde la susceptibilidad es baja y corresponden a áreas donde localmente la pendiente del terreno oscila entre 6 y 13% o donde convergen zonas de acumulación y de precipitación relativa alta (1100 mm/año) simultáneamente.

Finalmente, se tienen unas cuantas áreas definidas como de susceptibilidad moderada y están asociadas únicamente a los sitios de mayor acumulación según el análisis espacial de acumulación de flujo.

La susceptibilidad a los procesos erosivos en el área de influencia del proyecto UPME STR 02-2019 puede establecerse, de manera generalizada, como baja a muy baja; y esto va de la mano de la gran cantidad de infraestructura urbana y comercial que se encuentra en la zona de estudio. Incluso si hay una diferencia en la calificación de los materiales (Depósitos aluviales y rocas calcáreas de la Formación La Popa), el análisis de los resultados permite concluir que la variabilidad en la susceptibilidad está mucha más relacionada con las condiciones de escorrentía y precipitación que con los factores geológicos, esto último ocurre pues el gradiente del terreno no es lo suficientemente alto a gran escala como para representar afectaciones de inestabilidad según la naturaleza litológica de los materiales.

La metodología aplicada permite concluir que la mayor parte del área de influencia tiene alta estabilidad en cuanto a procesos erosivos y que el continuo avance antrópico de los municipios de Barranquilla y Soledad, ha permitido que se de esta condición de muy baja susceptibilidad ante los procesos erosivos.

#### 5.1.4.3.7 Análisis de susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

El análisis de la susceptibilidad ante procesos de remoción en masa se fundamenta en el flujo metodológico propuesto por Vargas (1999) y utilizado en otros proyectos de ingeniería como la construcción de la segunda calzada túnel San Jerónimo (Consultoría Colombia S.A., 2015). El proceso consiste en asignar una calificación de uno a cinco, siendo 1 muy baja y 5 muy alta, a ocho variables consideradas como intrínsecas del terreno. Estos parámetros intrínsecos son: susceptibilidad por litología (SL), susceptibilidad por geomorfología (SG), susceptibilidad por hidrogeología (SH), susceptibilidad por cobertura de tierra (SC), susceptibilidad por densidad de drenajes (SD), susceptibilidad por densidad de fallas (SF), susceptibilidad por pendientes (SP) y susceptibilidad por morfodinámica (SM).

Posterior a la calificación del área de influencia para cada uno de los parámetros intrínsecos, procede a hacerse el álgebra de mapas para obtener la susceptibilidad del terreno (ST) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ST = SL + SG + SH + SC + SD + SF + SP + SM$$

Los valores obtenidos serán reclasificados según la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Reclasificación para la susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

Susceptibilidad ante procesos de remoción (ST)	Reclasificación	Categoría
8 - 14	1	Muy baja
14 - 19	2	Baja
19 - 24	3	Moderada
24 - 30	4	Alta
> 30	5	Muy alta

Fuente: Modificado de Consultoría Colombiana S.A., 2015.

#### A. Susceptibilidad por litología (SL)

Es uno de los principales factores a considerar en la determinación de la estabilidad, debido a que la génesis, composición y estructura de las rocas inciden en la susceptibilidad del terreno a la meteorización y al desarrollo de procesos erosivos y/o procesos de remoción en masa.

En el área de influencia se identifican dos unidades geológicas superficiales para tener en cuenta en esta variable: depósitos aluviales y las rocas carbonatadas de la Formación La Popa. La primera unidad es, entre las dos, la más susceptible a ser afectada por procesos de erosión y meteorización que eventualmente puedan desencadenar procesos de remoción en masa, puesto que, dado su menor grado de compactación y variaciones en el tamaño de grano, existe un mayor potencial de interacción entre la unidad y agentes exógenos de meteorización. Por su parte, la formación sedimentaria puede verse afectada por meteorización química lo cual genera potencial disolución a través de planos de debilidad; sin embargo, si se considera el entorno morfológico y geodinámico donde se encuentra el área de influencia, se puede concluir que incluso si la susceptibilidad para estos tipos de materiales podría ser alta en otras condiciones, para el caso particular de Barranquilla y Soledad, en el área de influencia, no se supera la categoría de susceptibilidad

intermedia. En la Tabla 5.17 se presentan los valores asignados a cada una de las unidades litológicas.

Tabla 5.17 Susceptibilidad por litología (SL)

Unidad Geológica	Calificación
Formación La Popa	2
Depósitos aluviales	3

Fuente: Integral S.A., 2020

#### B. Susceptibilidad por geomorfología (SG)

La calificación de susceptibilidad para las diferentes unidades geomorfológicas se infiere sobre la base de dos factores que favorecen la remoción en masa: la topografía, entendida como la pendiente del terreno, y los aspectos edáficos (representados por los procesos erosivos de los suelos), que se presentan de forma generalizada y focalizada.

La remoción en masa incluye de forma integral un conjunto de factores adicionales que favorecen su generación, los cuales están relacionados con la naturaleza de los materiales, clima y vegetación; no son tenidos en cuenta para la calificación de susceptibilidad desde esta perspectiva, pero implícitamente son evaluados desde otras temáticas que entran en la metodología para la zonificación. Con base en lo anterior y sobre las premisas establecidas por los dos factores caracterizados en las unidades geomorfológicas (pendiente y erosión), se establece la susceptibilidad del área de influencia frente a los procesos de remoción en masa.

En la Tabla 5.18 se presenta la calificación para las tres unidades geomorfológicas presentes en el área de influencia. Como es de esperarse, la ausencia de geoformas que impliquen altos relieves relativos, zonas escarpadas, cambios abruptos, y demás, permite que la susceptibilidad según este criterio no sea superior a una clasificación baja.

Tabla 5.18 Susceptibilidad por geomorfología (SG)

Unidad Geomorfológica	Calificación
Ladera estructural de cuesta	2
Plano anegadizo	1
Laguna	1

Fuente: Integral S.A., 2020

#### C. Susceptibilidad por hidrogeología (SH)

Las diferentes unidades litológicas se agrupan conformando unidades hidrogeológicas de acuerdo con su productividad, capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas y valorar la posible afectación del recurso hídrico subterráneo. De acuerdo con la clasificación de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos.

- Acuíferos: estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrar materiales muy variados como gravas, calizas fracturadas, areniscas porosas, arenas



de playa, algunas formaciones volcánicas. Estas unidades son económicamente explotables.

- **Acuicludos:** formaciones geológicas que contienen agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos de arcilla de cualquier origen.
- **Acuitardos:** formaciones geológicas que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son Aeropuertos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, pero, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que pueden llegar a ser muy importantes en ciertos casos.
- **Acuifugos:** aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, por ejemplo, un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización ni fracturamiento, estos se consideran impermeables.

De esta forma, en la Tabla 5.19 se presentan los valores de susceptibilidad por hidrogeología del área de influencia.

Tabla 5.19 Susceptibilidad por hidrogeología (SH)

Unidad hidrogeológica	Calificación
A1 Acuífero - sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular	1
B1. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas)	2

Fuente: Integral S.A., 2020

La calificación otorgada fue definida según el potencial de infiltración que representa cada una de las unidades, puesto que se entiende que, a mayor tasa de infiltración, menor será la cantidad de agua superficial que promueva la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Ambas unidades tienen baja productividad desde lo hidrogeológico, de tal modo que la infiltración es baja para las dos, sin embargo, se les asigna un valor levemente mayor a la Formación La Popa (unidad hidrogeológica B1) debido a que la probabilidad de infiltración es menor gracias a naturaleza química de la roca; no existe una variación granulométrica que haga las veces de vías de infiltración para el agua de escorrentía.

#### D. Susceptibilidad por cobertura de la tierra (SC)

Las coberturas vegetales son elementos naturales de protección del suelo contra la erosión; la vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica, pues controla la energía de las gotas de lluvia, mejora la capacidad de infiltración del suelo y disminuye la escorrentía. Los componentes aéreos como hojas y tallos absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de esta manera, su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo. De igual forma, los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, constituyen a la resistencia mecánica del suelo; de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente los procesos erosivos.

Por lo anterior, zonas que presentan coberturas de bosque, vegetación secundaria alta y baja, arbustal denso, y plantación forestal muestran más estabilidad del relieve y menor



susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa que otras coberturas como pastos, cultivos o mosaicos de cultivos, que dadas las inadecuadas prácticas agropecuarias, en términos de remoción y labranza, no le atribuyen la una capa vegetal lo suficientemente fuerte, generando la ausencia de una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. En este orden de ideas, en la Tabla 5.20 se presentan los valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra.

Tabla 5.20 Susceptibilidad por cobertura de la tierra (SC)

Tipo de cobertura	Calificación
Canales	1
Herbazal denso inundable arbolado	1
Herbazal denso inundable no arbolado	3
Instalaciones recreativas	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	3
Pastos arbolados	2
Pastos enmalezados	3
Pastos limpios	4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1
Ríos (50 m)	1
Tejido urbano continuo	1
Tierras desnudas y degradadas	4
Zonas industriales o comerciales	1
Zonas Portuarias	1
Zonas verdes urbanas	2

Fuente: Integral S.A., 2020

#### E. Susceptibilidad por densidad de drenajes (SD)

El cálculo de este parámetro se realizó mediante el procesamiento de la red de drenaje en la plataforma SIG, a través de la cual se obtuvo la densidad de drenaje por unidad de área [m/m<sup>2</sup>]. El resultado de esta operación permite clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías como se muestra en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Susceptibilidad por densidad de drenajes (SD)

Rango de densidad de drenaje (m/m <sup>2</sup> )	Calificación (SD)
0 – 5	1
5 – 10	2
10 – 15	3
15 – 20	4

Rango de densidad de drenaje (m/m <sup>2</sup> )	Calificación (SD)
> 20	5

Fuente: Integral S.A., 2020

#### F. Susceptibilidad por densidad de fallas (SF)

En condiciones tectónicas adecuadas, este parámetro se evaluaría por medio de una clasificación de lineamientos fotogeológicos, fallas inferidas, fallas definidas y demás rasgos estructurales que pueden tener influencia en la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Sin embargo, para el caso particular del área de influencia de este proyecto, no se tienen lineamientos fotogeológicos y la información secundaria ubica la falla más cercana (Falla Mirador) a una distancia tal que no se considera un detonante de procesos de remoción en masa en la zona de interés.

De acuerdo con lo anterior, a toda el área de influencia se le asigna una calificación de uno para este parámetro intrínseco.

#### G. Susceptibilidad por pendientes (SP)

El grado de inclinación de las laderas naturales favorece o disminuye la resistencia al corte de los diferentes materiales que conforman los taludes sobre el área de influencia. Se establecen cinco categorías, donde a las pendientes escarpadas y muy escarpadas se les asigna la calificación más alta, mientras que a los terrenos ligeramente planos o planos se les asigna la calificación más baja como se muestra en la Tabla 5.22.

Tabla 5.22 Susceptibilidad por pendientes (P)

Rango de pendiente	Pendiente	Calificación (SP)
0 – 1%	Plano	1
1 – 3%	Plano a ligeramente plano	1
3 – 7%	Ligeramente inclinado	2
7 – 12%	Moderadamente inclinado	3
12 – 25%	Fuertemente inclinado	3
25 – 50%	Ligeramente escarpado o ligeramente empinado	4
50 – 75%	Moderadamente escarpado o moderadamente empinado	4
75 – 100%	Fuertemente escarpado o fuertemente empinado	5

Fuente: Integral S.A., 2020

#### H. Susceptibilidad por morfodinámica (SM)

Mediante la interpretación de ortofotos e imágenes satelitales, se realizó la cartografía de procesos morfodinámicos de diferente índole, permitiendo establecer áreas y tipos de procesos erosivos que caracterizan el área de influencia. Los procesos que mayor influencia tienen para caracterizar esta susceptibilidad son movimientos antiguos o de erosión concentrada activos, y dado que no es el caso para el área de influencia, las calificaciones no superan la categoría de susceptibilidad baja. Los valores atribuidos a los diferentes procesos encontrados dentro del área de influencia se presentan en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Susceptibilidad por morfodinámica (SM)

Proceso morfodinámico	Calificación (SM)
Proceso antrópico	2
Zona húmeda	2
Sedimentación activa	1
Zona desprotegida	2

Fuente: Integral S.A., 2020

Luego de procesar la información con los parámetros previamente presentados y ejecutar el álgebra de mapas respectiva, se obtiene el mapa de susceptibilidad del terreno ante procesos de remoción en masa mostrado en la Figura 5.33, correspondiente al Mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-SURM-50.

Las condiciones de susceptibilidad ante procesos de remoción en masa para el área de intervención del Proyecto UPME STR 02-2019 se define como de condición muy baja según la integración de los parámetros y el análisis de estos resultados están soportados en una litología homogénea de depósitos aluviales y suelos derivados de la Formación La Popa, además de la ausencia de geoformas que impliquen altos relieves relativos, zonas escarpadas, sustentado además con las pendientes del terreno según el MDE donde se tienen zonas planas.

El mapa de susceptibilidad ante procesos de remoción en masa constituye un insumo fundamental para definir la zonificación geotécnica presentada más adelante en la sección 5.1.10.

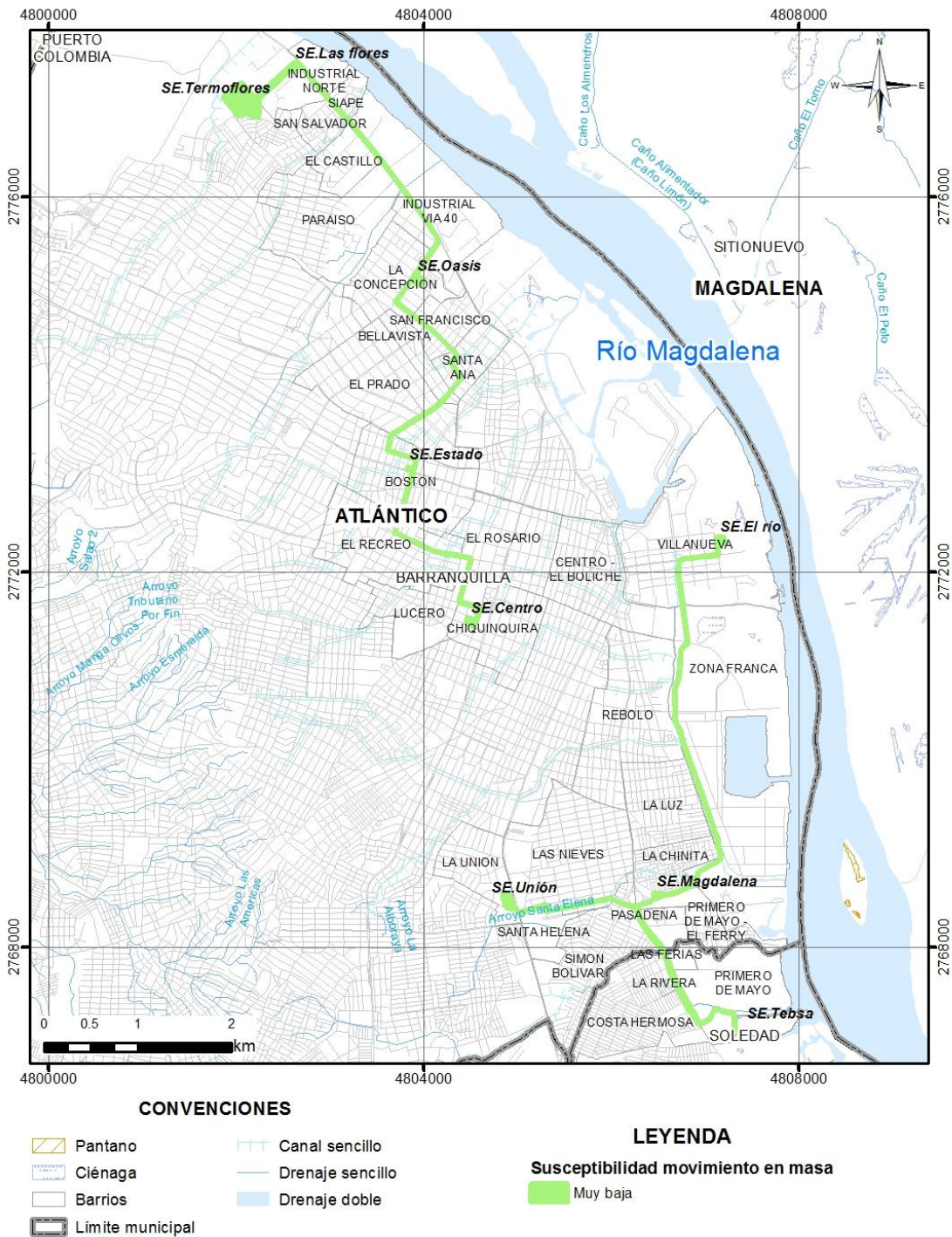


Figura 5.33 Susceptibilidad por la ocurrencia de procesos de remoción en masa

Fuente: Integral S.A., 2020



### 5.1.5 Suelos y usos del suelo

De acuerdo con lo que indica la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o por sus siglas en inglés FAO<sup>1</sup>, el suelo se define como el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). (...) El suelo es un componente esencial de la "Tierra" y "Ecosistemas". Ambos son conceptos más amplios que abarcan la vegetación, el agua y el clima en el caso de la tierra, y además abarca también las consideraciones sociales y económicas en el caso de los ecosistemas.

Ahora bien, es de anotar que, debido a que el área metropolitana de Barranquilla se encuentra ubicada entre el mar de las Antillas y el río Magdalena, la conformación del suelo varía de un punto a otro; generalmente es arenoso – calcáreo y aún se observan algunos depósitos calcáreos puros; el subsuelo se compone de estratos de rocas sedimentarias ligeramente inclinadas y en ocasiones se observan emergencias de coral calcáreo a flor de tierra.

Como se menciona en el Plan de Ordenamiento Territorial - POT - del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032<sup>2</sup>, el suelo territorial se clasifica en:

- Suelo urbano: Es el territorio Distrital en donde se ha desarrollado o se puede desarrollar el proceso de urbanización en forma continua y consolidada. Tiene la posibilidad de cubrimiento completo de los sistemas viales, de transporte, de servicios públicos domiciliarios, de espacio público y de equipamientos y se encuentra dentro del perímetro sanitario y/o de servicios públicos domiciliarios. Dentro del perímetro urbano se encuentran áreas protegidas que están clasificadas como suelo de protección y por ende tienen restringida la posibilidad de urbanizarse como las áreas de amenaza alta y muy alta por remoción en masa y amenaza alta de inundación, las cuales constituyen en suelo de protección, por tanto, no pueden ser urbanizables.
- Suelo rural: El suelo rural es constituido por terrenos no Aeropuertos para el uso urbano y por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales, valores ecosistémicos, paisajísticos y actividades análogas. Dentro del suelo rural se encuentran los asentamientos de tipo rural y centros poblados.
- Suelos de expansión urbana: El suelo de expansión se define como el suelo distrital que puede ser incorporado como suelo urbano en la vigencia del plan de

<sup>1</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS DE LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. “¿Qué es el Suelo?”. {En línea}. Fecha. {20 octubre de 2020}. Disponible en (<https://drive.google.com/drive/folders/1tKmqCoFm1cCzAGpp6tf55XuNZrGIKEUF>).

<sup>2</sup> ATLÁNTICO. DISTRITO ESPECIAL, INDUSTRIAL Y PORTUARIO DE BARRANQUILLA. ALCALDÍA MAYOR DEL DISTRITO ESPECIAL INDUSTRIAL Y PORTUARIO DE BARRANQUILLA. Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032. (28, febrero, 2014). Barranquilla: Secretaría de Planeación Distrital. 481 p.

ordenamiento territorial o en el futuro, una vez asegurado el cubrimiento de los sistemas generales, específicamente en lo que se refiere a los servicios públicos.

La incorporación del suelo de expansión urbana al suelo urbano solo puede realizarse a través de la formulación, adopción y expedición de un plan parcial de conformidad con la ley 388 de 1997; y se entenderá efectivamente incorporado al suelo urbano una vez se hayan ejecutado las obras de urbanismo y se hayan cumplido las obligaciones establecidas en el plan parcial correspondiente de conformidad con lo establecido en el Decreto Nacional 2181 de 2006 modificado por el decreto 4300 de 2007.

- Suelo de protección: Está constituido por las zonas y áreas de terrenos localizados dentro de cualquiera de las anteriores clases que, por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse. Corresponden a esta categoría las áreas de los subsistemas de la estructura ecológica principal que hacen parte de la estructura ambiental y las zonas de amenaza alta y muy alta por remoción en masa e inundaciones.

Cabe anotar que, en la página web oficial del municipio de Soledad se presenta la misma clasificación, por tal razón, para el presente estudio, se entienden los mismos conceptos que presenta el POT del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla. En dicho contexto, el 100% del área de influencia del componente de suelos se ubica en suelo urbano.

Ahora bien, con el fin de apreciar los diferentes elementos del componente, y considerando la dimensión puntual del proyecto, es importante aclarar que, la caracterización del área de influencia del componente suelos y los mapas temáticos correspondientes, se presentan en un mismo numeral y a escala cartográfica 1:25.000 o menor.

#### **5.1.5.1 Clasificación del suelo**

El suelo se caracterizó considerando el sistema de clasificación geomorfológica de Alfred Zinck, según últimas actualizaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en adelante IGAC, y se describe en general la leyenda con énfasis en la pedogénesis (Zinck, A. 2012<sup>3</sup>). Para ello se realizó inicialmente una revisión de la información cartográfica de suelos del IGAC, posteriormente se realizó la revisión de los planes de ordenamiento territorial de la ciudad de Barranquilla y del municipio de Soledad, adicionalmente, se verificó la existencia de estudios ambientales realizados en la zona, como el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Solución Integral del Paso Sobre el Río Magdalena, en Barranquilla de 2014<sup>4</sup>,

<sup>3</sup> J. ALFRED ZINCK. "GEOPEDOLOGIA Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales". {En línea}. Fecha. {20 octubre de 2020}. Disponible en ([https://www.actswithscience.com/Descargas/zinck\\_geopedologia\\_2012.pdf](https://www.actswithscience.com/Descargas/zinck_geopedologia_2012.pdf)).

<sup>4</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Solución Integral del Paso Sobre el Río Magdalena, en Barranquilla". {En línea}. Fecha. {20 octubre

y finalmente, con base en las observaciones de campo, se obtuvo la cartografía de unidades de suelo.

En la identificación cartográfica de las unidades fisiográficas, se utilizó la metodología IGAC para el mapa de suelos, los símbolos de las unidades se representan por tres letras mayúsculas respectivamente, paisaje, clima y contenido pedológico; y un subíndice alfanumérico indicando grado de la pendiente con otras observaciones como erosión o pedregosidad cuando aplica. Es de anotar que el proyecto se desarrollará en una zona urbana con suelos antropizados, es decir, han sido reemplazados por capas de gravas, arcillas, cemento y concreto.

El área de influencia abarca una colección de suelos agrupados en torno a consociaciones que comparten características relacionadas con su génesis reflejada en su taxonomía. Se encontraron suelos en planos fluvio lacustres moldeados por el accionar de las corrientes hídricas a través del tiempo. De otro lado, están los suelos antropogénicos formados por la interacción e intervención directa del hombre, siendo estos depósitos artificiales.

Tabla 5.24 Nomenclatura aplicada en la unidad fisiográfica (paisaje, clima y suelos)

Paisaje	Símbolo
Planicie	P
Antropogénicos	A

Fuente: Integral S.A., 2020

Tabla 5.25 Nomenclatura aplicada en la zonificación climática

Zonificación climática	Símbolo
Cálido seco	W

Fuente: Integral S.A., 2020

En lo relacionado con las clases de unidades cartográficas, se clasificó como consociación por estar constituidos al menos en un 75% por un solo suelo, un área miscelánea y suelos similares; siguiendo los lineamientos definidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC.

Dicho lo anterior, a continuación, se presentan las unidades de suelo presentes en el área de influencia (véase Tabla 5.26, Figura y mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-SUEL-10).

Tabla 5.26 Unidades de suelos del área de influencia del componente suelos

Paisaje geomorfológico	Taxonomía	Símbolo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Cauce aluvial - Ríos (50 m)	Cuerpos de agua (No aplica)	CA	0,03	0,10
	Suelos sellados artificializados (No aplica)	AMBb	0,00	0,01
Ladera estructural de cuesta	Suelos sellados artificializados (No aplica)	AMA	14,14	54,23
		AMBa	0,00	0,01

de 2020}. Disponible en (<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2033-puente-sobre-el-rio-magdalena-en-barranquilla>).

<b>Paisaje geomorfológico</b>	<b>Taxonomía</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
		AMBb	8,43	32,31
	Typic Fluvaquents con inclusión de suelos Aquic Eutrudepts	PCSAaxy	0,02	0,06
Laguna	Suelos sellados artificializados (No aplica)	AMBb	0,08	0,31
	Typic Fluvaquents con inclusión de suelos Aquic Eutrudepts	PCSAaxy	0,07	0,26
Plano anegadizo	Suelos sellados artificializados (No aplica)	AMA	1,52	5,83
		AMBb	1,26	4,84
	Typic Fluvaquents con inclusión de suelos Aquic Eutrudepts	PCSAaxy	0,54	2,06
<b>Total</b>			<b>26,08</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Integral S.A., 2020



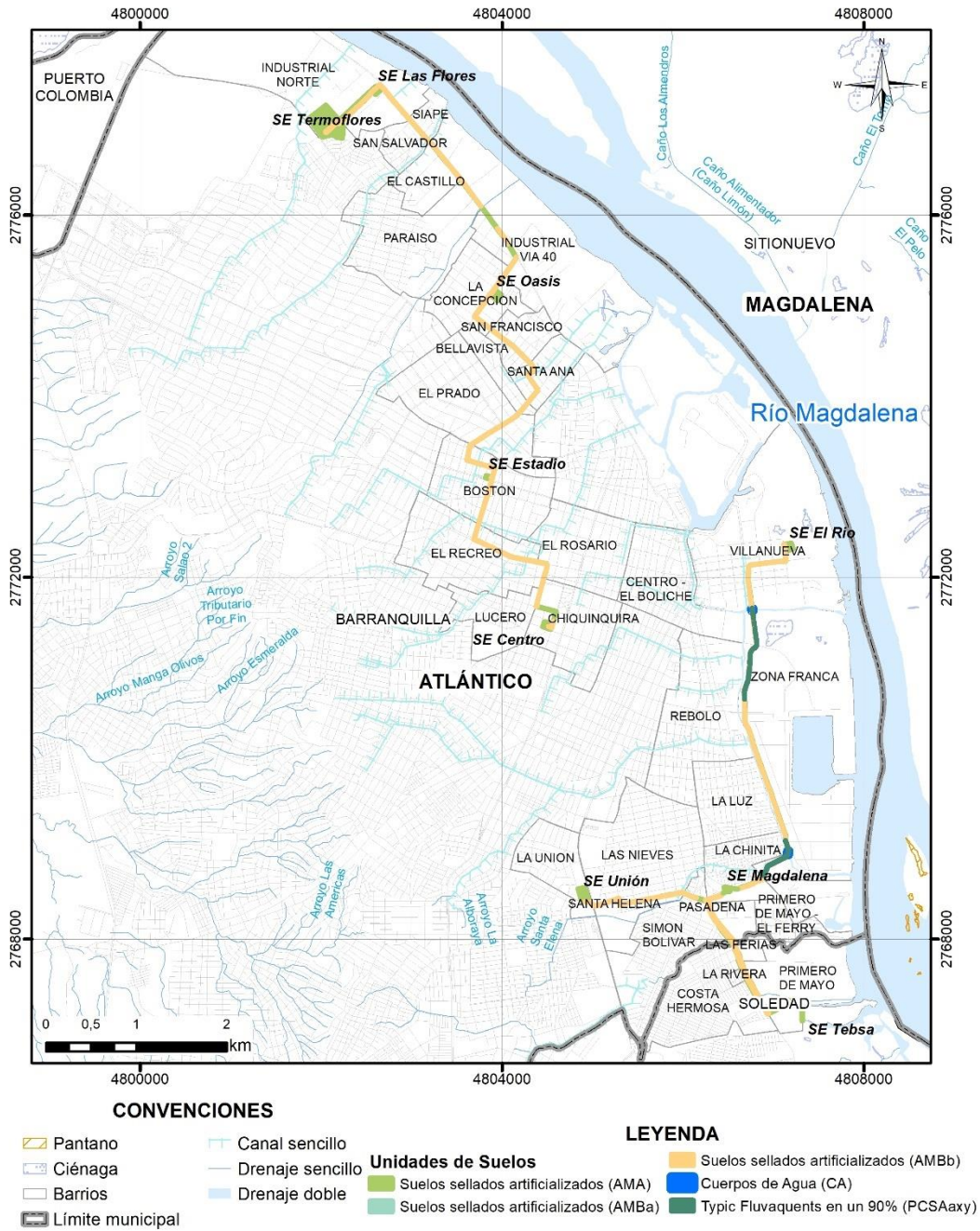


Figura 5.34 Unidades de suelos

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.5.1.1 Consociación Typic Fluvaquents (PCSA)

Según lo indica el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Solución Integral del Paso Sobre el Río Magdalena en Barranquilla de 2014 la consociación está compuesta por “Typic Fluvaquents, (Unidad PCSAaxy), en un 90 %, con inclusiones de suelos Aquic Eutrudepts, en un 10%, que se distribuyen en las geoformas de Planicie, donde se han desarrollado a partir de depósitos aluviales actuales, tales como arenas, arcillas, limos, y se caracterizan por ser moderadamente profundos, (...) en altitudes entre 10 y 30 metros, en el clima cálido seco, clima edáfico acuico e isohipertérmico, caracterizado por temperaturas superiores a los 26°C y lluvias que en promedio son de 1200 mm/año, con un relieve plano a ligeramente plano y pendientes menores al 3%, drenaje externo encharcado, interno bajo y muy pobre drenaje natural. La morfología, muestra presencia de un epipedon ocrico. La profundidad efectiva es muy superficial, limitados por nivel freático alto y que son saturados la mayor parte del año.

El horizonte Ap, tiene 00-05 cm de espesor, de color gris muy oscuro (10YR3/1); textura arenosa; estructura de tipo masivo; consistencia en húmedo pegajosa y ligeramente plástica, pocos poros finos, mediana actividad de macroorganismos y frecuentes raíces finas y vivas; distribuidas por todo el horizonte, pH 6.50. Límite claro y plano.

El horizonte Cg, tiene un espesor de 05-15 cm, de color en húmedo gris oscuro (5Y4/1); textura areno arcillosa; estructura masiva, consistencia en húmedo pegajosa y ligeramente plástica; pocos poros medianos; frecuentes raíces finas, poca actividad de macroorganismos.”

#### 5.1.5.1.2 Banca de caminos (AMB)

Corresponde a suelos artificializados y sellados de la banca de caminos, compuestos por una base arcillosa con estratos de geotextiles, arcilla, arena, cemento y alquitrán, siendo parte de las terrazas de rellenos de la planicie antropogénica. No admiten examen alguno, dada su condición de sellamiento y artificialidad.

Fases por pendientes: AMBa, AMBb

#### 5.1.5.1.3 Infraestructura urbana (AMA)

Se refiere al conjunto de infraestructura asociada con el mobiliario urbano, para uso residencial, industrial o comercial que hacen parte del área. En estos espacios los suelos naturales han sido reemplazados por capas de gravas, arcillas, cemento y concreto, que brindan soporte a la infraestructura descrita. No admiten examen alguno, dada su condición de sellamiento y artificialidad.

Fases por pendientes: AMAa

### 5.1.5.2 Uso actual del suelo

Metodológicamente se aplicó la base de datos de CORINE Land Cover Colombia (CLC), establecida por el IDEAM<sup>5</sup>, la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat). Es de anotar que, el mapa de uso actual del suelo se encuentra a escala 1:10.000.

El uso actual del área de influencia del componente suelos está dado en territorios artificializados; estos comprenden zonas urbanas que hacen parte de un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, portuarios, de servicios y/o recreativos. En este caso sobresalen: zonas industriales que incluyen industria y comercio (40,10%) y transporte que se refiere a la red vial y terrenos asociados (37,46%) y zonas residenciales (16,67%) (Véase Tabla 5.27 y mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-UAS-20).

Tabla 5.27 Uso actual del suelo del área de influencia del componente suelos

Uso actual	Nomenclatura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Residencial	ZU	4,35	16,67
Cuerpos de agua artificiales	CAA	0,00	0,01
Cuerpos de agua naturales	CA	0,03	0,10
Industrial	ZIC	10,46	40,10
Recreacional	ZVR	0,38	1,44
Transporte	RVU	9,77	37,46
Zonas portuarias	ZP	0,48	1,85
Zonas verdes urbanas	ZVU	0,62	2,37
Total		26,08	100,00

Fuente: Integral S.A., 2020

5 INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D. C.: IDEAM: 2010



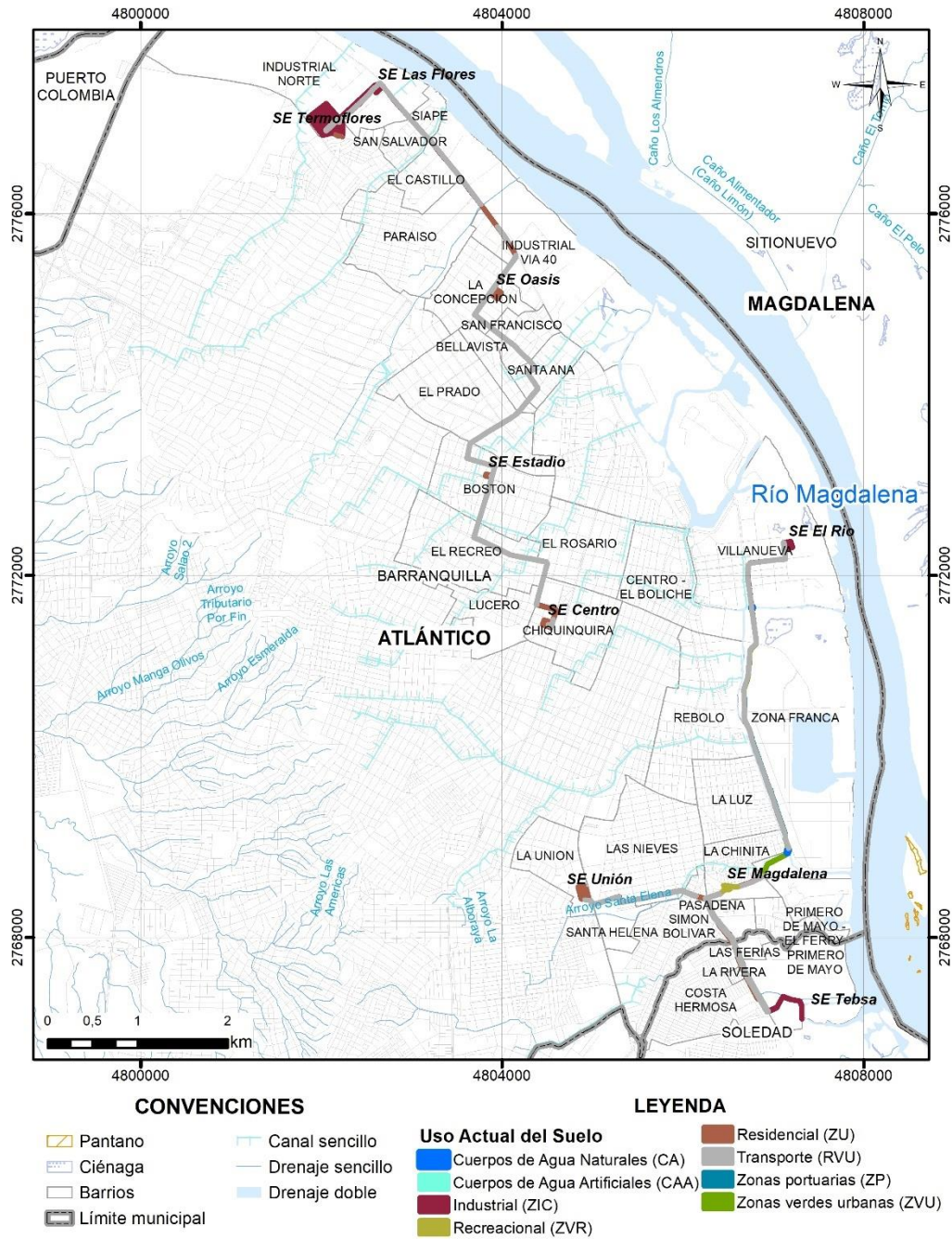


Figura 5.35 Uso actual del suelo del área de influencia del componente suelos

Fuente: Integral S.A., 2020

Según el actual Plan de Ordenamiento Territorial - POT - del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032, la disposición de los usos del suelo hace parte de la

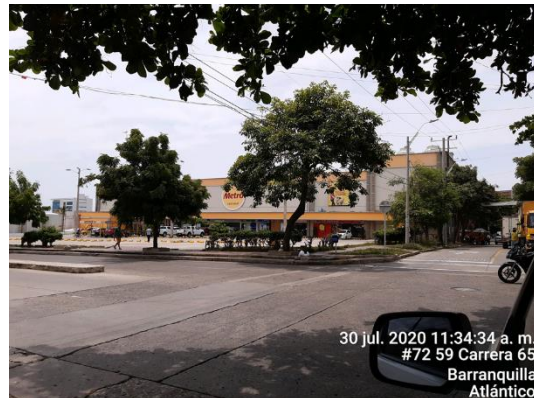


estructura socioeconómica y espacial buscando el equilibrio entre la dimensión económica, social y territorial, permitiendo una adecuada localización, disposición y asignación del suelo, según la vocación de las diferentes zonas de la ciudad, para el aprovechamiento urbanístico en función de los objetivos orientados a un desarrollo y aprovechamiento sostenible, económico y social. De esta manera se puede decir que, el uso es la utilización que se le da a un terreno, incluyendo el subsuelo y espacio aéreo que le correspondan, en los términos de actividades y edificabilidad.

El uso de suelo *industrial (ZIC)* encierra actividades industriales y comerciales. Según el POT de Barranquilla la zona comercial comprende “áreas especializadas en el intercambio de bienes y servicios, que se pueden concentrar en polígonos comerciales, y según la vocación del sector combina usos diferentes complementarios a las zonas residenciales o de servicios de colindancia” (véase Fotografía 5.1) y, las zonas industriales son aquellas destinadas a la explotación, transformación, fabricación, reparación, tratamiento y manipulación de materia prima para producir bienes o productos industriales con diferentes intensidades, para el consumo final o para prestación de servicios, con edificaciones con características y especificaciones técnicas y constructivas apropiadas para la naturaleza de la actividad desempeñada (véase Fotografía 5.2).



Barrio La Concepción (Barranquilla)



Barrio San Francisco (Barranquilla)

Fotografía 5.1 Zonas de actividad comercial

Fuente: Integral S.A., 2020



Zona industrial (Barranquilla)



Zona industrial (Barranquilla)

Fotografía 5.2 Zona de actividad industrial

Fuente: Integral S.A., 2020

El uso de suelo *residencial (ZU)* según el POT de Barranquilla se circunscribe a zonas que están destinadas predominantemente para los usos de vivienda. Según sus características y los diferentes sectores que se encuentran en la ciudad, existen cinco (5) grupos de actividades residenciales, que ayudan en unos casos a revitalizar estos sectores, a través de la concentración netamente de la actividad, o los que contemplan usos complementarios institucionales de escala local, o usos comerciales complementarios de escala local que generan dinámicas sociales y económicas, y los residenciales en zonas patrimoniales, que presentan características especiales (véase Fotografía 5.3).



Conjuntos residenciales barrio La Concepción



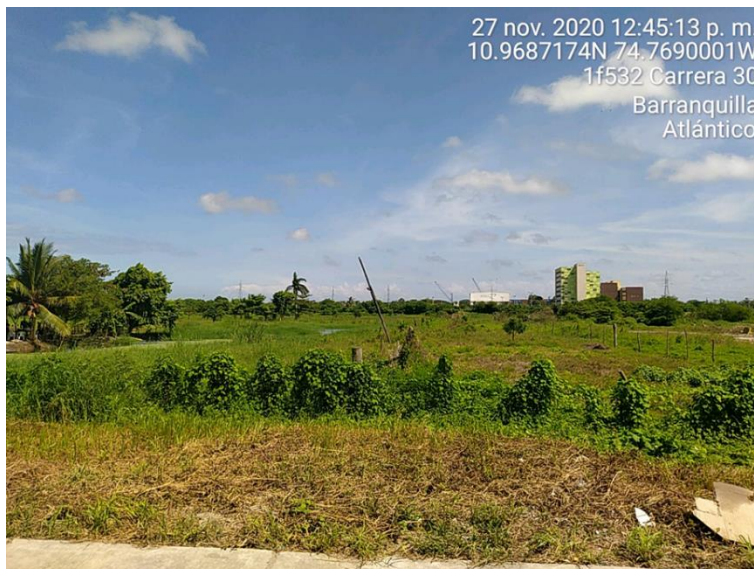
Viviendas barrio Chiquinquirá

Fotografía 5.3 Zona residencial

Fuente: Integral S.A., 2020

Las *zonas verdes urbanas (ZVU)* corresponden a áreas abiertas con cobertura vegetal (véase Fotografía 5.4); es de anotar que, estas áreas se localizan dentro del sector denominado zona portuaria según lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032.





Fotografía 5.4 Zona verde urbana en sector portuario

Fuente: Integral S.A., 2020

El uso de suelo *recreacional (ZVR)* corresponde al parque Ernesto McCausland localizado entre la Carrera 9 y Calle 17 (véase Fotografía 5.5).



Fotografía 5.5 Zona recreacional

Fuente: Integral S.A., 2020

Los *cuerpos de agua naturales (CA)* y *artificiales (CAA)* incluyen brazos del río Magdalena, arroyos, vía canales o caños como vía canal San Salvador – Siape, vía canal El Country,

vía canal (Cra. 65), vía canal (CII 62), Vía canal La Felicidad, caño (brazo del río Magdalena – Cra. 41 N), Arroyo La Chinita y vía canal Don Juan (véase Fotografía 5.6).



Vía canal San Salvador - Siape



Río Magdalena

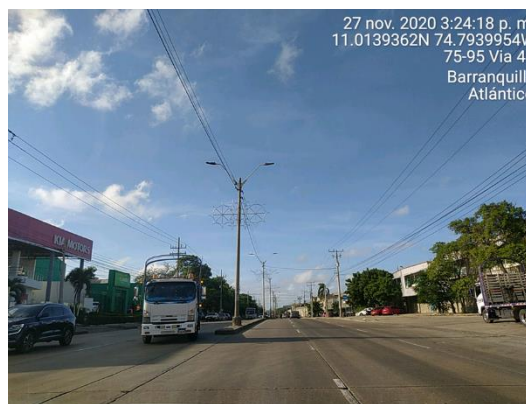
Fotografía 5.6 Canales

Fuente: Integral S.A., 2020

La *red vial, ferroviaria y terrenos asociados* comprende el corredor vial donde se localizará la línea de transmisión eléctrica subterránea, como la vía 40, Calle 75, Carrera 65, Calle 64, Calle 59, Calle 6 o corredor portuario, en la ciudad de Barranquilla, la vía (Carrera 9) que limita a Barranquilla con Soledad, la Calles 17 y 18 en Soledad, entre otras (véase Fotografía 5.7).



Calle 18 con 40 (Soledad)



Vía 40 (Barranquilla)

Fotografía 5.7 Red vial

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.5.3 Vocación del suelo

De acuerdo con lo indicado en los Términos de Referencia para la Elaboración del estudio de impacto ambiental -EIA Proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17, el análisis de la vocación del suelo se debe realizar conforme a la metodología establecida por capacidad del uso del IGAC y lo indicado en los instrumentos de



planificación del territorio, que para este caso corresponden al Plan de Ordenamiento Territorial - POT - del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032 y la página web oficial del municipio de Soledad.

Dicho lo anterior, es de mencionar que, el IGAC indica que las categorías corresponden a un nivel de generalización de la información referido a la capacidad de la tierra para la producción de plantas en cultivo, al requerimiento de protección de áreas altamente vulnerables o a la necesidad de conservación y/o recuperación de la naturaleza; ahora bien, desde la perspectiva del ordenamiento territorial de la ciudad de Barranquilla y el municipio de Soledad, en cuanto a los usos del suelo que se traslapan con el área de influencia del componente suelos, esta se ubica netamente en zona urbana (ZU), donde los criterios de potencialidad agrícola quedan desvirtuados para el análisis, por tal razón, no aplica la clasificación de capacidad de uso del suelo, así las cosas, para efectos del análisis de vocación del suelo se utilizó la información de los planes de ordenamiento territorial de la ciudad de Barranquilla y el municipio de Soledad. Es de anotar que, para el caso de Barranquilla se utilizó como referente el mapa U15 Polígonos Normativos.

En la Tabla 5.28 y Figura se presentan las áreas según la vocación de uso que se interceptan con el área de influencia del componente suelos, donde se evidencia que la vocación de uso es portuario (38,86%), seguido de uso vial (31,52%) (Véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-UAP-30).

Tabla 5.28 Vocación del suelo del área de influencia del componente suelos

Vocación de uso del suelo dado por los instrumentos de ordenamiento territorial	Área (ha)	Porcentaje (%)
Actividad Central (C)	0,08	0,30
Canales	0,00	0,01
Comercial (COM)	0,22	0,85
Cuerpos de Agua Naturales	0,03	0,10
Espacio Público Actual (EP)	0,71	2,71
Industrial (IND)	1,59	6,11
Institucional (INST)	0,17	0,63
Institucional con EBI (INST-EBI)	0,74	2,85
Institucional con PRO (INST-PRO)	0,14	0,52
Portuario (PORT)	9,06	34,75
Residencial (RES)	1,84	7,04
Suelo de Expansión Urbana	0,96	3,66
Suelo de Protección y Reserva (P)	0,78	3,01
Vía	9,77	37,46
<b>Total</b>	<b>26,08</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

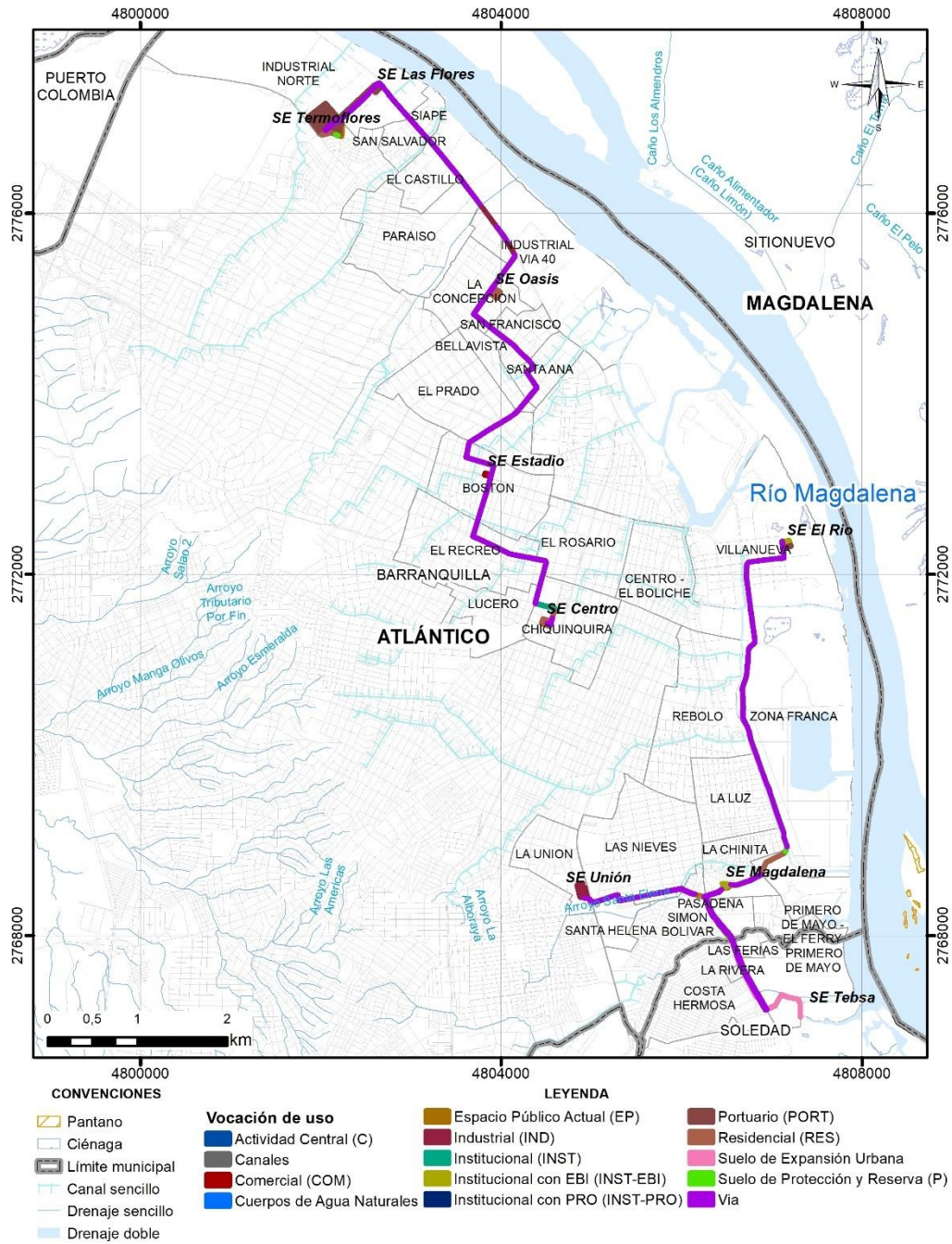


Figura 5.36 Vocación del suelo del área de influencia del componente suelos

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.5.4 Conflictos de uso del suelo

El conflicto de uso, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, resulta de la discrepancia entre el uso que hace el ser humano del medio natural y el uso que debería tener de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales (ecológicas, culturales, sociales y económicas); también se define por “el grado de armonía que existe entre la conservación de la oferta ambiental y el desarrollo sostenible del territorio”; corresponde a la concordancia entre el uso y las potencialidades ecosistémicas.

Los conflictos de uso del suelo se pueden presentar por sobreutilización o subutilización del suelo. A continuación, se relacionan estos conceptos según las definiciones dada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El fenómeno de sobreutilización ocurre cuando los usos actuales exceden la capacidad natural de las tierras con coberturas que no son capaces de contrarrestar el riesgo de deterioro en las áreas vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad antrópica. En este caso los efectos del uso equivocado del medio edáfico son, principalmente, el avance de la erosión, la pérdida de la fertilidad de las tierras y la disminución significativa de la biodiversidad y del recurso hídrico.

Los conflictos por subutilización se producen cuando los suelos tienen en buen nivel de productividad, pero el uso actual no cumple total o parcialmente la función de la tierra, en este caso la producción de alimentos, con las consecuencias sociales y económicas que este hecho conlleva. El caso más común se presenta en tierras aptas para la agricultura intensiva y semiintensiva, dedicadas a la ganadería extensiva.

Para el caso concreto del proyecto se realizó la inclusión del concepto de zona urbana definido en los POT de la ciudad de Barranquilla y del municipio de Soledad, Atlántico. Por tanto, no se utilizó concretamente la matriz de identificación de conflicto, sino las categorías dadas por el IGAC-CORPOICA 2002<sup>6</sup> para sobreutilización y subutilización, en la Tabla 5.29 se describen dichas categorías.

Tabla 5.29 Categorías de conflictos de uso de la tierra

Símbolo	Tipo de conflicto	Descripción
<b>A</b>	Sin conflicto	Bajo este título se califica a las tierras donde el agroecosistema dominante guarda correspondencia con la vocación de uso principal o con un uso compatible.
<b>S1</b>	Subutilización ligera	Tierras cuyo uso actual es muy cercano al uso principal, por ende, a los usos compatibles, pero que se ha evaluado como de menor intensidad al recomendado.
<b>S2</b>	Subutilización moderada	Tierras cuyo uso actual está por debajo, en dos niveles de la clase de vocación de uso principal recomendada, según la capacidad de producción de las tierras.

<sup>6</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. “Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país”. {En línea}. Fecha. {20 octubre de 2020}. Disponible en ([http://observatorio.unillanos.edu.co/portal/archivos/99Zon\\_conf\\_uso\\_tierra\\_\(cap.4%20Us\\_o\\_conflic\).pdf](http://observatorio.unillanos.edu.co/portal/archivos/99Zon_conf_uso_tierra_(cap.4%20Us_o_conflic).pdf)).

Símbolo	Tipo de conflicto	Descripción
<b>S3</b>	Subutilización severa	Tierras cuyo uso actual está muy por debajo, en tres o más niveles de la clase de vocación de uso principal recomendada. Se representa en el mapa con el color amarillo oscuro.
<b>O1</b>	Sobreutilización ligera	Tierras cuyo uso actual está cercano al uso principal, pero que se ha evaluado con un nivel de intensidad mayor al recomendado y por ende al de los usos compatibles.
<b>O2</b>	Sobreutilización moderada	Tierras en las cuales el uso actual se encuentra por encima, en dos niveles, de la clase de vocación de uso principal recomendada, según la capacidad de producción de las tierras.
<b>O3</b>	Sobreutilización severa	Tierras en las cuales el uso actual supera en tres o más niveles, la clase de vocación de uso principal recomendado, presentándose evidencias de degradación avanzada de los recursos, tales como procesos erosivos severos, disminución marcada de la productividad de las tierras, procesos de salinización, entre otros.

Fuente: A partir de información de IGAC-CORPOICA 2002, adaptado por Integral S.A., 2020

En dicho contexto, se evidencia que el área de influencia del componente de suelos en su mayoría no presenta conflicto de uso (85,25%), no obstante, se encontraron algunas discrepancias, ya que existen algunas zonas verdes que podrían tener un uso residencial (0,89%) o portuario (1,17%) y actualmente corresponden a zonas verdes urbanas, de igual manera, se presentan unas zonas residenciales con potencial comercial, industrial e institucional (7,47%), por tanto, se considera una subutilización ligera, ya que aun cuando no presentan el uso para el cuál tienen potencial, el contexto de estas zonas es urbano, es decir, guardan una correspondencia por ser suelo urbano, por otro lado, se presenta un sector con sobreutilización moderada (3,27%), ya que su vocación corresponde a suelo de protección y reserva o espacio público y, actualmente pertenece a una zona portuaria o industrial, el conflicto se debe a que el uso actual excede la capacidad natural de estas zonas para contrarrestar el riesgo de deterioro en las áreas vulnerables ante la acción de la actividad antrópica. Finalmente, se presenta sobreutilización ligera, ya que existen áreas industriales que presentan una vocación residencial (0,5%) y unas zonas residenciales con potencial de espacio público (0,49%) o suelo de protección y reserva (0,91%), ya que, el uso es cercano al uso principal por pertenecer a una zona urbana, no obstante, la intensidad de uso es mayor a la recomendada (véase Tabla 5.29, Figura y mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-CUS-40).

Tabla 5.30 Conflictos de uso del suelo del área de influencia del componente suelos

Conflicto de uso del suelo	Nomenclatura	Uso actual del suelo	Vocación del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Por sobreutilización ligera	<b>O1</b>	Industrial	Residencial (RES)	0,13	0,50
		Residencial	Espacio Público Actual (EP)	0,13	0,49
			Suelo de Protección y Reserva (P)	0,24	0,91
<b>Subtotal</b>				<b>0,49</b>	<b>1,90</b>
Por sobreutilización moderada	<b>O2</b>	Industrial	Espacio Público Actual (EP)	0,39	1,48
			Suelo de Protección y Reserva (P)	0,03	0,12
		Zonas portuarias	Suelo de Protección y Reserva (P)	0,43	1,67



Conflicto de uso del suelo	Nomenclatura	Uso actual del suelo	Vocación del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
<b>Subtotal</b>				<b>0,85</b>	<b>3,27</b>
Por subutilización ligera	S1	Residencial	Comercial (COM)	0,21	0,79
			Industrial (IND)	1,58	6,05
			Institucional (INST)	0,17	0,63
			Institucional con EBI (INST-EBI)	0,01	0,05
		Zonas verdes urbanas	Portuario (PORT)	0,31	1,17
			Residencial (RES)	0,23	0,89
<b>Subtotal</b>				<b>2,50</b>	<b>9,59</b>
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A	Cuerpos de agua artificiales	Canales	0,00	0,01
		Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	0,03	0,10
		Industrial	Actividad Central (C)	0,08	0,29
			Comercial (COM)	0,02	0,06
			Industrial (IND)	0,01	0,05
			Institucional con EBI (INST-EBI)	0,55	2,10
			Institucional con PRO (INST-PRO)	0,14	0,52
			Portuario (PORT)	8,71	33,40
			Suelo de Expansión Urbana	0,41	1,57
		Recreacional	Espacio Público Actual (EP)	0,19	0,74
			Institucional con EBI (INST-EBI)	0,18	0,71
		Residencial	Actividad Central (C)	0,00	0,01
			Residencial (RES)	1,47	5,64
			Suelo de Expansión Urbana	0,55	2,10
		Transporte	Vía	9,77	37,46
		Zonas portuarias	Portuario (PORT)	0,05	0,18
Zonas verdes urbanas	Suelo de Protección y Reserva (P)	0,08	0,31		
<b>Subtotal</b>				<b>22,23</b>	<b>85,25</b>
<b>Total</b>				<b>26,08</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Integral S.A., 2020

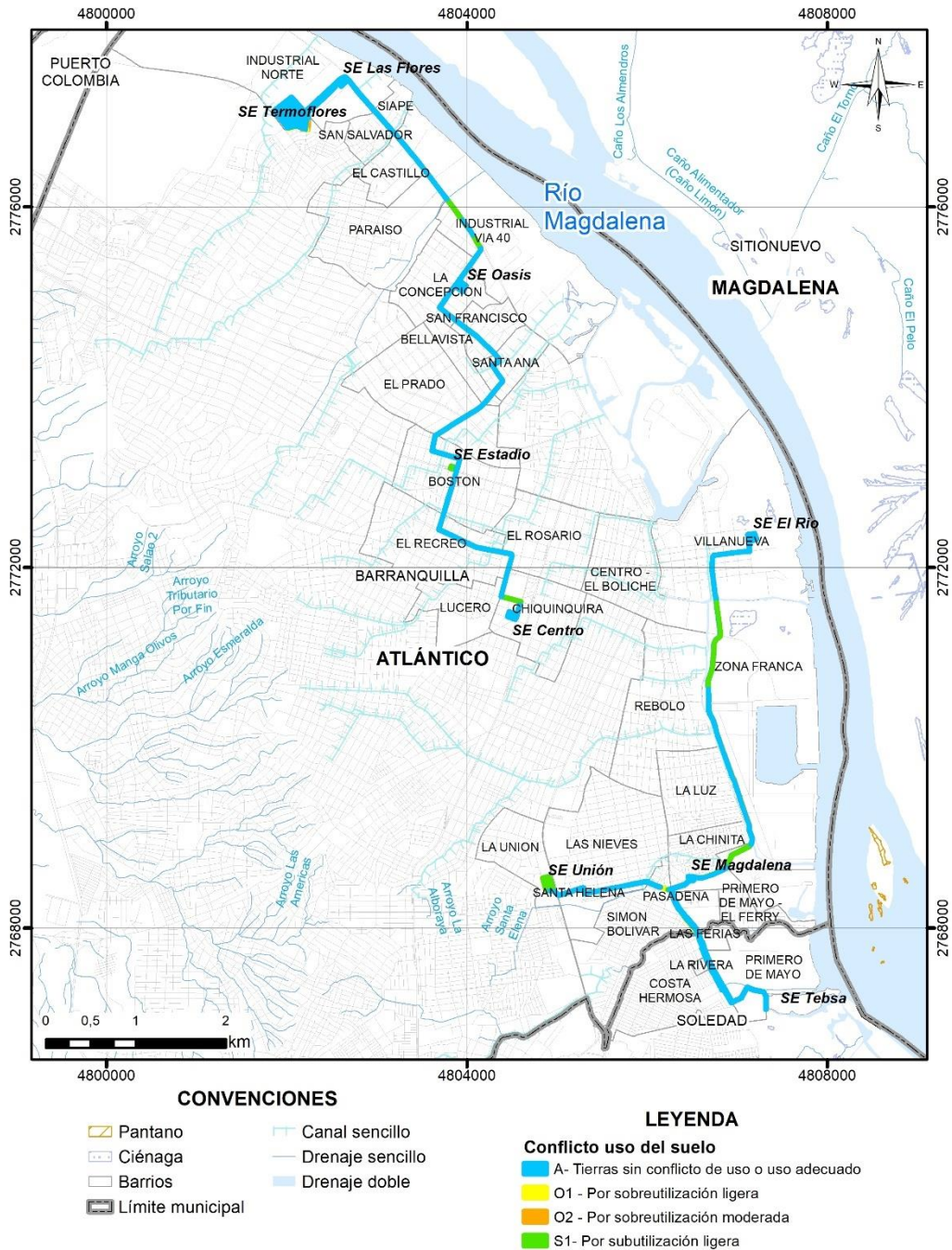


Figura 5.37 Conflictos de uso del suelo del área de influencia del componente suelos

Fuente: Integral S.A., 2020

### **5.1.5.5 Estado actual del suelo**

#### 5.1.5.5.1 Fertilidad

Debido a que el área de influencia del componente suelos del proyecto se ubica en zona urbana, no se consideró el análisis de fertilidad, ya que el trazado discurre principalmente por espacios públicos que actualmente cuentan con algún tipo de infraestructura, adicionalmente, es de anotar que, dentro de los documentos de ordenamiento territorial no se considera a futuro el uso de estos sectores para el desarrollo de actividades agrícolas o similares.

#### 5.1.5.5.2 Contaminación

El concepto de contaminación del suelo definido por García<sup>7</sup> indica que, un suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos. Las sustancias, a esos niveles de concentración, se vuelven tóxicas para los organismos del suelo. Se trata pues de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo.

Dicho lo anterior y entendiendo que el área de influencia del componente suelos del proyecto se ubica en zona urbana y que dentro de los documentos de ordenamiento territorial no se considera a futuro el uso de estos sectores para el desarrollo de actividades productivas del suelo, no se consideró dentro del presente estudio desarrollar el análisis de contaminación de suelos.

#### 5.1.5.5.3 Compactación y degradación por erosión

Según lo indicado en fertilidad y contaminación, el área de influencia del componente suelos del proyecto se ubica en zona urbana y que dentro de los documentos de ordenamiento territorial no se considera a futuro el uso de estos sectores para el desarrollo de actividades productivas del suelo que requieran de resultados de compactación de suelos y degradación por erosión, por tal razón, no se consideró su análisis dentro del presente estudio.

### **5.1.5.6 Análisis de servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad o diversidad biológica (variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente<sup>8</sup>), y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes,

---

<sup>7</sup> GARCÍA INÉS. "TEMA 11. Contaminación del suelo e impacto ambiental". {En línea}. Fecha. {20 octubre de 2020}. Disponible en (<http://www.edafologia.net/conta/tema11/concep.htm#anchor604205>).

<sup>8</sup> Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas de 1992, se entiende por biodiversidad o diversidad biológica, la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas.

estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad; son reconocidos como el puente de unión entre la biodiversidad y el ser humano. Existen cuatro tipos de servicios ecosistémicos, a saber: aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales (IAvH, 2012<sup>9</sup>).

De acuerdo con los requisitos de los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental -EIA Proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17, para el componente de suelos, se deben referenciar los servicios de aprovisionamiento, regulación y soporte, los cuales se definen a continuación.

**Servicios de aprovisionamiento:** constituidos por el conjunto de bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles, mascotas, entre otros (MEA 2005<sup>10</sup>, tomado de IAvH, 2012).

**Servicios de regulación:** son los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua (MEA 2005, tomado de IAvH, 2012).

**Servicios de soporte:** los servicios de soporte son servicios y procesos ecológicos necesarios para el aprovisionamiento y la existencia de los demás servicios ecosistémicos. Estos servicios se evidencian a escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás, ya que incluyen procesos como la producción primaria, la formación del suelo, la provisión de hábitat para especies, el ciclado de nutrientes, entre otros (MEA 2005, tomado de IAvH, 2012).

Detallada la información anterior, a continuación, en la Tabla 5.31 se presenta el análisis de los servicios ecosistémicos teniendo en cuenta el uso actual del suelo en los municipios de Barranquilla y Soledad que se traslapan con el área de influencia del componente suelos.

Tabla 5.31 Servicios ecosistémicos del área de influencia del componente suelos

SERVICIO ECOSISTÉMICO	ANÁLISIS / DESCRIPCIÓN
<b>SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO</b>	
Agua	Los cuerpos de agua como arroyos, vía canales y/o caños actualmente no presentan ningún tipo de uso por parte de la comunidad, es decir, actualmente no se realiza captación de agua para su aprovechamiento, de igual manera, no se realiza captación de agua subterránea en el área de influencia del componente de suelos y/o área de intervención del proyecto.
Arena y roca	Los cuerpos de agua presentes en el área de influencia corresponden a arroyos, canales y un caño dentro de zonas urbanas en los que no se evidencia la extracción de material de arrastre.
Pesca y acuicultura	Los cuerpos de agua presentes en el área de influencia corresponden a arroyos, canales y un caño dentro de zonas urbanas en los que no se lleva a

<sup>9</sup> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT (IAvH). Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Bogotá: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2012.

<sup>10</sup> MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), 2005. "Ecosystems and Human Well-being. Opportunities and Challenges for Business and Industry". {En línea}. Fecha. {20 octubre de 2020}. Disponible en ([http://www.alexandrina.org/CSSP/Event/Material/MEA\\_businessesdocument.353.aspx.pdf](http://www.alexandrina.org/CSSP/Event/Material/MEA_businessesdocument.353.aspx.pdf))



SERVICIO ECOSISTÉMICO	ANÁLISIS / DESCRIPCIÓN
	cabo ningún tipo de actividad de pesca; de igual manera, no se identifican actividades de acuicultura en estas zonas.
Ganadería	No se identifican usos del suelo asociados a la ganadería en el área de influencia.
Agricultura	No se identifican usos del suelo asociados a la agricultura en el área de influencia.
<b>SERVICIOS DE REGULACIÓN</b>	
Regulación del clima	No se identifican zonas boscosas que puedan generar procesos de regulación climática en el área de influencia.
Regulación hídrica	Los cuerpos de agua presentes en el área de influencia corresponden a arroyos, canales y un caño dentro de zonas urbanas, estos tienen el propósito de conducir aguas lluvias y mantener el caudal de los cuerpos de agua donde tributan.
Regulación de la erosión	El proyecto y/o área de influencia del componente suelos se ubica en zona urbana que cuenta con infraestructura donde no se presenta exposición de suelo y las zonas verdes urbanas solo corresponden al 3,32% donde no se identifican procesos erosivos y que tiene vocación de zona portuaria, de tal manera, que no se consideran servicios de regulación de la erosión.
<b>SERVICIOS DE SOPORTE</b>	
Formación del suelo	El proyecto y/o área de influencia del componente suelos se ubica en zona urbana que cuenta con infraestructura donde no se presenta exposición de suelo y las zonas verdes urbanas solo corresponden al 3,32% que tiene vocación de zona portuaria, por tal razón, no se considera ningún tipo de interacción que permita la formación de suelos que sirvan de soporte para el desarrollo de actividades agropecuarias o similares.
Reciclado de nutrientes	El proyecto y/o área de influencia del componente suelos se ubica en zona urbana que cuenta con infraestructura donde no se presenta exposición de suelo y las zonas verdes urbanas solo corresponden al 3,32% que tiene vocación de zona portuaria, por tal razón, no se considera ningún tipo de interacción que permita el reciclado de nutrientes que sirvan de soporte para el desarrollo de actividades agropecuarias o similares.

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.6 Hidrología

La caracterización hidrológica tiene por objeto determinar los caudales característicos medios, máximos y mínimos en las cuencas susceptibles de intervención directa por la infraestructura del proyecto.

Como parte del estudio se presentan los parámetros morfométricos de las cuencas de interés, los sistemas lénticos y lóticos identificados y la red de drenaje en el área de influencia. En los siguientes numerales se presenta el análisis de calidad de las series de datos de caudales y precipitaciones existentes en la zona.

Finalmente se estimaron los caudales medios, máximos y mínimos para cada sitio de interés y se determinó el régimen hidrológico en el área de estudio.

#### 5.1.6.1 Revisión y análisis de información disponible

En este numeral se presenta la revisión de información disponible en la zona del proyecto en relación con estudios previos realizados en el área de influencia, registros hidro-climatológicos y cartográficos.

#### 5.1.6.1.1 Estudios previos en la zona del proyecto

Plan de Ordenamiento Territorial Del Distrito Especial, Industrial Y Portuario De Barranquilla 2012-2032. DECRETO No. 0212 DE 2014.

Proyecto de Inversión del Sistema de Drenaje de Barranquilla (realizado por la alcaldía de Barranquilla con la colaboración del Gobierno español y el Banco Mundial, diciembre de 2013):

- Estudio hidrológico para el diseño hidráulico de los arroyos de barranquilla
- Prediseño de canalización de algunos arroyos de Barranquilla.
- Estudio Hidrológico y de Peligrosidad de los Arroyos

#### 5.1.6.1.2 Información cartográfica

Para el análisis de la zona de interés, se utilizó información cartográfica del Instituto Geológico Agustín Codazzi (IGAC) en escala 1:10.000. La delimitación de las áreas de drenaje se realizó a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución de pixel de 12,5 m. Esta información se obtuvo del satélite ALOS (“Advanced Land Observation Satellite”) disponible en la página <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>.

Adicionalmente, se utilizó un MDT con datos del sensor remoto ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometers), este modelo presenta una resolución espacial de 30 m x 30 m y se descarga gratuitamente de la página web de la NASA (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).

#### 5.1.6.1.3 Información hidro-climatológica

La información hidro-climatológica requerida para caracterizar el área del proyecto, se tomó del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); entidad que cuenta con estaciones de tipo limnigráfico, limnimétrico, pluviográfico y climatológico en todo el país, y cuyas longitudes de registros son mayores e iguales a 20 años. Lo anterior permite que se pueda obtener un análisis estadístico más confiable.

Para la caracterización hidrológica se obtuvieron registros mensuales procesados por el IDEAM, y datos de mediciones con una resolución temporal diaria y mensual, de variables como precipitación y caudal.

En la Tabla 5.32 se presenta la información general de las estaciones de precipitación con influencia en la zona de estudio que cuentan con registros diarios y en la Tabla 5.33 se presentan las estaciones con datos promedios de variables climatológicas para el periodo 1981 – 2010, publicados por el IDEAM, utilizadas en el balance hídrico. Las estaciones con registros diarios cuentan con más de 10 años de datos, donde la mayor longitud de registros la presenta la estación A.E. Cortissoz con 49 años y la menor es Barranquilla Sede con 13 años. Para el caso de las estaciones con registros procesados del IDEAM se cuenta con una longitud de registro de 29 años.

Adicionalmente, en la Tabla 5.34 se presenta la información general de la estación de caudal utilizada en el estudio, dada la escasez de información en la zona del proyecto en términos de caudales, la estación utilizada se encuentra en el departamento de Magdalena, en el municipio Zona Bananera. Esta estación cuenta con una longitud de registros diarios de 49 años.

Tabla 5.32 Estaciones con registros de precipitaciones cercanas al proyecto en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional

Nombre	Código	Tipo	Coordenadas		Altitud (msnm)	Periodo de registro		Años de registro
			Este	Norte		Desde	Hasta	
Las Flores	29045120	CP	4.801.160	2.778.569	8	1.980	2.015	35
Barranquilla Sede	29040450	PM	4.803.766	2.773.865	12	2.007	2.020	13
A.E Cortissoz	29045020	AM	4.805.571	2.765.027	14	1.970	2.019	49

\* CP: Climatológica Principal, PM: Pluviométrica, AM: Agrometeorológica

Fuente: Integral S.A., 2020

Tabla 5.33 Estaciones con datos de precipitación procesados (1981-2010) en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional

Nombre Estación	Código Estación	Tipo*	Coordenadas Origen Nacional		Altitud (msnm)
			Este (m)	Norte (m)	
La Ye	15015020	CO	4.867.731	2.772.971	20
Media luna	29065080	CO	4.835.188	2.719.784	20
Aeropuerto Simón Bolívar	15015050	SP	4.865.854	2.788.004	4
San Lorenzo	15015060	CP	4.884.865	2.786.024	2.200
Alto de Mira	15015110	CO	4.898.210	2.783.815	1.080
Montebello	29040020	PM	4.791.426	2.741.970	100
Ponedera	29040070	PM	4.806.378	2.734.503	8
Polonuevo	29040080	PM	4.796.932	2.749.732	80
Sabanalarga	29040190	PM	4.790.168	2.734.040	100
Lena	29040200	PM	4.793.166	2.721.304	45
Pto Colombia	29040230	PM	4.784.864	2.772.958	5
Los Campanos	29040290	PM	4.784.327	2.725.346	100
Pto Giraldo	29040300	PM	4.800.653	2.719.730	5
El Bongo	29060030	PM	4.849.607	2.735.057	20
Fundación	29060040	PM	4.870.690	2.721.216	40
El Cenizo	29060060	PM	4.882.662	2.735.240	450
San pablo	29060070	PM	4.887.795	2.752.532	800
Cocos los	29060080	PM	4.816.125	2.774.718	4
Juan de acosta	29045110	CO	4.776.396	2.755.934	20
Tasajera	29060120	PM	4.851.272	2.771.251	2
El Carmen	29060140	PM	4.868.105	2.737.934	25
El Destino	29060150	PM	4.866.129	2.726.684	20
El Enano	29060160	PM	4.870.058	2.762.987	25
Gavilán	29060170	PM	4.854.521	2.738.537	20
La Esperanza	29060180	PM	4.857.220	2.745.389	25
Usiacuri	29040240	PG	4.783.499	2.746.026	100

Nombre Estación	Código Estación	Tipo*	Coordenadas Origen Nacional		Altitud (msnm)
			Este (m)	Norte (m)	
La Florida	29060190	PM	4.862.724	2.730.785	26
La María	29060200	PM	4.870.177	2.723.021	30
La Palma	29060210	PM	4.868.423	2.770.140	23
La Sara	29060230	PM	4.873.138	2.755.682	25
La Unión	29060240	PM	4.866.248	2.741.375	20
Los Proyectos	29060250	PM	4.864.782	2.744.716	20
Palo alto	29060270	PM	4.860.968	2.743.159	25
San isidro	29060280	PM	4.866.655	2.762.851	25
Minca	15010010	PM	4.877.747	2.789.339	640
Sevillano	29060310	PM	4.863.192	2.766.427	5
Vista nieves	15010040	PM	4.882.107	2.783.191	2.000
La Playa	29060330	PM	4.877.540	2.747.458	20
El Palmor	29060340	PM	4.887.910	2.748.690	1.200
Bayano	29060350	PM	4.858.010	2.733.074	30
San Rafael	29060540	PM	4.819.880	2.728.771	10
El Ruby	29060550	PM	4.870.170	2.756.680	20
Padelma	29065020	CO	4.868.860	2.742.974	20
Prado Sevilla	29065030	CO	4.873.797	2.747.714	18
La Pintada	14010100	PM	4.782.072	2.769.302	200
Hibacharo	14010020	PM	4.766.032	2.743.617	80
Bayunca	14010030	PM	4.737.284	2.721.957	35
El Porvenir	14010090	PM	4.763.599	2.742.344	40
Galerazamba	14015010	CP	4.752.917	2.751.706	20
Repelón	29035070	CP	4.767.297	2.717.962	10
Piojo	14010010	PG	4.769.566	2.746.272	320

\*CO: Climatológica Ordinaria, CP: Climatológica Principal, LG: Limnigráfica, LM: Limnimétrica, PM: Pluviométrica

Fuente: Integral S.A., 2020

Tabla 5.34 Estaciones con registros de caudal cercanas a la zona de influencia en coordenadas del Sistema de Proyección Cartográfica para Colombia - Origen Nacional

Nombre Estación	Código Estación	Tipo	Corriente	Coordenadas		Altitud (msnm)	Periodo de registro		Años registro
				Este (m)	Norte (m)		Desde	Hasta	
Sta Rosalia	29067040	LM	Orihueca	4.877.559	2.755.067	55	1.970	2.019	49

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.6.2 Caracterización de las cuencas

Para este análisis, fue necesario ajustar la cartografía base (IGAC), en lo concerniente a los canales y drenajes urbanos de acuerdo con la Imagen de Satélite y la información del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Especial Portuario e Industrial de Barranquilla del año 2014.

#### 5.1.6.2.1 Descripción y localización de la red hidrográfica



El proyecto UPME STR 02-2019 se ubica en la Región Caribe de Colombia, en el departamento de Atlántico en el Distrito Especial Portuario e Industrial de Barranquilla y en una mínima proporción, en el municipio de Soledad. En esta zona la red hidrográfica está compuesta por un sistema de arroyos y brazos del río Magdalena llamados caños, siendo el río Magdalena la principal corriente hídrica en la zona.

El sistema de arroyos en mención consiste en fuertes corrientes de agua formadas en épocas de lluvia y que hacen parte del sistema de drenaje pluvial de los municipios, en ocasiones fluyen por las calles de la ciudad; adicionalmente se caracterizan por escasos caudales en época de verano. Por otro lado, el sistema de caños son una serie de brazos o canales laterales del río Magdalena.

En relación con las intervenciones generadas por el proyecto se contemplan 12 cruces de las líneas de transmisión con los cuerpos de agua, ya sean vía canales, canalizaciones de arroyos o caños. Los cruces mencionados se proyectan de tipo subterráneo con perforación horizontal dirigida a una profundidad mínima de 3,00 m.

En la Tabla 5.35 se presenta una relación de los cruces mencionados con las líneas de transmisión del proyecto y en la Figura se presenta la localización general.

Tabla 5.35 Relación de cruces de las líneas de transmisión con los cuerpos de agua

<b>Tramo líneas de transmisión</b>	<b>Nombre drenaje</b>
SE Las Flores – SE Oasis	Calle 85
	Siape
	El Country
SE Oasis – SE Estadio	Coltabaco
	Carrera 65 - 1
SE Estadio – SE Centro	La Felicidad – 1
	La Felicidad - 2
SE El Río – SE Magdalena	Caño Arriba
	Caño La Ahuyama
	La Chinita -1
SE Unión a SE Tebsa	Don Juan - 1
	Vía canal carrera 47 Soledad

Fuente: Integral S.A., 2020

Los cruces presentados en la tabla anterior se proyectan en su mayoría bajo estructuras existentes, las cuales por su diseño son capaces de soportar el paso de los arroyos sin que se generen problemas de socavación. Los drenajes de la Calle 85, Siape, El Country, y La Chinita – 1 cuentan con coberturas tipo Box Culvert en la zona del cruce mientras que los drenajes Coltabaco, Carrera 65 – 1, La Felicidad 1 y 2 y Don Juan – 1 transitan por vía canales en concreto, los cuales de acuerdo con el Proyecto de Inversión del Sistema de Drenaje de Barranquilla se proyecta la canalización de dichos arroyos algunos de los cuales ya se encuentran en ejecución.

Por otro lado, el cruce en la Vía canal carrera 47 ubicada en el municipio de Soledad se realizará bajo una estructura existente tipo box culvert que atraviesa la Calle 18, dicha estructura tiene como función permitir el paso de las aguas lluvias que discurren por las

vías y se recogen en este punto, por lo anterior no se considera la caracterización hidrológica de este sitio en el presente documento.

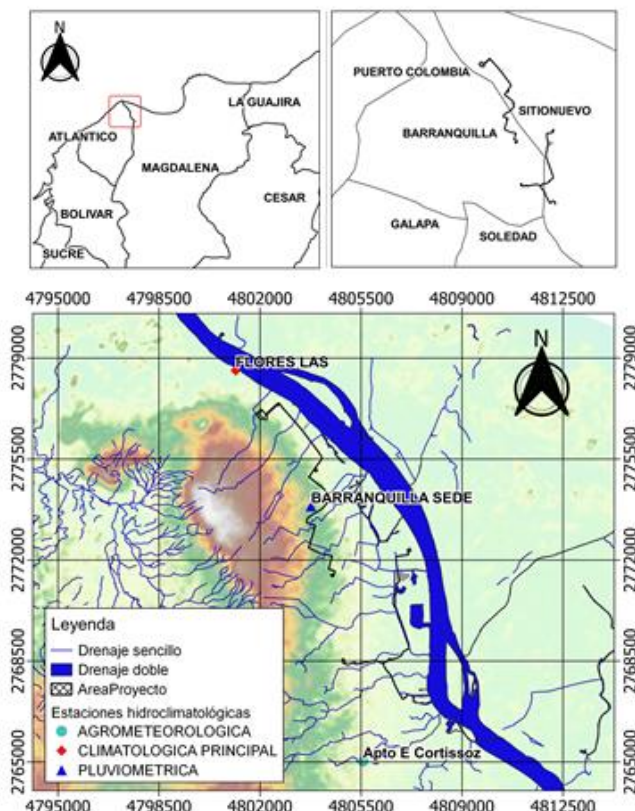


Figura 5.38 Localización general del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.38 se presenta la red hidrográfica identificada en la zona del proyecto a una escala 1:10.000 y la ubicación de los sitios susceptibles de intervención mencionados. En el mapa I-PP-10507UPMESTR02-EIA-HID-10 se presentan los sistemas lénticos y lóticos identificados, así como las cuencas hidrográficas del proyecto.

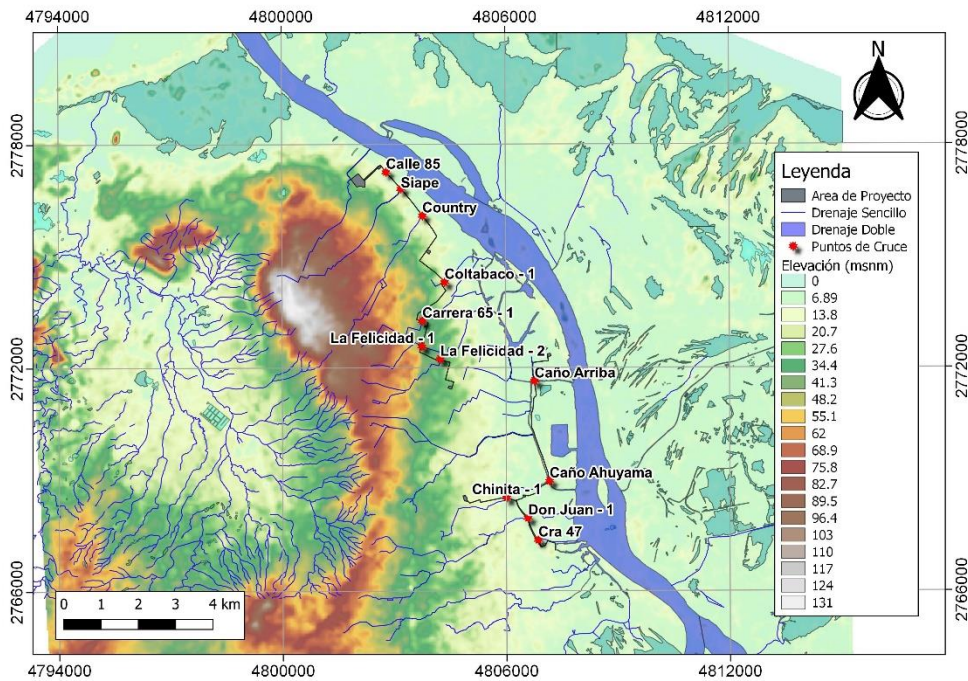


Figura 5.39 Red hidrográfica y ubicación de sitios de intervención

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.6.2.2 Identificación de sistemas lénticos y lóticos

El área de influencia del proyecto se encuentra localizada al interior de la cuenca hidrográfica del río Magdalena, el cual es el principal sistema lótico identificado en la zona, dada su importancia en cuanto a longitud y área de drenaje aferente. Los tributarios más importantes al río Magdalena que se encuentran en la zona de estudio son los arroyos Rebolo, Don Juan y El Country.

Entre las corrientes menores y de interés para la caracterización hidrológica del proyecto están los arroyos Calle 85, Siape, Coltabaco, Carrera 65, La Felicidad y Santa Elena - La Chinita, los cuales son afluentes del río Magdalena ya sea en su corriente principal o en el sistema de caños que forman los brazos del río.

A partir de la cartografía disponible se identificaron algunos cuerpos lénticos en la zona de influencia del proyecto, dicha información se validó haciendo uso de imágenes satelitales donde se evidenció que uno de cuerpos de agua clasificados en la cartografía como ciénaga, ya no corresponde con un cuerpo de agua y posiblemente formaba parte de la zona de inundación del Caño Arriba. Por otro lado, para el caso de la laguna identificada en la cartografía se observó que esta hace parte de un brazo del Caño la Ahuyama como sistema léntico (véase Figura 5.40). Aunque el sistema léntico identificado se encuentra en cercanías a la zona del proyecto, no se generaran intervenciones que afecten este cuerpo de agua.

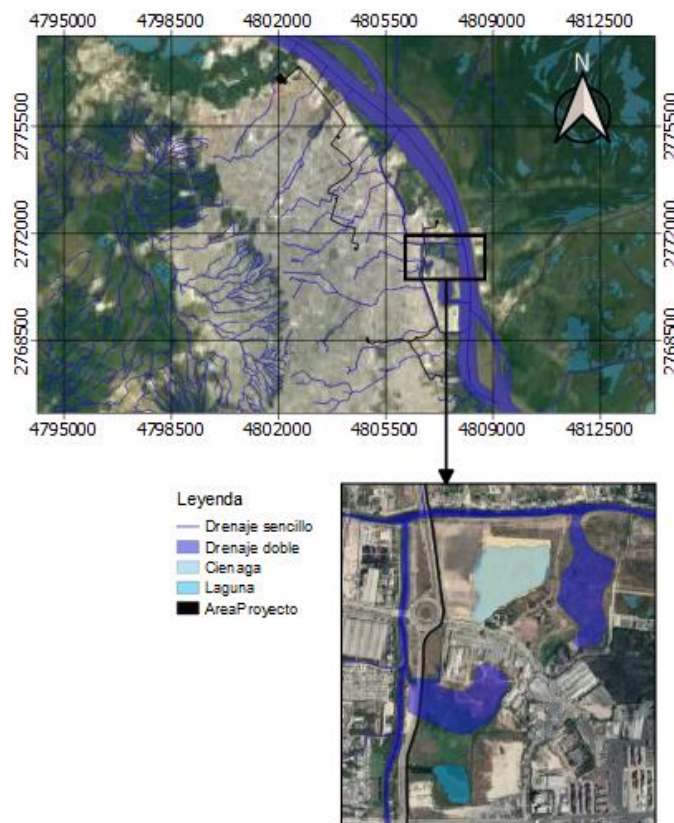


Figura 5.40 Sistemas lénticos identificados en zonas cercanas al proyecto

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.6.2.3 Zonificación hidrográfica

El IDEAM estableció para el país la zonificación y codificación de unidades hidrográficas, la cual es utilizada para la ordenación y gestión del recurso hídrico en Colombia. De acuerdo con dicha zonificación, el área de influencia del proyecto se encuentra localizada en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca (código 2), en la zona hidrográfica Bajo Magdalena (código 29) y en la Subzona hidrográfica Directos al bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura (código 2904).

#### 5.1.6.2.4 Patrones de drenaje

Los patrones de drenaje o redes se clasifican en función de su forma y textura, y se desarrollan en respuesta a la topografía y la geología subsuperficial local.

El proyecto se desarrolla en la zona urbana del Distrito Especial Portuario e Industrial de Barranquilla y del municipio de Soledad, donde el área está constituida por una zona de planicie que va desde la orilla del río Magdalena ascendiendo con una pendiente suave hacia el occidente. Dadas las características descritas en esta zona, los patrones de drenaje identificados corresponden al tipo subdendrítico aunque en la actualidad son drenajes antrópicos cuyo comportamiento no obedece a condiciones naturales, en la Figura se



presentan los patrones de referencia y en la se puede observar el patrón de Figura 5.41 drenaje identificado en la zona de estudio.

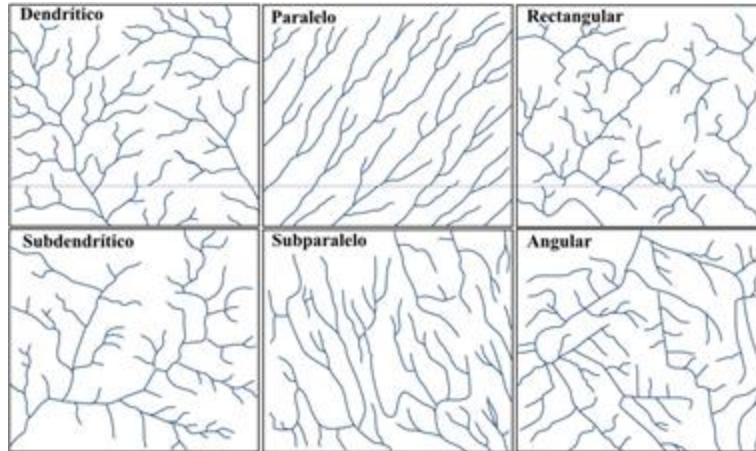


Figura 5.41 Tipos de patrones de drenaje

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.6.2.5 Identificación de dinámica fluvial

Los drenajes sobre los que se proyectan los cruces de las líneas de transmisión son en su mayoría arroyos formados en épocas de lluvia, normalmente discurren por las vías de la ciudad, por vía canales construidas para contener algunas crecientes o canalizaciones en concreto cuyas estructuras son tipo Box Culvert o canales rectangulares abiertos.

Para el caso de los caños, son cuerpos de agua altamente intervenidos para evitar que tengan desplazamientos meándricos naturales y se consideran brazos laterales del río Magdalena cuyo nivel depende de los niveles del río. En muchos casos son receptores de descargas de aguas residuales e industriales y adicionalmente reciben las descargas de los arroyos de la zona.

En relación con el comportamiento temporal y espacial de las inundaciones generadas por los drenajes que cruzan las líneas de transmisión, se considera que dicho comportamiento no se verá afectado por la realización del proyecto, ya que los cruces se proyectan con una profundidad mínima de 3 m por debajo de los canales o lechos naturales de las corrientes y se realizarán con perforación horizontal dirigida con el fin de no generar intervención directa en el cauce.

La zona de estudio debido a la dinámica de los arroyos y su cercanía al río Magdalena, presenta una mayor susceptibilidad a amenazas por inundación, por lo cual a partir de información secundaria disponible en los municipios de Barranquilla y Soledad se evaluó el nivel de amenaza por este fenómeno en el área del proyecto.

Para el Distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla se contó con la información del Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2032 mientras que para el municipio de Soledad se contó con información disponible en la página oficial de la alcaldía, en estos se presentan

tres niveles de amenaza por inundación: baja, media y alta. En la Figura 5.42 se presenta el mapa de amenaza natural por inundación con el área de intervención del proyecto.

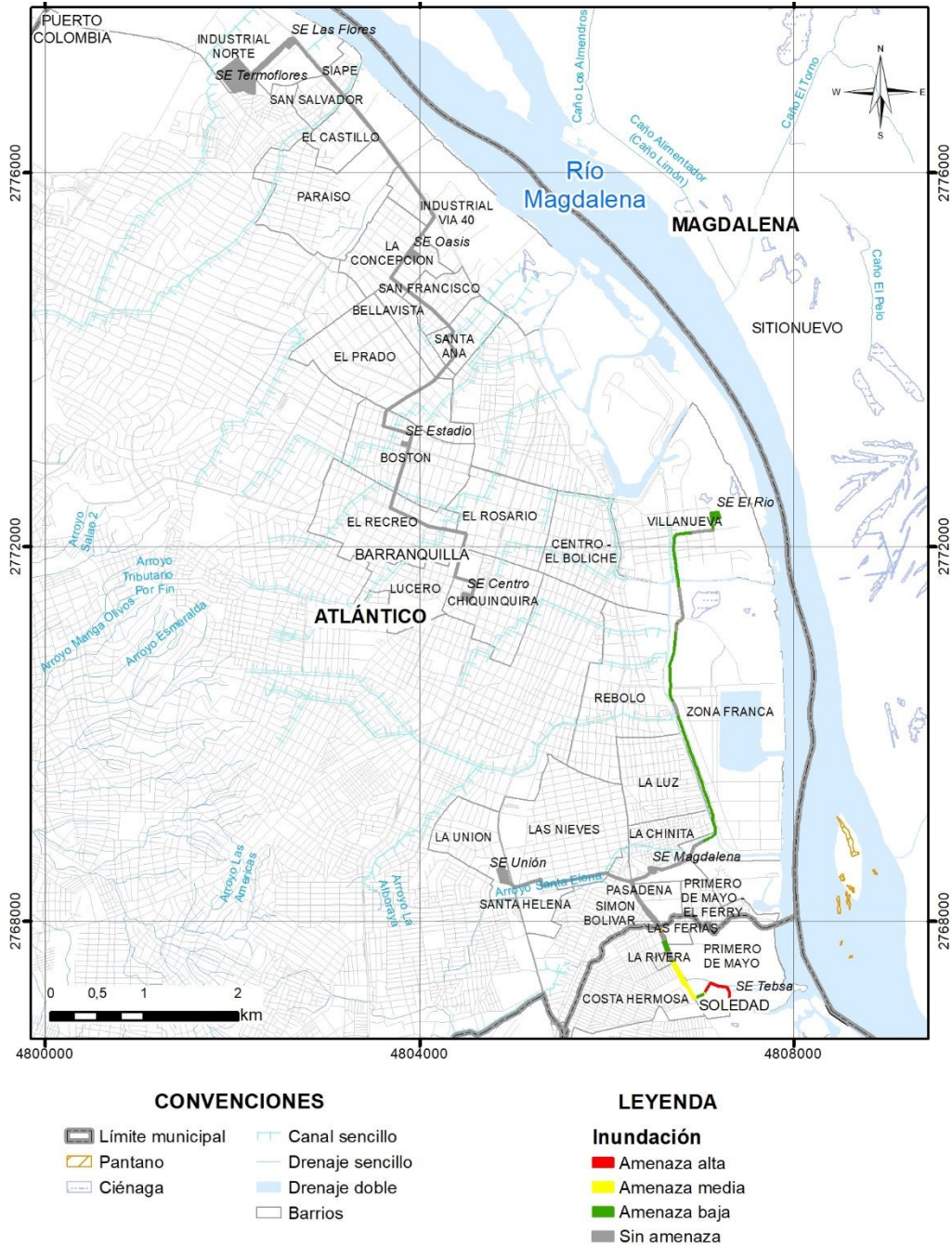


Figura 5.42 Amenaza por inundación en el municipio de Barranquilla

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la Figura 5.42 la línea de transmisión Magdalena – Río que se encuentra paralela al caño la Ahuyama y el arroyo La Chinita presenta un nivel de amenaza baja y media, mientras que para el resto de las líneas proyectadas en el municipio de Barranquilla no se presenta un nivel de amenaza por inundación. Por otro lado para las líneas localizadas en el municipio de Soledad se presentan niveles de amenaza alta en el cruce de la vía canal Don Juan y la Subestación Tebsa, y amenaza media en el cruce de la vía canal carrera 47.

#### 5.1.6.2.6 Parámetros morfométricos

Como se mencionó en numerales anteriores, la caracterización hidrológica de la zona se realizó de acuerdo con los sitios susceptibles de intervención, los cuales corresponden a los cruces de las líneas de transmisión sobre los cuerpos de agua, para lo cual se delimitaron las cuencas susceptibles de intervención y las cuencas asociadas a dichos sitios y se obtuvieron los parámetros morfométricos de cada una de ellas. En la Figura 5.43 se presenta la localización de las cuencas de drenaje.

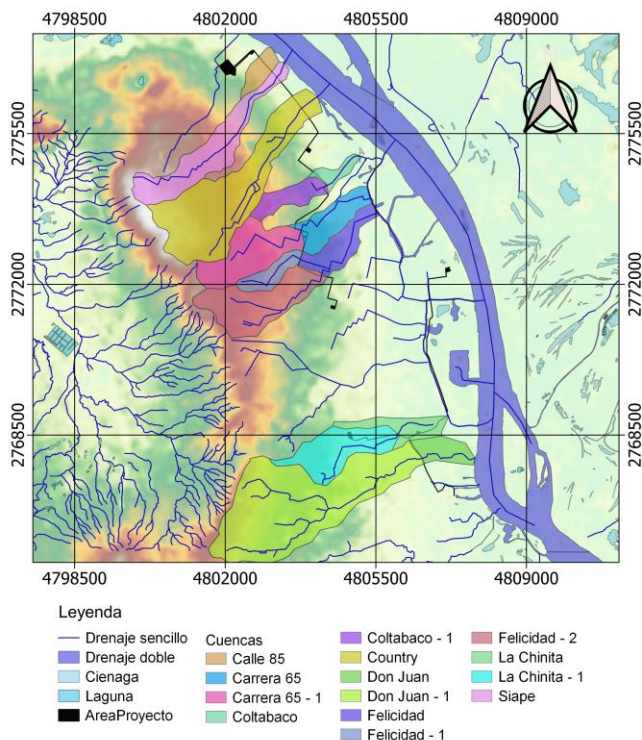


Figura 5.43 Cuencas de drenaje caracterizadas

Fuente: Integral S.A., 2020

Los parámetros geomorfométricos hallados en este estudio son, en su mayoría, parámetros que caracterizan geoméricamente la cuenca y permiten el estimativo de los tiempos de concentración y caudales máximos. Los parámetros tenidos en cuenta se describen a continuación:



- Área de cuenca: Consiste en la medida de la superficie en planta de la cuenca contenida en la divisoria de aguas.
- Longitud de la cuenca: Distancia medida sobre el cauce más largo desde la cabecera hasta la salida de la cuenca.
- Longitud axial: Distancia de una línea recta que va desde el punto de interés en la cuenca hasta la divisoria de esta y que además es paralela al cauce principal.
- Ancho medio de la cuenca: Es un parámetro promedio que se obtiene a partir de la relación entre el área de la cuenca y la longitud máxima de la misma.
- Pendiente media de la cuenca: Es la pendiente ponderada para toda la cuenca. Se obtiene a partir de la relación entre el producto de la longitud de las curvas de nivel que aparecen en la cuenca por la equidistancia entre las mismas y la superficie total de la cuenca.
- Altura media de la cuenca: Es la elevación promedia referida respecto al nivel al cual se encuentra el punto de interés o de descarga de la cuenca.
- Perímetro de la cuenca: Longitud medida sobre los límites de la cuenca.
- Longitud del cauce principal: Distancia medida a lo largo del curso fluvial de mayor orden, desde la divisoria hasta el final de este.
- Pendiente cauce principal: Es la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida entre su longitud.
- Cota sitio de interés o de estudio: Altura respecto al nivel del mar del sitio objeto de estudio.
- Cota más alta de la divisoria: Altura respecto al nivel del mar del punto más alto sobre la divisoria de aguas de la cuenca.
- Número de orden de Horton: Valor entero que determina la importancia relativa de la corriente en una jerarquía relativa de tributarios mayores y menores.
- Coeficiente de compacidad, Kc: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca, según la siguiente expresión dada en la Ecuación 5.1.

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 5.1 Coeficiente de compacidad.

Donde:

P: perímetro de la cuenca.

A: área de la cuenca.

Cuanto más irregular sea la hoya, mayor será su coeficiente de compacidad.

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Clase Kc1: Rango entre 1 y 1,25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.

Clase Kc2: Rango entre 1,25 y 1,5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.



---

Clase Kc3: Rango entre 1,5 y 1,75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

- Factor de forma de Horton (Kf): El factor de forma es la relación entre el ancho medio y la distancia entre los puntos más distantes de la corriente, o la relación entre el área y la longitud mayor de la cuenca al cuadrado. Las cuencas con Kf bajo son menos propensas a tener lluvias intensas en toda la cuenca, y por ende son menos susceptibles a las crecidas.
- Forma: Se determina a partir de la relación entre el ancho medio de la cuenca y el largo máximo de esta. Este indicador pretende parametrizar la cuenca de tal manera que a través de este se obtenga una aproximación a su forma geométrica.

En la Tabla 5.36 y la Tabla 5.37 se presentan las principales características morfométricas de las cuencas delimitadas para los sitios de cruce de las líneas de transmisión proyectadas con los cuerpos de agua en la zona de estudio.

Tabla 5.36 Parámetros morfométricos de las cuencas asociadas a los sitios de cruce

Nombre de la cuenca	Área	Longitud cauce principal	Pendiente cauce principal	Longitud de la cuenca	Longitud axial	Pendiente de la cuenca	Altura media de la cuenca	Perímetro de la cuenca	Cota superior del cauce	Cota sitio de interés o de estudio	Cota más alta sobre la divisoria
	km <sup>2</sup>	km	m/m	km	km	%	m.s.n.m.	km	m.s.n.m.	m.s.n.m.	m.s.n.m.
Calle 85	0,47	1,47	0,02	1,47	1,41	3,94	16,93	3,20	39,80	4,82	39,80
Siape	2,48	5,21	0,02	5,21	4,69	4,58	76,18	11,06	131,96	3,18	131,96
Country	5,02	4,97	0,03	4,97	5,05	4,50	72,55	13,06	131,58	5,04	131,58
Coltabaco	1,13	3,15	0,02	3,15	2,96	5,08	35,27	6,68	64,36	7,10	64,36
Carrera 65	3,25	5,53	0,02	5,53	4,39	4,41	55,76	11,07	102,38	6,33	102,38
Felicidad	4,06	5,93	0,02	5,93	4,88	4,28	54,56	11,81	101,03	5,22	101,03
La Chinita	2,75	5,14	0,01	5,14	4,28	2,88	20,48	9,86	46,95	6,00	46,95
Don Juan	7,48	7,14	0,01	7,14	6,54	4,14	34,63	16,02	80,77	5,01	80,77
Coltabaco - 1	0,78	2,01	0,02	2,01	1,94	5,78	45,94	4,65	64,36	17,28	64,36
Carrera 65 - 1	2,07	3,29	0,02	3,29	2,64	4,89	74,42	7,15	102,38	35,08	102,38
Felicidad - 1	0,63	1,75	0,03	1,75	1,62	4,82	62,96	4,04	83,50	39,46	83,50
Felicidad - 2	2,36	3,60	0,02	3,60	3,34	4,15	66,28	7,93	101,03	30,80	101,03
La Chinita - 1	1,88	3,76	0,01	3,76	3,05	3,28	24,95	7,40	46,95	8,08	46,95
Don Juan - 1	6,80	5,72	0,01	5,72	5,41	4,37	37,32	13,60	80,77	7,81	80,77

Fuente: Integral S.A., 2020

Tabla 5.37 Parámetros de forma de las cuencas asociadas a sitios de cruce

Nombre de la cuenca	Índice de compacidad	Factor de forma de Horton	Forma	Índice de sinuosidad	Tipo de drenaje asociado al índice de sinuosidad	Densidad de drenajes (Km/Km2).	Densidad de corrientes (1/Km2).
	Adim.	Adim.		Adim.	N/A	Adi.	1/km2
Calle 85	1,30	0,22	Oval-redonda a oval oblonga	1,04	Drenaje rectilíneo	3,11	2,11
Siape	1,97	0,09	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,11	Drenaje rectilíneo	2,10	0,40
Country	1,63	0,20	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	0,98	Drenaje rectilíneo	1,19	0,60
Coltabaco	1,76	0,11	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,06	Drenaje rectilíneo	2,78	0,88
Carrera 65	1,72	0,11	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,26	Drenaje transicional	1,70	0,31
Felicidad	1,64	0,12	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,21	Drenaje transicional	2,33	0,74
La Chinita	1,67	0,10	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,20	Drenaje transicional	1,87	0,36
Don Juan	1,64	0,15	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,09	Drenaje rectilíneo	1,53	0,40
Coltabaco - 1	1,47	0,19	Oval-redonda a oval oblonga	1,04	Drenaje rectilíneo	2,58	1,28
Carrera 65 - 1	1,39	0,19	Oval-redonda a oval oblonga	1,25	Drenaje transicional	1,59	0,48
Felicidad - 1	1,42	0,21	Oval-redonda a oval oblonga	1,08	Drenaje rectilíneo	2,78	1,58
Felicidad - 2	1,44	0,18	Oval-redonda a oval oblonga	1,08	Drenaje rectilíneo	1,98	0,85
La Chinita - 1	1,51	0,13	Oval-oblonga a rectangular-oblonga	1,24	Drenaje transicional	2,00	0,53
Don Juan - 1	1,46	0,21	Oval-redonda a oval oblonga	1,06	Drenaje rectilíneo	1,48	0,44
Calle 85	1,30	0,22	Oval-redonda a oval oblonga	1,04	Drenaje rectilíneo	3,11	2,11

Fuente: Integral S.A., 2020

De las tablas anteriores se puede concluir que las cuencas de estudio en general presentan formas del relieve de planicie, ya que sus pendientes se encuentran entre 0 y 5%.

En relación con las pendientes de los cauces, se observan en su mayoría pendientes ligeramente suaves (entre 1 y 3%), aunque esto indicaría bajas velocidades de flujo solo se cumpliría para los caudales medios, ya que los arroyos de esta zona se caracterizan por las altas velocidades de las corrientes en épocas de lluvia.

El parámetro densidad de corrientes varía en su magnitud según la escala de trabajo de la red de drenajes; para las cuencas en la zona del proyecto dicho parámetro se estimó a partir de una red de drenaje escala 1:10.000.

### 5.1.6.3 Régimen hidrológico y caudales característicos

El análisis del régimen de precipitaciones en las cuencas definidas para el proyecto fue realizado con base en los registros de las estaciones localizadas en cercanías del área de influencia y cuya información dada la longitud de registros sea representativa para la caracterización (véase Tabla 5.32).

En relación con los caudales característicos, cabe mencionar que, dado que en la zona de interés no se cuenta con estaciones de caudales que permitieran la caracterización de las corrientes objeto de estudio, se utilizaron métodos indirectos para la estimación de estos.

#### 5.1.6.3.1 Análisis de calidad de los datos

A continuación, se presentan los resultados de calidad de datos realizados a las series de registros de las estaciones de precipitaciones y caudales empleados en el estudio. Es de mencionar que para todas las pruebas se empleó un nivel de significancia correspondiente al 5%, nivel que representa un umbral considerado como estadísticamente significativo.

En la Tabla 5.38 se presentan las características principales de las estaciones de caudal consideradas para el análisis. Es importante resaltar que las estaciones analizadas presentan periodos de registro mayores a 20 años, siendo el mayor tiempo de registro de 49 años, periodo correspondiente a la estación A.E. Cortissoz.

Tabla 5.38 Información general de las estaciones de precipitaciones y caudales

Nombre Estación	Corriente	Tipo de información	Periodo de registro		Años de registro	% Datos faltantes
			Desde	Hasta		
Las Flores	No aplica	Precipitación diaria (mm)	1980	2015	35	26,00%
A.E Cortissoz	No aplica	Precipitación diaria (mm)	1970	2019	49	1,00%
Sta Rosalia	Orihueca	Valores medios diarios (m <sup>3</sup> /s)	1972	2015	43	4,94%

Fuente: Integral S.A., 2020

Para las estaciones Sta Rosalia y A.E. Cortissoz se presentaron porcentajes de datos faltantes menores al 5%, por lo cual no se hace necesario el llenado de datos para dichas estaciones. Por otro lado, en la estación Las Flores el porcentaje de datos faltantes es de 26%, por lo que se determinó la necesidad del llenado de datos para esta estación.

#### A. Análisis gráfico de calidad de la serie

En la Figura 5.44 se presenta el resumen gráfico de las series de precipitaciones totales diarias en las estaciones analizadas y en la Figura 5.45 se presenta la curva de doble masa



de las estaciones de precipitación analizadas con el fin de identificar cambios en la serie de datos.

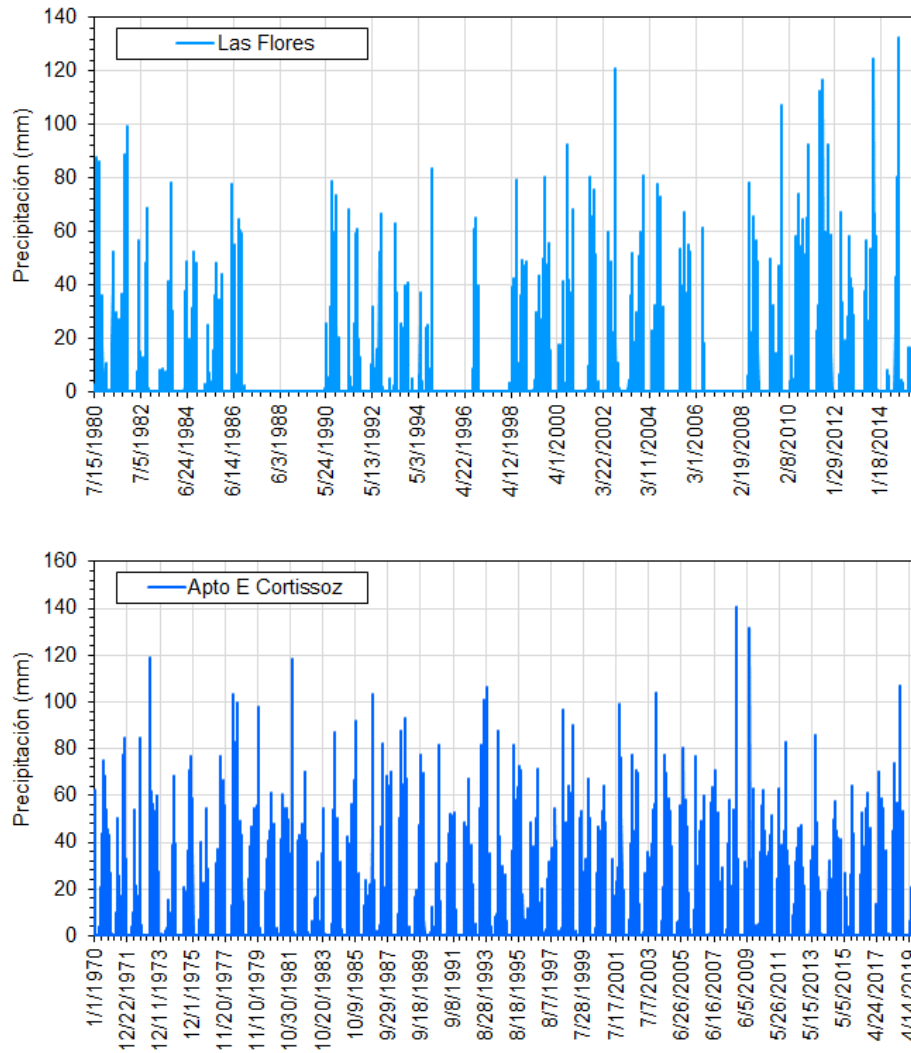


Figura 5.44 Precipitaciones totales diarias en las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

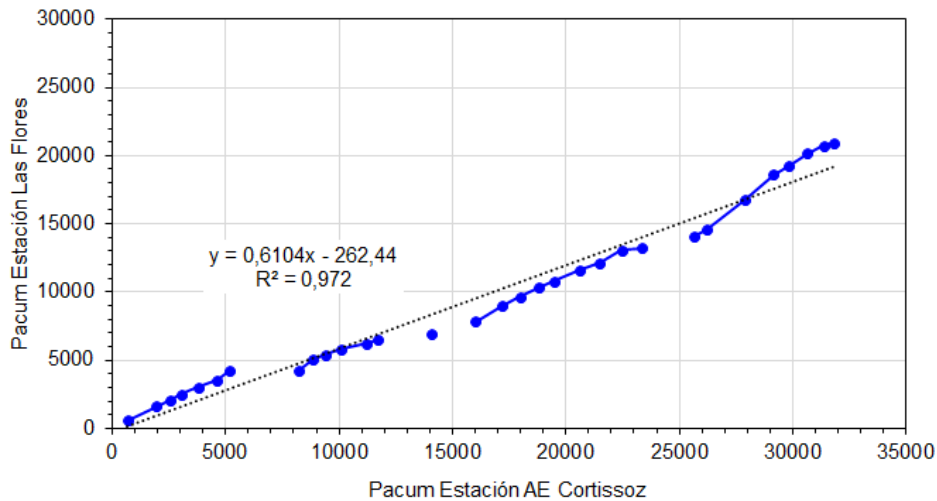


Figura 5.45 Curva de doble masa estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.45 se presenta el comportamiento de las series de precipitaciones totales en las dos estaciones de análisis, en la cual se pueden observar los cambios en la pendiente de la curva de masa; que se deben principalmente a la cantidad de datos faltantes en la serie de la estación Las Flores.

En la Figura 5.46 se presentan los caudales medios diarios registrados en la estación Sta Rosalia y en la Figura 5.47 se muestran los caudales medios anuales estimados a partir de los registros de la estación.

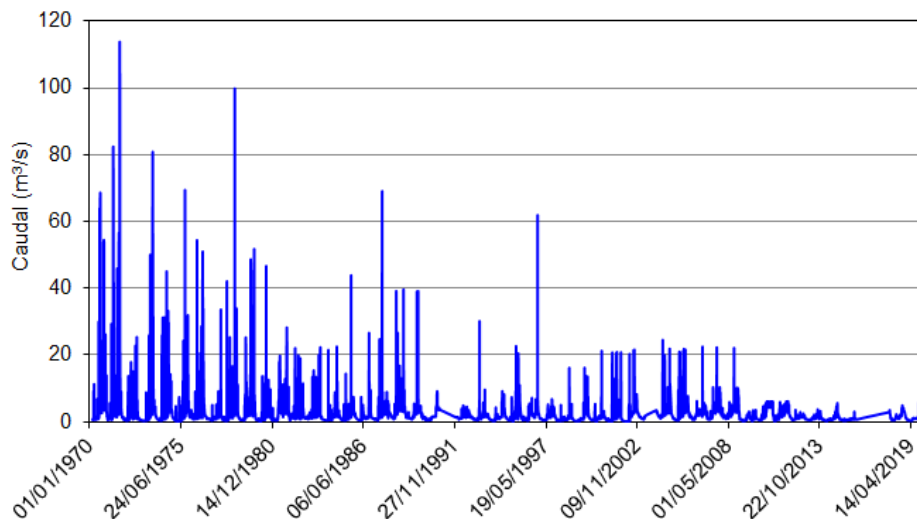


Figura 5.46 Caudales medios diarios estación Sta Rosalia

Fuente: Integral S.A., 2020

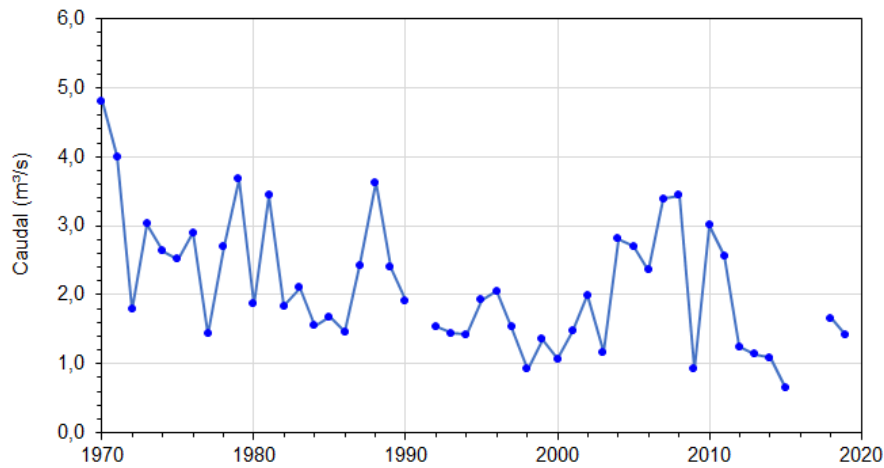


Figura 5.47 Caudales medios anuales en la estación Sta Rosalia

Fuente: Integral S.A., 2020

De acuerdo con las figuras anteriores de la estación Sta Rosalia, se puede observar que los valores de caudal entre los años 1970 y 1990 presentan valores más altos que en el resto de la serie, mostrando una tendencia decreciente y posibles cambios en la media de los datos.

B. Análisis de valores atípicos (Outliers)

Además del análisis gráfico de las series se utilizó la prueba de Grubbs y Beck (World Meteorological Organization (WMO), 2009) para comprobar la existencia de datos anómalos en las series de las estaciones (véase Figura 5.48 y laFigura 5.49).

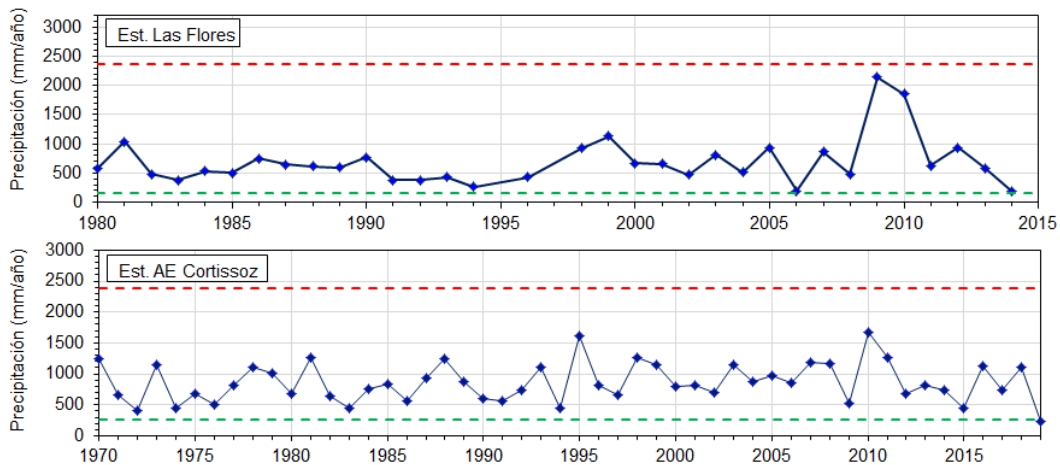


Figura 5.48 Gráfico Grubbs-Beck para datos anómalos estación La Flores y A.E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

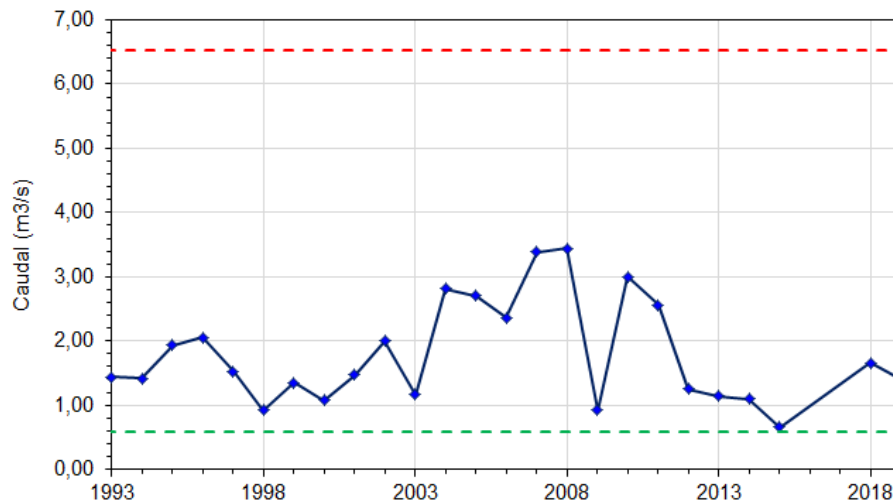


Figura 5.49 Gráfico Grubbs-Beck para datos anómalos estación Sta Rosalia

Fuente: Integral S.A., 2020

Según los resultados obtenidos en la prueba de Grubbs y Beck, no se encontraron datos anómalos en ninguna de las series analizadas.

### C. Prueba de homogeneidad

Por homogeneidad se entiende que dos series de datos provienen de la misma población (World Meteorological Organization (WMO), 2009), en este caso las series de tiempo anuales se dividieron en dos muestras, no necesariamente de igual tamaño. Y la hipótesis nula ( $H_0$ ) de homogeneidad de los datos de la prueba se acepta cuando  $|u|$  es menor al nivel de significancia (véase soporte teórico en el Capítulo 2. Generalidades). Para esto se realizó la evaluación de la homogeneidad mediante la prueba Mann-Whitney; en la Tabla 5.39 se presentan los resultados obtenidos para la prueba de cada una de las series analizadas y se puede evidenciar que la hipótesis nula se acepta para los registros de todas las estaciones con datos de precipitación, lo cual indica la homogeneidad de estas. Sin embargo, para la estación Sta Rosalia no se acepta la hipótesis nula.

Tabla 5.39 Resultado prueba de homogeneidad

Estación	Las Flores (CP)	A.E. Cortissoz (AM)	Sta Rosalia (LM)
Muestra total N (años)	36	50	47
Muestra p (años)	25	25	25
Muestra q (años)	11	24	22
Estadístico V	127	227	388
Estadístico W	148	373	162
Estadístico U	127	227	162
Med U	137,5	300	275
Var U	847,9	2550	2200
Estadístico U	-0,361	-1,446	-2,409



Estación	Las Flores (CP)	A.E. Cortissoz (AM)	Sta Rosalia (LM)
Valor crítico (ucr 5%)	1,96	1,96	1,96
Ho	Aceptada	Aceptada	No se acepta

Fuente: Integral S.A., 2020

#### D. Prueba de tendencia

Para analizar la presencia de tendencias en las series se aplicó la prueba de Mann-Kendall, en la cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula de que los datos hidrológicos analizados no presenten una dependencia del tiempo, es decir, una tendencia ya sea positiva o negativa. En la Tabla 5.40 se presentan los resultados de la prueba, en los cuales se aceptó la hipótesis nula de independencia y no existencia de tendencias para las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz, mientras que para la estación Sta Rosalia se presenta una tendencia de los datos decreciente.

Tabla 5.40 Resultados de la prueba Mann-Kendall

Estación	N	S	Var(S)	Z	Z	Significancia 5% ( $Z_{1-\alpha/2}$ )	Ho
Las Flores (CP)	36	50	5.390	0,667	0,667	1,96	Aceptada
A.E. Cortissoz (AM)	50	117	14.292	0,970	0,970	1,96	Aceptada
Sta Rosalia (LM)	47	-218	11.891	-1,990	1,990	1,96	No aceptada

Fuente: Integral S.A., 2020

#### E. Prueba cambios en la media

Con el fin de detectar posibles cambios abruptos en la media de la serie de caudales anual se utilizó la prueba no paramétrica de Pettit. La hipótesis nula consiste en la inexistencia de cambio en la media de la serie (Wijngaard, Klein Tank, & Können, 2003). En Tabla 5.41 se presentan los resultados obtenidos para las estaciones analizadas.

Tabla 5.41 Resultado prueba Pettit

Estación	N	K	K $\alpha$	Ho
Las Flores (CP)	36	96	155	Aceptada
A.E. Cortissoz (AM)	50	171	252	Aceptada
Sta Rosalia (LM)	47	286	230	No aceptada

Fuente: Integral S.A., 2020

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba Pettit, se concluyó que las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz no presentan un salto o cambios en la media. Sin embargo, en la estación Sta Rosalia se presenta un cambio en la media en el año 1990, donde la media entre el año 1970 y 1990 es de 2,56 m<sup>3</sup>/s y en el periodo de 1991 al 2019 la media es de 1,78 m<sup>3</sup>/s.

Debido a que la estación Sta Rosalia presenta problemas de calidad de datos al tomar toda la serie de caudales, para el análisis de caudales requerido se utilizara como referencia el periodo entre 1992 y 2019, descartando la información entre 1970 y 1990.

F. Llenado de series

Considerando la cantidad de datos faltantes en la serie de precipitaciones diarias de la estación Las Flores, se optó por completar la serie y se obtuvo como resultado los datos presentados en la Tabla 5.78.

El llenado de los datos se realizó mediante la identificación de años pivote, los cuales fueron seleccionados de acuerdo con el comportamiento presentado ante fenómenos macro climáticos como el ENSO (El Niño Southern Oscillation); para esto se utilizó el índice MEI (Multivariate ENSO Index). También se tuvo en cuenta el hecho de que el comportamiento de la media y la desviación estándar inicial deberían ser similares a los de la serie completa. De acuerdo con este análisis se definieron como pivote los años 1991, 2002, 2010 y 2013, los cuales presentaban un comportamiento similar a los periodos de datos faltantes.

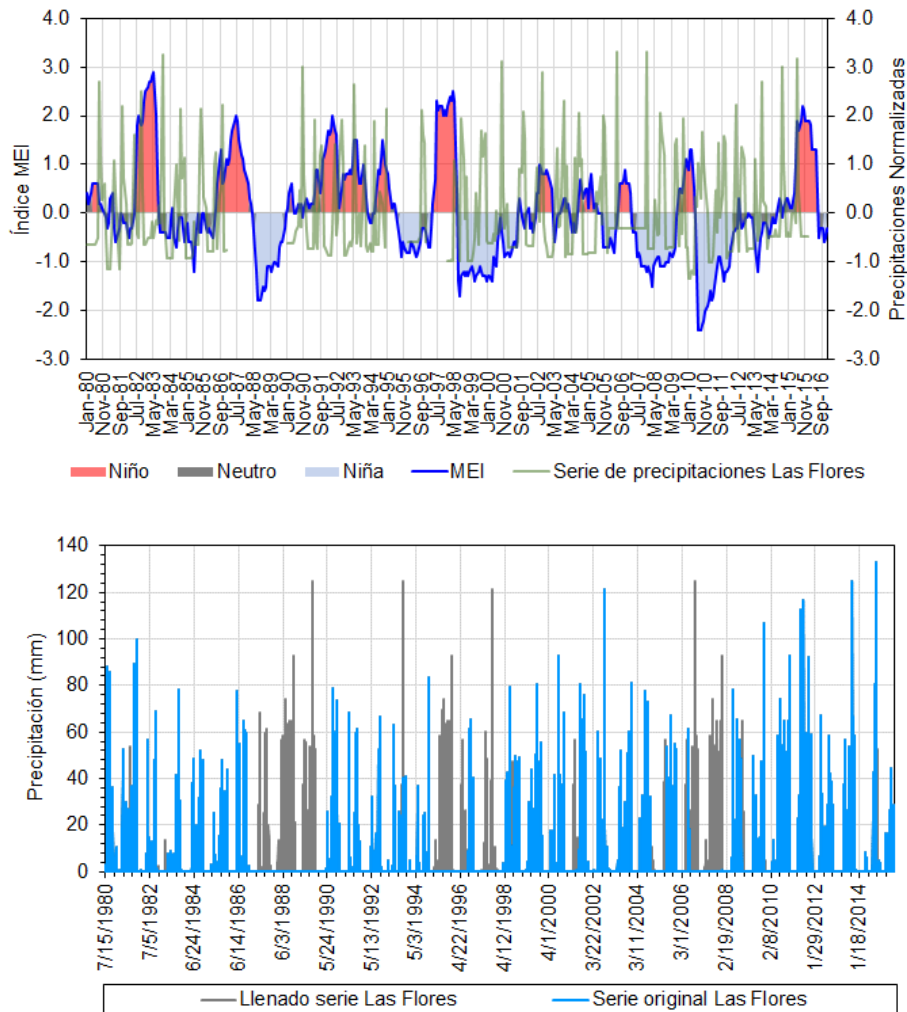


Figura 5.50 Llenado de serie de datos de la estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

5.1.6.3.2 Caudales medios

Para la estimación de caudales medios en las diferentes cuencas de interés se realizó un balance hídrico de largo plazo dado que, las fuentes a analizar no contaban con registros de caudales.

La calibración del balance se hizo a partir de la estación Sta Rosalia, localizada en el municipio de Zona Bananera (departamento del Magdalena). A pesar de no encontrarse en cercanías a la zona de estudio, dada la escasez de información de caudales, se determinó que según las características de la cuenca y su localización, podría utilizarse como referencia para la validación del balance hídrico. A continuación, se presentan los resultados de los análisis de balance hídrico.

A. Modelo digital del terreno y delimitación de cuencas

El Modelo digital del terreno (MDT) utilizado para el análisis tiene una resolución de pixel de 30 m y fue obtenido del sensor remoto ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometers).

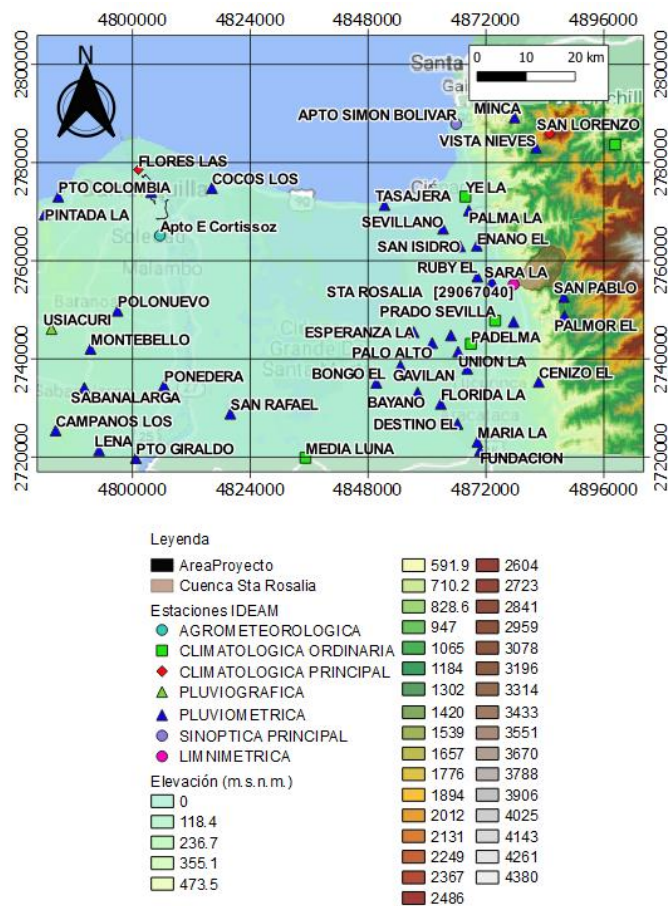


Figura 5.51 Modelo digital de terreno MDT para balance hídrico

Fuente: Integral S.A., 2020

Con base en la información cartográfica y satelital se identificaron y delimitaron cada una de las cuencas, tanto de la estación Sta Rosalia como de las corrientes que hacen parte de este estudio (véase Figura 5.51).

#### B. Precipitación

Para hacer el balance hídrico de largo plazo se utilizó como información base el modelo digital de terreno del proyecto, los datos de las estaciones hidro-climatológicas en la zona de estudio y los promedios de variables climatológicas para el periodo 1981 – 2010, publicados por el IDEAM. Para este caso se tomaron los datos de precipitación y temperatura disponibles, y a partir de estos se construyeron los mapas para cada variable.

En la Tabla 5.42 se presenta la información de las estaciones utilizadas en la construcción del mapa de precipitaciones de la zona de estudio. Esta se realizó a partir de la interpolación de los datos de precipitaciones anuales mediante el método IDW de acuerdo con la distribución espacial de esta variable (véase Figura 5.52).

Tabla 5.42 Estaciones de precipitación utilizadas en el balance hídrico a largo plazo

Nombre Estación	Código Estación	Tipo*	Coordenadas Magna Colombia		Altitud (msnm)	Precipitación media anual (mm)
			Este (m)	Norte (m)		
La Ye	15015020	CO	985.395	1.707.398	20	702
Media luna	29065080	CO	953.022	1.654.068	20	1.069
Aeropuerto Simón Bolívar	15015050	SP	983.463	1.722.433	4	545
San Lorenzo	15015060	CP	1.002.492	1.720.521	2.200	2.730
Alto de Mira	15015110	CO	1.015.855	1.718.359	1.080	3.868
Montebello	29040020	PM	909.165	1.676.112	100	1.157
Ponedera	29040070	PM	924.149	1.668.694	8	1.102
Polonuevo	29040080	PM	914.646	1.683.897	80	1.181
Sabanalarga	29040190	PM	907.934	1.668.175	100	1.188
Lena	29040200	PM	910.977	1.655.445	45	1.094
Pto Colombia	29040230	PM	902.491	1.707.088	5	708
Los Campanos	29040290	PM	902.121	1.659.458	100	1.469
Pto Giraldo	29040300	PM	918.472	1.653.896	5	1.125
El Bongo	29060030	PM	967.395	1.669.399	20	1.469
Fundación	29060040	PM	988.538	1.655.624	40	1.418
El Cenizo	29060060	PM	1.000.469	1.669.697	450	2.571
San pablo	29060070	PM	1.005.545	1.687.018	800	2.443
Cocos los	29060080	PM	933.758	1.708.961	4	978
Juan de acosta	29045110	CO	894.080	1.690.028	20	1.012
Tasajera	29060120	PM	968.933	1.705.618	2	413
El Carmen	29060140	PM	985.894	1.672.342	25	1.607
El Destino	29060150	PM	983.955	1.661.079	20	1.527
El Enano	29060160	PM	987.760	1.697.417	25	1.056
Gavilán	29060170	PM	972.300	1.672.898	20	987



Nombre Estación	Código Estación	Tipo*	Coordenadas Magna Colombia		Altitud (msnm)	Precipitación media anual (mm)
			Este (m)	Norte (m)		
La Esperanza	29060180	PM	974.977	1.679.763	25	1.267
Usiacuri	29040240	PG	901.220	1.680.141	100	1.030
La Florida	29060190	PM	980.535	1.665.171	26	1.417
La Maria	29060200	PM	988.019	1.657.427	30	1.462
La Palma	29060210	PM	986.099	1.704.568	23	818
La Sara	29060230	PM	990.867	1.690.119	25	1.224
La Unión	29060240	PM	984.023	1.675.778	20	1.230
Los Proyectos	29060250	PM	982.545	1.679.116	20	1.029
Palo alto	29060270	PM	978.734	1.677.545	25	1.069
San isidro	29060280	PM	984.355	1.697.268	25	884
Minca	15010010	PM	995.358	1.723.812	640	2.299
Sevillano	29060310	PM	980.877	1.700.834	5	1.053
Vista nieves	15010040	PM	999.743	1.717.676	2.000	2.814
La Playa	29060330	PM	995.301	1.681.905	20	1.599
El Palmor	29060340	PM	1.005.673	1.683.174	1.200	2.281
Bayano	29060350	PM	975.810	1.667.444	30	1.331
San Rafael	29060540	PM	937.676	1.663.007	10	1.213
El Ruby	29060550	PM	987.894	1.691.106	20	1.201
Padelma	29065020	CO	986.631	1.677.387	20	1.221
Prado Sevilla	29065030	CO	991.555	1.682.148	18	1.452
La Pintada	14010100	PM	899.710	1.703.421	200	1.061
Hibacharo	14010020	PM	883.757	1.677.671	80	1.147
Bayunca	14010030	PM	855.077	1.655.906	35	1.277
El Porvenir	14010090	PM	881.327	1.676.389	40	1.161
Galerazamba	14015010	CP	870.610	1.685.716	20	875
Repelón	29035070	CP	885.111	1.652.013	10	894
Piojo	14010010	PG	887.282	1.680.339	320	1.185
Barranquilla Sede	29040450	PM	921.396	1.708.063	12	1050
Las Flores	29045120	CP	918.773	1.712.759	8	887
A.E Cortissoz	29045020	AM	923.234	1.699.228	14	861

CO: Climatológica Ordinaria, CP: Climatológica Principal, LG: Limnigráfica, LM: Limnimétrica, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica.

Fuente: Integral S.A., 2020

Según las estaciones analizadas, la precipitación total anual en la zona varía entre 887 mm en la estación Las Flores y 861 mm en la estación Aeropuerto E Cortissoz. El comportamiento espacial de esta variable se presenta en el mapa de precipitación media total anual de la zona (véase Figura 5.52).

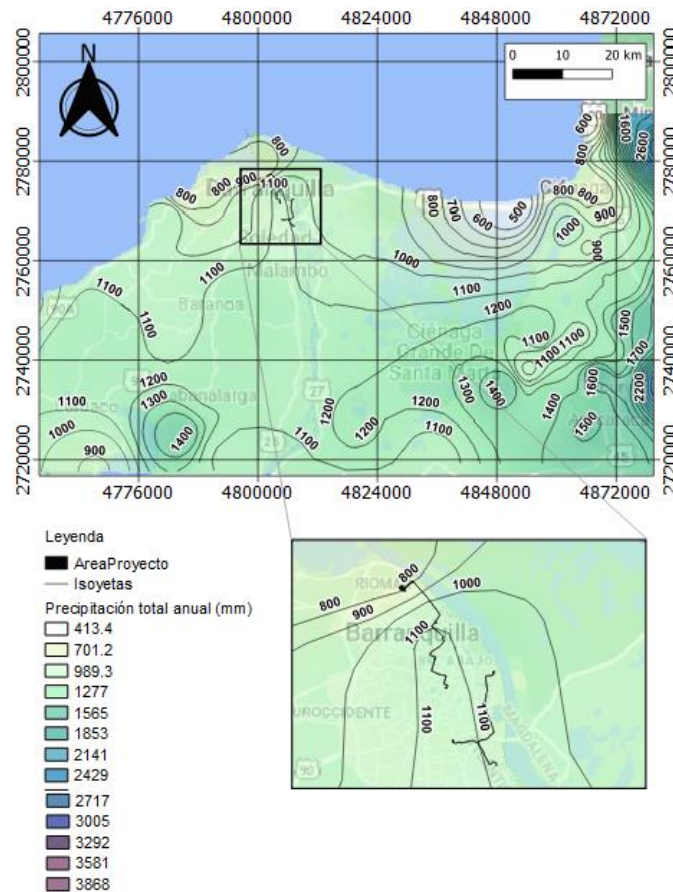


Figura 5.52 Distribución espacial de la precipitación total anual

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.53 se muestra el régimen mensual de precipitaciones para las estaciones con influencia en la zona de interés, en la cual se observa que en el año se presentan dos periodos lluviosos y dos periodos de menor precipitación. En otras palabras, el régimen de precipitaciones en la zona es bimodal.

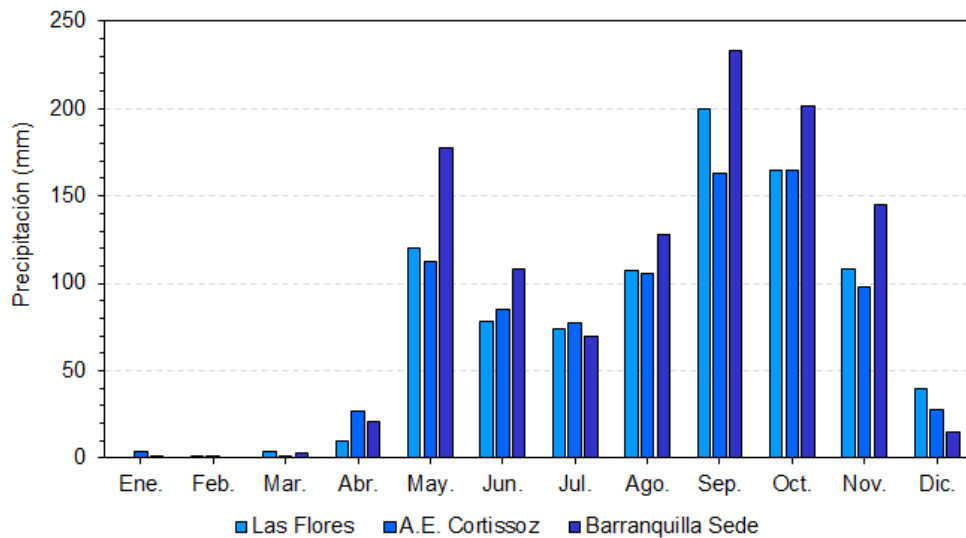


Figura 5.53 Precipitaciones totales mensuales multianuales en las estaciones con influencia en la zona de interés

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se observa en la figura anterior, el comportamiento de las precipitaciones a nivel mensual refleja un primer periodo de lluvias iniciando en el mes de mayo hasta junio, con un veranillo en el mes de julio que da paso a un segundo periodo de precipitaciones más altas que el primer periodo, cuyo pico se presenta en los meses de septiembre y octubre.

### C. Temperatura

La temperatura permite conocer el estado térmico del aire con respecto a su habilidad de transmitir calor a su alrededor. Esta variable climatológica está altamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, generándose usualmente un decrecimiento con la elevación. El análisis de las tendencias de temperaturas medias, máximas y mínimas en la zona del proyecto se realizó a partir de dos estaciones climatológicas: Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz.

Los registros reportados por la estación Las Flores para la variable temperatura, comprenden un periodo de registros de 35 años con un valor máximo reportado de 36 °C entre los meses de abril y junio, y un valor mínimo de 20 °C en el mes de diciembre. Para la estación Aeropuerto E Cortissoz se presenta un periodo de 60 años de mediciones, con un valor máximo registrado de 39,8 °C en el mes de junio y un valor mínimo de 18 °C en el mes de enero. En la Figura 5.54 y Figura 5.56 se presentan las temperaturas medias multianuales para cada estación evaluada.

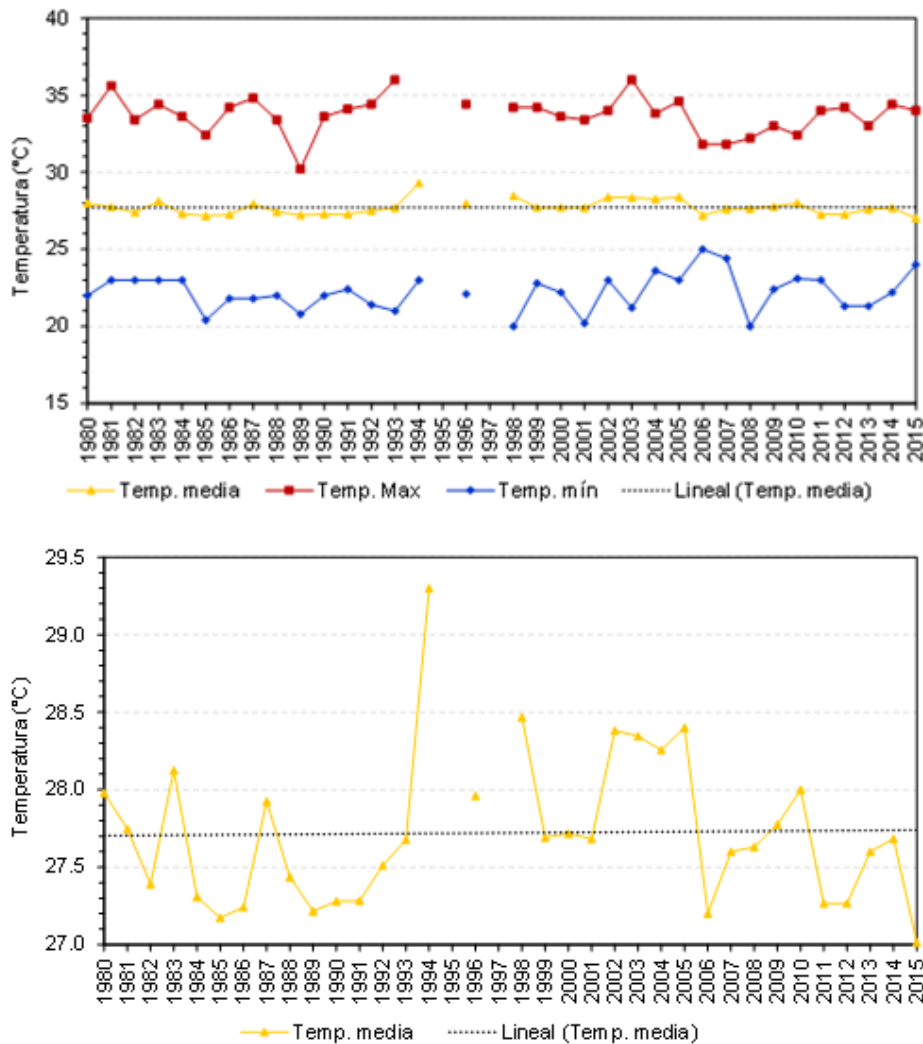


Figura 5.54 Temperatura anual estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la Figura 5.54, la temperatura media anual en la estación Las Flores se presenta una leve tendencia creciente, lo cual indica que hay un aumento de la temperatura a lo largo del periodo de análisis, los valores medios multianuales oscilan entre 27,0 y 29,3 °C presentando un valor medio de 27,7 °C.

En la Tabla 5.43, al igual que en la Figura 5.55, se presenta un resumen de los valores mensuales de temperatura en la estación Las Flores para el periodo de tiempo registrado.



Tabla 5.43 Estación Las Flores – Temperatura mensual (°C)

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	26,7	26,6	26,9	27,5	28,1	28,4	28,2	28,2	28,2	28,0	28,0	27,3
Máximos	32,0	32,5	34,0	36,0	36,0	36,0	34,2	34,2	34,6	34,0	34,2	33,0
Mínimos	21,8	20,2	21,3	22,0	20,0	21,0	21,8	21,8	21,3	21,4	22,4	20,0

Fuente; Integral S.A., 2020

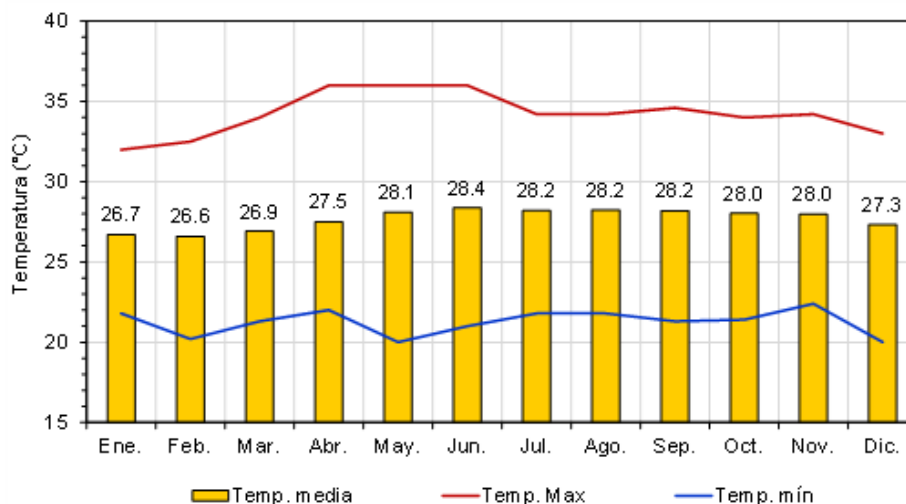


Figura 5.55 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la figura anterior los valores de temperatura media más altos se presentan entre los meses de mayo y noviembre, alcanzando un máximo de 28,4 °C en el mes de junio; por otro lado, las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de enero y marzo.

Por otro lado, para la estación Aeropuerto E Cortissoz, con periodo de registros mensuales desde el año 1951 al 2017, se evidencia una tendencia positiva en la serie de tiempo (véase Figura 5.56), en la cual se tiene una temperatura media mensual entre 26,7 y 28,5 °C.

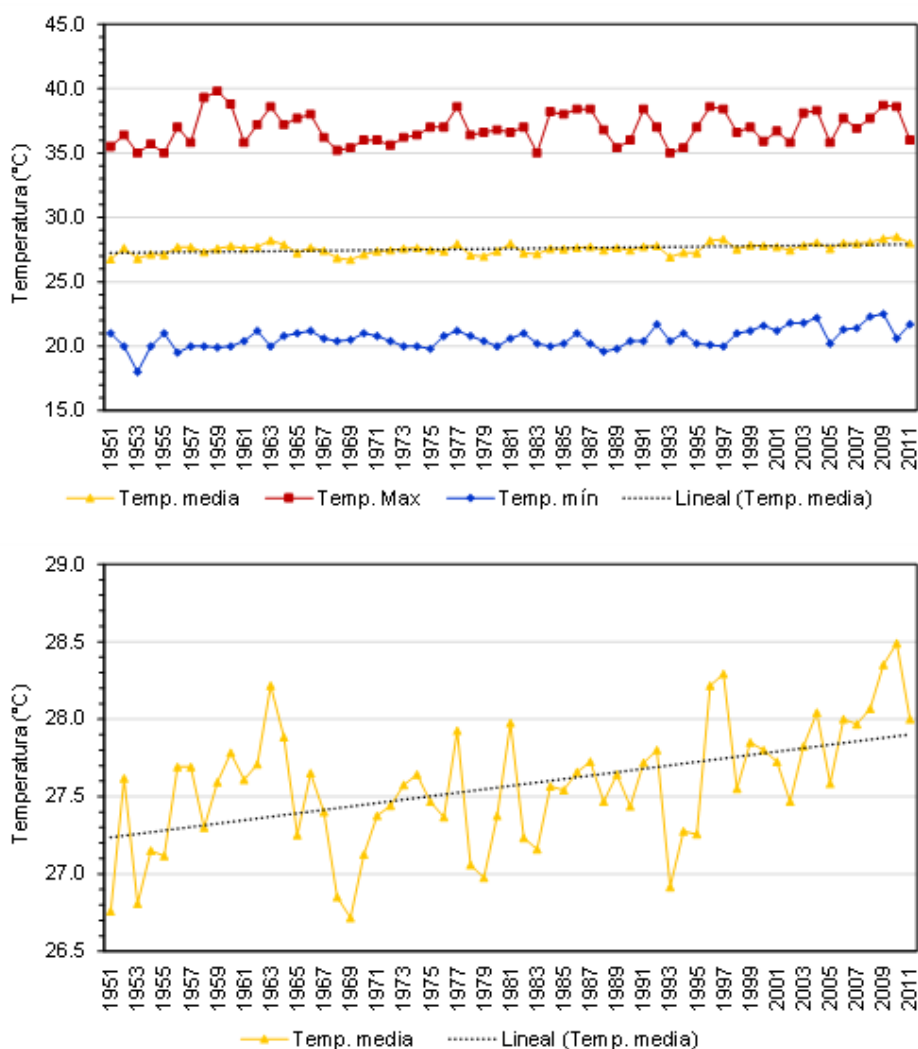


Figura 5.56 Temperatura anual estación Aeropuerto E Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Tabla 5.44, al igual que en la Figura 5.57, se presenta un resumen de las temperaturas medias mensuales presentadas en la estación Aeropuerto E Cortissoz para el periodo de tiempo registrado.

Tabla 5.44 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Temperatura mensual (°C).

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	26,7	26,7	27,1	27,7	28,2	28,2	28,1	28,1	27,9	27,4	27,5	27,2
Máximos	38,2	37,6	38,3	38,4	39,3	39,8	38,6	38,8	38,4	38,6	38,4	37,2
Mínimos	18,0	20,0	20,0	18,8	20,2	20,5	21,0	20,4	20,0	20,0	19,8	19,5

Fuente; Integral S.A., 2020

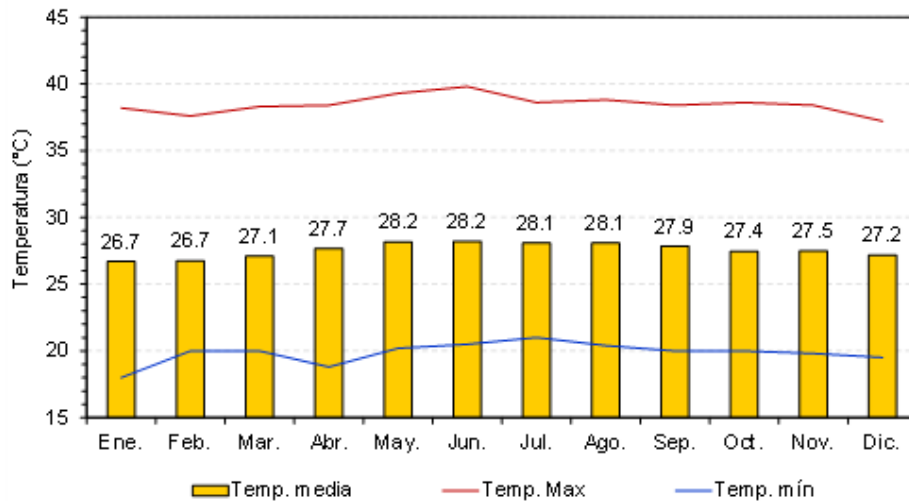


Figura 5.57 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Aeropuerto E Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la Figura 5.57 los valores de temperatura media más altos se presentan entre los meses de mayo y junio, alcanzando un máximo de 28,2 °C; por otro lado, las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de enero y febrero.

La estimación espacial de la temperatura media se realizó a partir de dos metodologías, la primera es la regionalización propuesta por Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998) para la región atlántica utilizando la siguiente expresión (véase Ecuación 5.2):

$$T_{media} = 27,72 - 0,0055H$$

Ecuación 5.2 Ecuación de temperatura para la región atlántica

Donde  $T_{media}$  es la temperatura media y H es la altura sobre el nivel del mar, la cual fue obtenida de un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución de pixel de 30 m.

La segunda metodología consistió en la utilización ecuación de regresión realizada con los datos de promedios climatológicos del IDEAM de estaciones disponibles en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Magdalena y Cesar. En la Figura 5.58 se presenta la regresión obtenida, con un ajuste de  $R^2$  igual a 0,91.

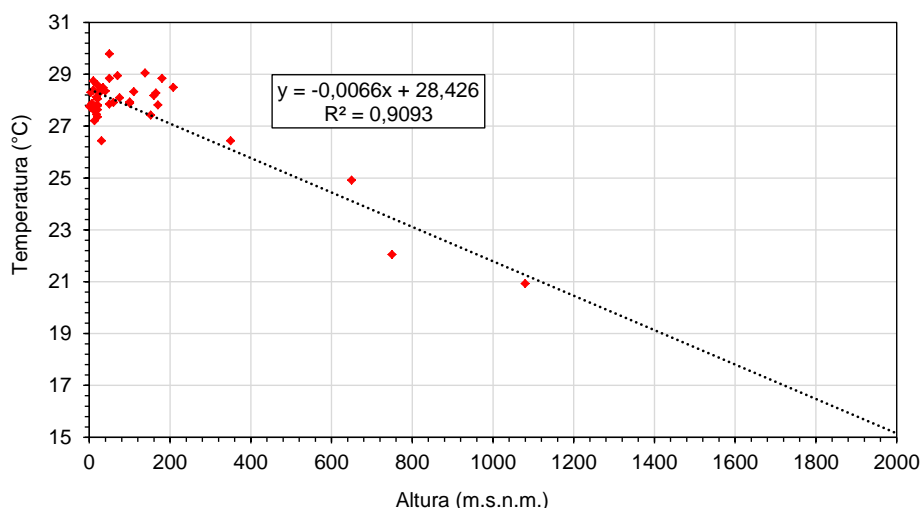


Figura 5.58 Regresión de datos de temperatura media anual de estaciones IDEAM

Fuente: Integral S.A., 2020

Posteriormente se obtuvo el error de cada resultado en relación con los registros de algunas estaciones de referencia cercanas al proyecto y se seleccionó la metodología que presentaba el menor error, especialmente en las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz (véase Tabla 5.45), que corresponde a la metodología de Cenicafé. Finalmente, a partir de la metodología seleccionada se obtuvo la distribución espacial de la temperatura. En la Figura 5.59 se presenta el mapa de esta variable en la zona de estudio.

Tabla 5.45 Comparación de resultados de temperatura media

Código	Nombre	Altura (m)	Tmedia Cenicafé	Tmedia IDEAM	%Error 1	T-EcReg	%Error 2
29045120	Flores Las	4	27,70	27,73	0,12%	28,40	2,4%
29045020	A.E Cortissoz	17	27,63	27,57	0,19%	28,31	2,7%
15015020	Ye La	9	27,67	28,59	3,22%	28,37	0,8%
15015050	Aeropuerto Simón Bolívar	7	27,68	28,30	2,19%	28,38	0,3%
29065020	Padelma	10	27,67	27,78	0,41%	28,36	2,1%
29065030	Prado Sevilla	17	27,63	27,45	0,66%	28,31	3,2%

Fuente; Integral S.A., 2020



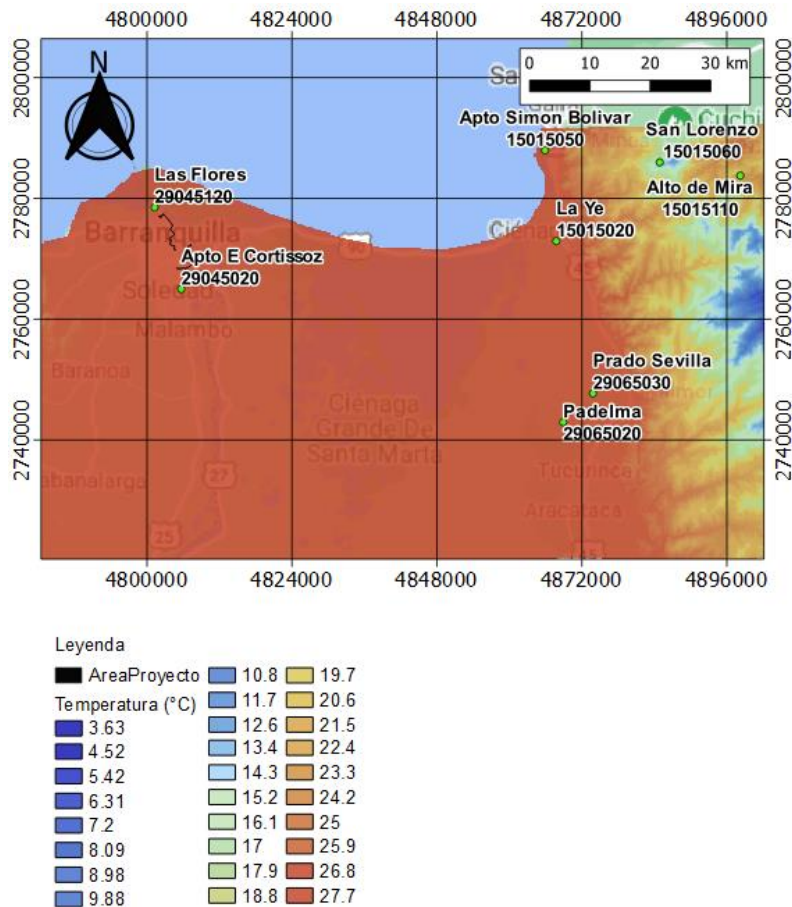


Figura 5.59 Distribución espacial de la temperatura (°C)

Fuente: Integral S.A., 2020

#### D. Evapotranspiración

La evapotranspiración corresponde al conjunto de pérdidas del suelo en vapor de agua de tipo físicas por evaporación y biológicas por transpiración de las plantas. Esta variable depende básicamente de condiciones climáticas que a su vez son función de las características físicas de la atmósfera que se encuentra cerca al suelo y a la vegetación.

La estimación de la Evapotranspiración Real (ETR) requerida para el balance hídrico, se realizó a partir de las metodologías de Turc y Budyko. En relación con la metodología de Budyko, esta se calculó con la Evapotranspiración Potencial (ETP) estimada por el método de Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998).

- Método de Turc

La estimación de la evapotranspiración real por el método de Turc, se realizó haciendo uso de la herramienta “calculadora ráster” del programa QGIS 2.18.14 con el fin de obtener la distribución espacial de esta variable en la zona de estudio. Para ello se consideró el mapa

de precipitaciones (véase Figura 5.52) y el mapa de temperatura media (véase Figura 5.59). En la Figura 5.60 se presenta la evapotranspiración real obtenida por esta metodología.

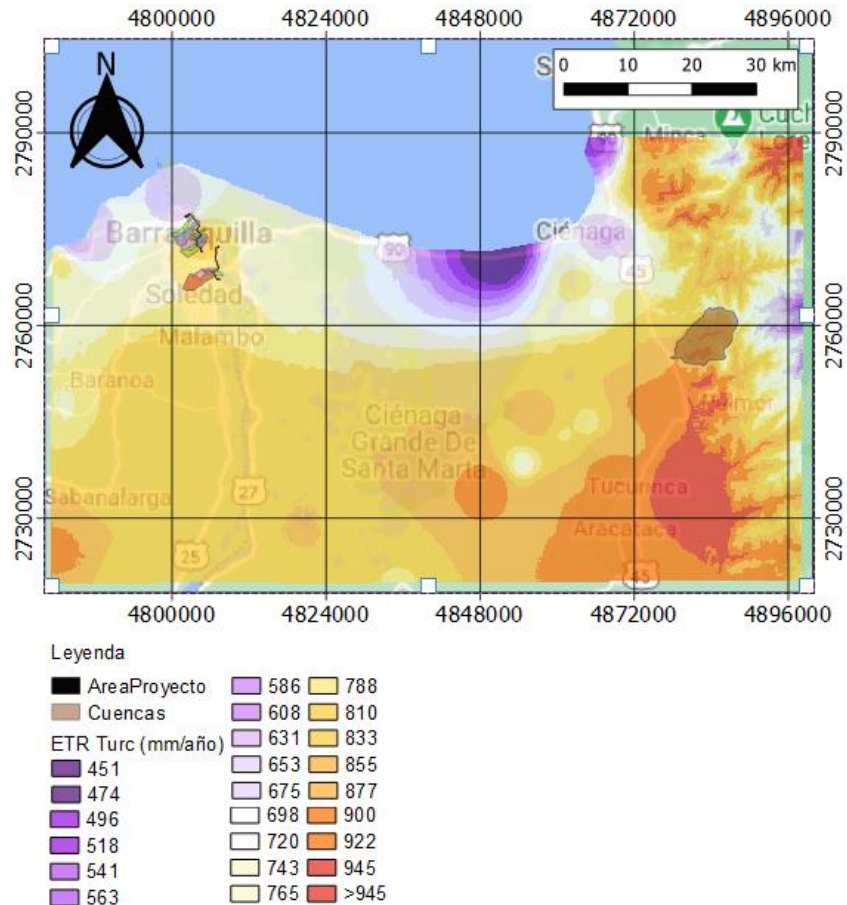


Figura 5.60 Distribución espacial de la ETR por el método de Turc

Fuente: Integral S.A., 2020

- Método de Budyko

El método de Budyko para la estimación de la evapotranspiración real considera en su planteamiento dos variables; la evapotranspiración potencial calculada a partir de la expresión de Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998) y la precipitación media de la cuenca de análisis.

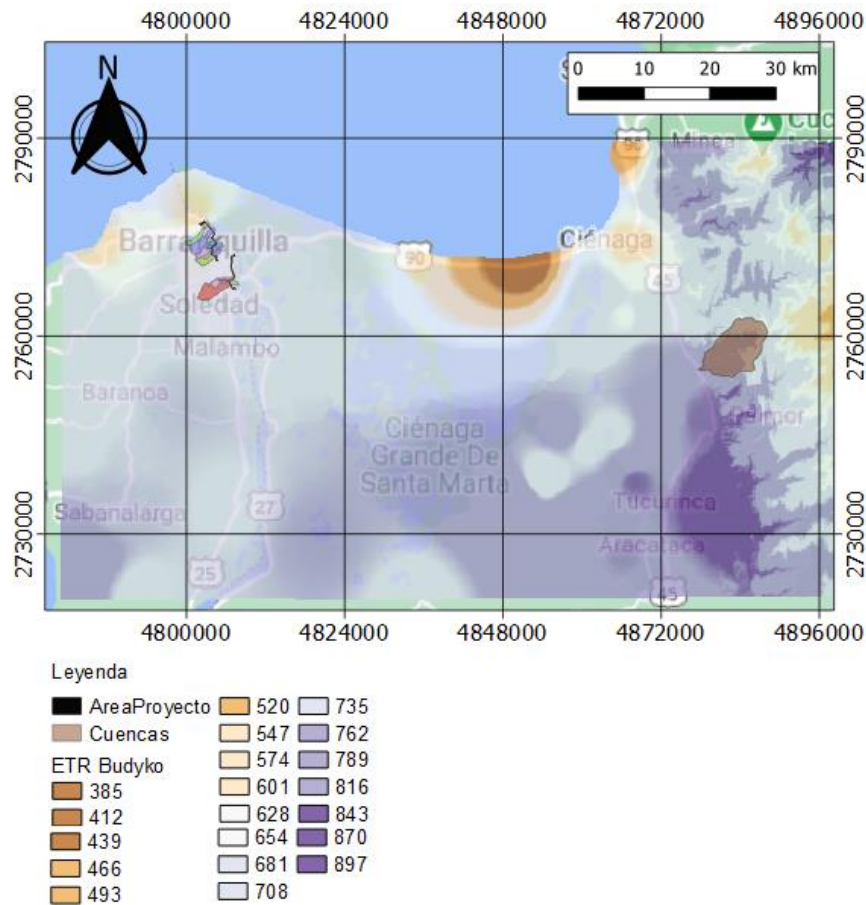


Figura 5.61 Distribución espacial de la ETR por el método de Budyko

Fuente: Integral S.A., 2020

Con el fin de conocer el comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETP) a nivel mensual se utilizó la metodología de Thornthwaite, la cual utiliza como información de entrada la temperatura media anual y mensual de las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz, y las horas de sol de acuerdo con la zona de estudio. En la Tabla 5.46 y Tabla 5.47 se presentan los valores de ETP para las estaciones analizadas, adicionalmente en la Figura 5.62 se presenta el comportamiento mensual de la ETP estimada.

Tabla 5.46 Evapotranspiración Potencial para la estación Las Flores

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
l	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
a	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
ETPSC	136,4	136,6	138,0	140,2	142,1	142,3	141,8	141,8	140,9	139,4	139,6	138,3
n horas de sol	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4
ETP Corr.	135	124	141	143	153	149	153	150	142	142	134	136

Fuente: Integral S.A., 2020

Tabla 5.47 Evapotranspiración Potencial para la estación A.E. Cortissoz

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
l	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
a	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762
ETPSC	136,4	136,0	137,2	139,5	141,9	142,9	142,2	142,4	142,2	141,5	141,3	138,9
n horas de sol	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4
ETP Corr.	135	124	141	142	153	150	153	151	143	144	135	136

Fuente: Integral S.A., 2020

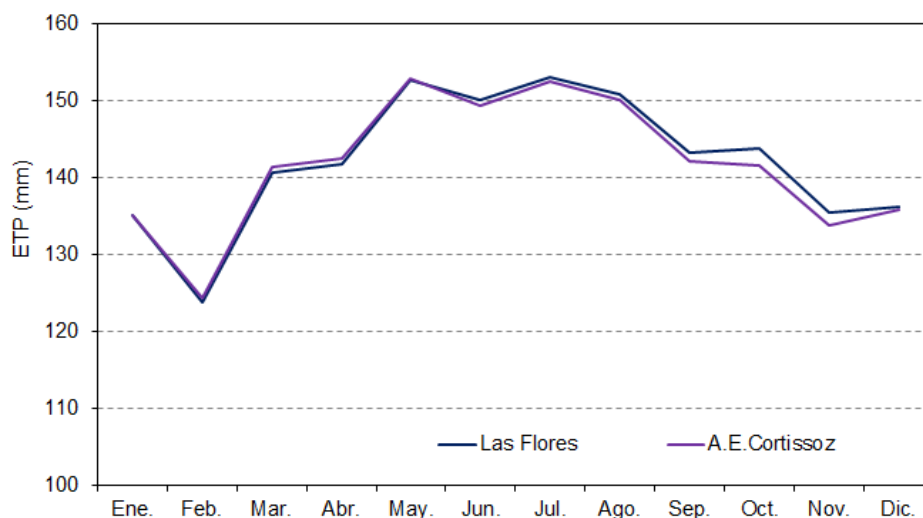


Figura 5.62 Comportamiento mensual de la Evapotranspiración Potencial.

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la figura anterior, los valores más altos de evapotranspiración potencial para las dos estaciones evaluadas se presentan en los meses de mayo y julio, mientras que el menor se presenta en el mes de febrero.

#### E. Resultados de caudales medios multianuales

Con los datos de precipitación media multianual, evapotranspiración y el área de la cuenca de la estación Sta Rosalía se estimó el caudal medio mediante el balance hídrico a largo plazo, los cuales se presentan en la Tabla 5.48. Adicionalmente se presenta el caudal medio estimado con los registros de la estación con el fin de comparar los resultados obtenidos y seleccionar la metodología de evapotranspiración más adecuada.

Tabla 5.48 Caudales medios estimados para la estación Sta Rosalía

Estación	Precip. (mm/año)	P-ETR Budyko	P-ETR Turc	Área (km <sup>2</sup> )	Qmed (m <sup>3</sup> /s)		Qmed (m <sup>3</sup> /s) - Registros	Error - Budyko	Error - Turc
					Budyko	Turc			
Sta Rosalía	1824	1074	991	57,52	1,96	1,81	1,78	10,05%	1,52%

Fuente: Integral S.A., 2020



De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que los valores de caudal según el método de Turc presentan mayor aproximación al caudal histórico de la estación Sta Rosalia, con el menor error (1,52%). Se concluye que los mapas estimados para calcular el balance hídrico de largo plazo representan de manera adecuada la variabilidad de la precipitación en la zona, por ende, se pueden utilizar para calcular los caudales medios de las cuencas de interés del proyecto.

Tabla 5.49 Caudales medios de las cuencas de interés

Nombre de cuenca	Área (m <sup>2</sup> )	P (mm/año)	Balance Hídrico			Rend 10 l/s*km <sup>2</sup>
			P-E Turc	Qmed (m <sup>3</sup> /s)	Qmed (l/s)	Qmed (l/s)
Calle 85	473.431	848	156,29	0,002	2,35	4,73
Siape	2.482.731	989	238,87	0,019	18,81	24,83
Country	5.017.126	1.068	286,04	0,046	45,51	50,17
Coltabaco	1.132.076	1.101	305,80	0,011	10,98	11,32
Carrera 65	3.253.785	1.096	303,63	0,031	31,33	32,54
Felicidad	4.058.851	1.090	299,81	0,039	38,59	40,59
La Chinita	2.750.219	1.050	271,39	0,024	23,67	27,50
Don Juan	7.483.798	1.037	264,35	0,063	62,73	74,84
Coltabaco - 1	778.961	1.102	307,28	0,008	7,59	7,79
Carrera 65 - 1	2.074.833	1.093	302,95	0,020	19,93	20,75
Felicidad - 1	631.603	1.095	303,65	0,006	6,08	6,32
Felicidad - 2	2.361.826	1.085	297,12	0,022	22,25	23,62
La Chinita - 1	1.883.578	1.050	271,45	0,016	16,21	18,84
Don Juan - 1	6.799.381	1.037	264,32	0,057	56,99	67,99

Fuente: Integral S.A., 2020

Finalmente, es importante resaltar que los valores obtenidos para cada una de las cuencas de interés pueden no representar el comportamiento real de las corrientes, ya que como se mencionó en numerales anteriores la mayoría de estas cuencas asociadas a arroyos no presentan un caudal permanente, sino que se caracterizan por presentar caudal solo en épocas de lluvia.

Los caudales medios para las cuencas de interés también fueron estimados tomando como referencia el rendimiento hídrico presentado en el Estudio Nacional del Agua del año 2014, el cual para la región del bajo Magdalena es de 10 l/s – km<sup>2</sup>, esto con el fin de tener valores de referencia que permitan validar los caudales estimados por el balance hídrico. Como se puede observar en la Tabla 5.49 los caudales estimados por las dos metodologías tienen órdenes de magnitud similares.

Por otro lado, teniendo en cuenta que las intervenciones planteadas por el proyecto corresponden con cruces de arroyos y que estos en su mayoría solo presentan caudal en épocas de lluvia, no se consideró la necesidad de generar series de caudales medios diarios y curvas de duración, ya que no serían representativas de las corrientes estudiadas.

En relación con los cruces de las líneas de transmisión con los caños La Ahuyama y Caño Arriba, no se presenta la caracterización de los caudales en estas corrientes ya que estos corresponden a brazos del río Magdalena, por lo cual su caudal se encuentra asociado al nivel del río.

5.1.6.3.3 Régimen hidrológico en la zona del proyecto

Como se mencionó en numerales anteriores, los arroyos caracterizados no cuentan con un caudal permanente sino que su caudal se genera en épocas de lluvia y en el caso de los caños su caudal se encuentra asociado al río Magdalena, por lo cual la caracterización del régimen hidrológico se realizó a partir de las precipitaciones en la zona de estudio y un análisis a nivel mensual de la escorrentía superficial, estimada como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real obtenida por la metodología de Budyko con la evapotranspiración potencial estimada por Thornthwaite.

A continuación, se presenta el régimen mensual de precipitación en la Figura 5.63 y en la Figura 5.64 se presenta el comportamiento mensual de la escorrentía superficial en la zona de estudio.

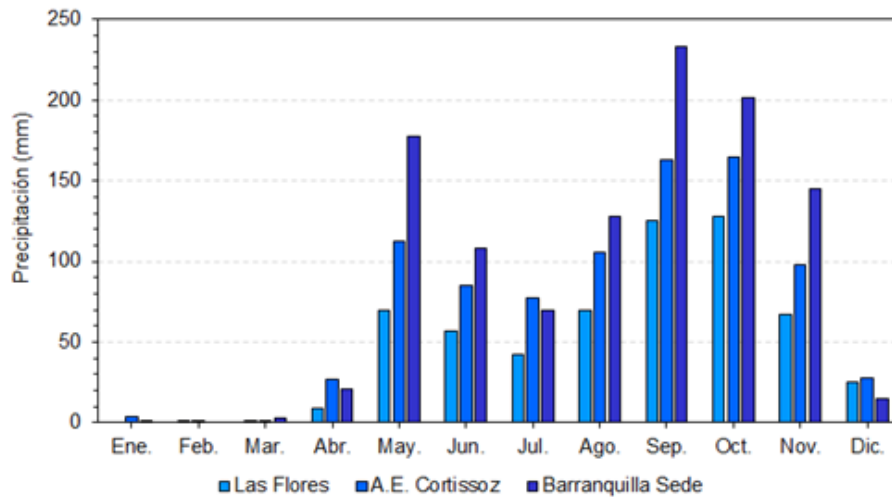


Figura 5.63 Régimen de precipitaciones totales mensuales en la zona de estudio

Fuente: Integral S.A., 2020

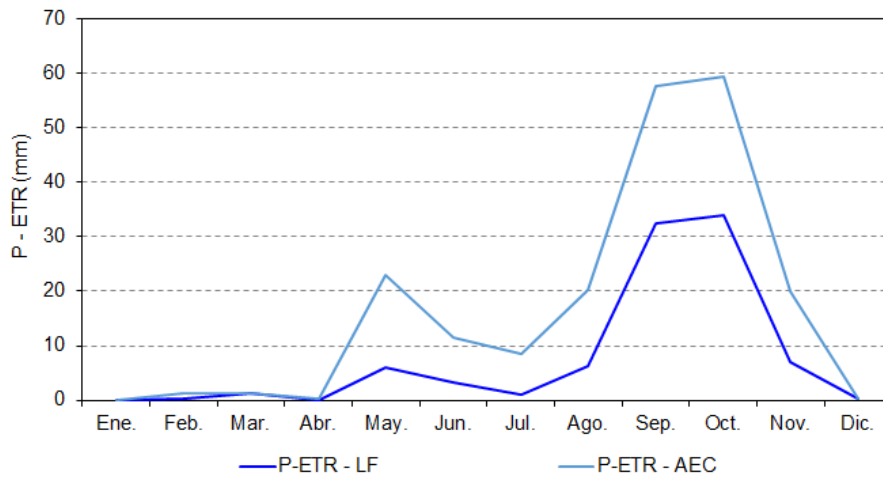


Figura 5.64 Régimen mensual de escorrentía superficial

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se presenta en la Figura 5.64, el régimen hidrológico en la zona de estudio se considera de tipo bimodal, con una temporada seca fuerte seguida por una temporada húmeda poco marcada y un veranillo antes de presentarse la temporada húmeda más fuerte. Los mayores valores de escorrentía superficial se presentan entre los meses de septiembre y octubre, mientras que se evidencia una temporada seca entre los meses de diciembre y abril. De igual forma las precipitaciones en la zona de estudio presentan su pico en los meses de septiembre y octubre con una fuerte disminución a partir del mes de diciembre y hasta el mes de marzo.

#### 5.1.6.3.4 Caudales máximos

En este numeral se presentan los caudales máximos en los sitios de interés asociados a diferentes periodos de retorno. Para evaluar dichos caudales en las cuencas no instrumentadas se emplearon modelos lluvia-escorrentía a partir de la aplicación de hidrogramas sintéticos; estas metodologías dependen de diversos parámetros tales como: la distribución de las precipitaciones máximas a lo largo del área de estudio, la reducción temporal y espacial de las mismas, parámetros morfológicos como el área y la pendiente de la cuenca que determinan el tiempo de concentración, y factores relacionados con la permeabilidad y el tipo de cobertura.

En el Capítulo 2. Generalidades, se presenta la metodología detallada para el análisis de los caudales máximos.

##### A. Coberturas de suelo y pérdidas hidrológicas

Las coberturas de suelos se tomaron del mapa de Coberturas de la tierra periodo 2010 - 2012 del Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC) con una escala 1:100.000.

De acuerdo con esta información se encontraron dos tipos de coberturas en las cuencas de interés, la primera cubre la mayor parte del área y corresponde con tejido urbano continuo y la segunda se encuentra en la parte baja de las cuencas en pequeñas áreas que corresponden con zonas industriales o comerciales.

Para estimar las abstracciones hidrológicas necesarias para aplicar los métodos de hidrogramas unitarios, se utilizó el método propuesto por el U. S. Soil Conservation Service, en el cual las abstracciones (pérdidas) se calculan a partir de la intensidad de la precipitación y del número de curva (NC), que a su vez es función de la cobertura vegetal, de la permeabilidad del terreno y de la humedad antecedente del terreno. En cuanto a la humedad antecedente, se adoptó la condición tipo II, pues se consideró una condición de humedad de suelo media para estudio.

Por lo anterior se determinó un número de curva igual a 98 para todas las cuencas de estudio, ya que son cuencas completamente urbanizadas. Para cuencas menores a 3 km<sup>2</sup> los caudales máximos fueron estimados por el método racional, en el cual las pérdidas hidrológicas están dadas por el coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía se seleccionó de acuerdo con lo reportado por Ven Te Chow; en la Tabla 5.50 se presentan los valores seleccionados para las cuencas de interés.

Tabla 5.50 Coeficientes de escorrentía para las cuencas analizadas por periodo de retorno

<b>TR:2 años</b>	<b>TR:5 años</b>	<b>TR:10 años</b>	<b>TR: 25 años</b>	<b>TR: 50 años</b>	<b>TR:100 años</b>
0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97

Fuente: Integral S.A., 2020

#### B. Tiempos de concentración

La duración de las tormentas de diseño se consideró igual al tiempo de concentración de la cuenca, la cual fue calculada como el promedio de los valores obtenidos mediante expresiones propuestas por diferentes autores como Kirpich, Ventura Heras, Giandotti, USCE, Bransby y Ven Te Chow, todas ellas de uso común en la literatura técnica. En la Tabla 5.51 se presentan los resultados obtenidos por los diferentes métodos mencionados anteriormente.

Tabla 5.51 Tiempos de concentración para las cuencas de interés

Nombre cuenca	Tiempo de Concentración (min)									
	Kirpich	Ventura	Giandotti	U.S.C.E.	Bransby	Chow	Prom. Abs.	Valor asumido (min)	Valor asumido (horas)	Velocidad de viaje (m/s)
Calle 85	22,4	48,6	62,9	34,5	49,3	52,3	45,0	45	0,75	0,55
Siape	58,4	124,3	93,4	89,5	146,7	115,9	104,7	105	1,75	0,83
Country	55,6	119,1	109,4	85,7	129,4	111,2	101,7	100	1,67	0,83
Coltabaco	44,4	90,1	88,9	64,6	101,7	92,5	80,4	80	1,33	0,66
Carrera 65	69,9	138,9	118,7	100,1	162,6	134,8	120,8	120	2,00	0,77
Felicidad	75,7	148,1	129,9	106,9	172,7	144,1	129,6	130	2,17	0,76
La Chinita	89,0	152,1	168,1	109,7	179,5	165,0	143,9	145	2,42	0,59
Don Juan	102,7	184,4	186,6	133,4	213,0	185,8	167,7	170	2,83	0,70
Coltabaco - 1	28,7	61,5	71,6	43,9	64,3	64,2	55,7	55	0,92	0,61
Carrera 65 - 1	44,1	91,3	97,8	65,4	98,0	91,8	81,4	80	1,33	0,69
Felicidad - 1	25,1	54,7	65,7	39,0	56,4	57,4	49,7	50	0,83	0,58
Felicidad - 2	48,1	98,5	103,4	70,7	106,8	98,7	87,7	90	1,50	0,67
La Chinita - 1	63,4	114,6	133,9	82,4	129,5	124,3	108,0	110	1,83	0,57
Don Juan - 1	80,7	150,8	166,9	108,8	166,0	151,9	137,5	140	2,33	0,68

Fuente: Integral S.A., 2020

### C. Intensidades de lluvia y precipitación de diseño

Para las cuencas de interés se determinaron dos focos de lluvia, las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz. De estas se obtuvieron los registros de precipitaciones máximas diarias y se realizó el análisis de frecuencia para obtener las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno (véase Tabla 5.52).

Se hizo un ajuste probabilístico a partir de funciones de distribución de probabilidad Normal, Gumbel, Pearson, Log Gumbel y Log Normal. A partir del análisis de las series se seleccionó la función de distribución Gumbel como la de mejor ajuste para las estaciones mencionadas (véase Figura 5.65)

Tabla 5.52 Precipitación máxima en 24 horas por periodo de retorno

Nombre de Estación	Precipitación máxima diaria (mm) por periodo de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Las Flores	87	116	135	159	176	194
A.E. Cortissoz	78	98	112	129	141	154

Fuente: Integral S.A., 2020



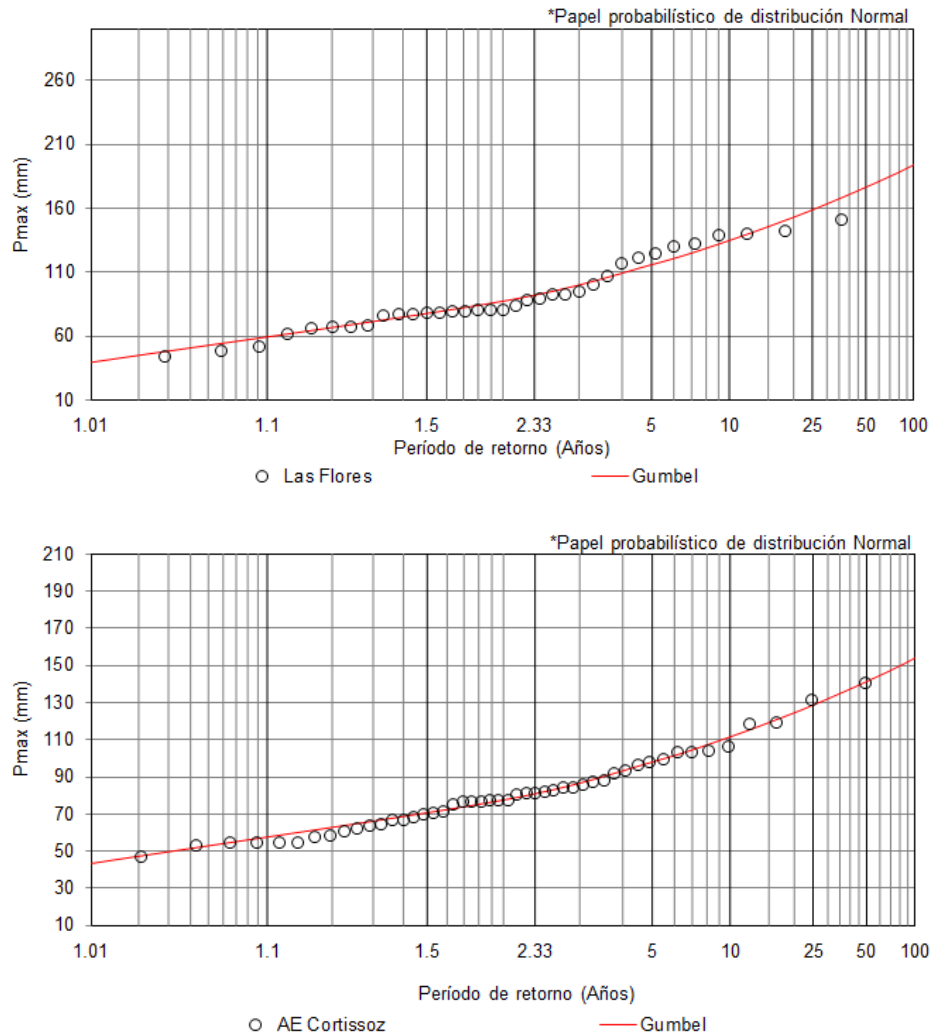


Figura 5.65 Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24h para las estaciones Las Flores y A.E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

Posteriormente, aplicando factores de reducción temporal y espacial, y haciendo uso del tiempo de concentración de cada cuenca se estimaron las intensidades de precipitación presentadas en la Tabla 5.53, la influencia de las estaciones en las cuencas analizadas se determinó a partir de polígonos de Thiessen.

**Tabla 5.53 Intensidades de lluvia para las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Intensidad (mm/hora)							
	Foco*	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	LF	64	85	98	116	129	142	171
Siape	LF	34	46	53	63	70	77	93
Country	LF	36	47	55	65	72	80	96
Coltabaco	LF	42	56	65	77	85	94	114
Carrera 65	LF	31	41	48	57	63	69	84
Felicidad	LF - 71% AEC - 29%	28	37	43	50	56	61	74
La Chinita	AEC	24	30	34	40	44	48	57
Don Juan	AEC	21	27	30	35	39	42	50
Coltabaco - 1	LF	55	73	85	101	112	123	149
Carrera 65 - 1	LF	42	56	65	77	85	94	114
Felicidad - 1	LF	59	79	91	108	120	132	159
Felicidad - 2	LF - 50% AEC - 50%	28	36	41	48	53	58	70
La Chinita - 1	AEC	30	37	43	49	54	59	70
Don Juan - 1	AEC	25	31	35	41	45	49	58

Fuente: Integral S.A., 2020

Las precipitaciones de diseño fueron estimadas a partir de las intensidades y el tiempo de concentración obtenido para cada cuenca (véase Tabla 5.54).

**Tabla 5.54 Precipitaciones de diseño en las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Precipitación total de diseño (mm)						
	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	48	63	74	87	97	106	128
Siape	60	80	93	110	122	134	162
Country	60	79	92	108	121	133	160
Coltabaco	56	75	87	102	114	125	151
Carrera 65	62	83	96	113	126	139	168
Felicidad	61	81	93	109	121	133	160
La Chinita	58	73	83	96	106	115	137
Don Juan	60	76	86	100	109	119	142
Coltabaco - 1	51	67	78	92	103	113	136
Carrera 65 - 1	56	75	87	102	114	125	151
Felicidad - 1	49	65	76	90	100	110	133
Felicidad - 2	42	54	62	72	80	88	105
La Chinita - 1	54	69	78	90	99	108	128
Don Juan - 1	57	73	83	95	105	114	136

Fuente: Integral S.A., 2020

**D. Cálculo de caudales máximos por métodos lluvia escorrentía**

Los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en las cuencas de interés fueron estimados con modelos lluvia-escorrentía, a partir de la utilización del método racional y de los hidrogramas unitarios del Soil Conservation Service (SCS) y Williams y Hann.

En la Tabla 5.55, la Tabla 5.56 y la Tabla 5.57 se presentan los resultados obtenidos por cada metodología para las cuencas de interés.

**Tabla 5.55 Caudales máximos estimados por el método racional en las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Caudal por el método racional (m³/s)						
	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	6	9	11	13	16	18	23
Siape	18	25	30	38	44	51	64
Country	37	53	64	80	93	108	134
Coltabaco	10	14	17	21	25	29	36
Carrera 65	21	30	36	45	52	61	76
Felicidad	24	34	40	50	58	67	83
La Chinita	14	19	22	27	31	35	43
Don Juan	33	45	53	64	74	85	104
Coltabaco - 1	9	13	15	19	22	26	32
Carrera 65 - 1	18	26	31	39	45	52	65
Felicidad - 1	8	11	13	17	19	22	28
Felicidad - 2	14	19	23	28	32	37	46
La Chinita - 1	12	16	18	23	26	30	37
Don Juan - 1	35	47	56	68	78	90	110

Fuente: Integral S.A., 2020

**Tabla 5.56 Caudales máximos estimados por el método SCS en las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Caudal por el método del SCS (m3/s)						
	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	7	10	12	14	16	17	21
Siape	21	29	34	40	45	49	60
Country	44	60	70	84	93	103	125
Coltabaco	12	16	19	22	25	27	33
Carrera 65	25	34	40	47	53	58	71
Felicidad	29	38	45	53	58	64	78
La Chinita	16	21	24	28	31	34	40
Don Juan	39	50	58	67	74	81	97
Coltabaco - 1	11	14	17	20	22	25	30
Carrera 65 - 1	22	29	34	41	46	50	61
Felicidad - 1	9	12	15	17	19	21	26
Felicidad - 2	16	21	24	29	32	35	43
La Chinita - 1	14	18	20	24	26	28	34
Don Juan - 1	41	53	61	71	78	85	102

Fuente: Integral S.A., 2020

**Tabla 5.57 Caudales máximos estimados por el método W&H en las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Caudal por el método de W&H (m3/s)						
	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	5	7	8	10	11	12	15
Siape	20	27	32	38	43	47	57
Country	39	53	63	74	83	92	111
Coltabaco	9	12	15	17	19	21	26
Carrera 65	21	29	34	40	45	49	60
Felicidad	24	32	37	44	48	53	65
La Chinita	10	13	15	17	19	21	25
Don Juan	29	37	42	49	54	59	71
Coltabaco - 1	8	11	13	15	17	19	23
Carrera 65 - 1	17	23	27	32	35	39	48
Felicidad - 1	7	9	11	13	15	16	20
Felicidad - 2	13	17	20	23	26	28	34
La Chinita - 1	9	11	13	15	17	18	22
Don Juan - 1	30	39	45	52	57	63	75

Fuente: Integral S.A., 2020

Es importante aclarar que los caudales máximos para las cuencas mayores a 3 km<sup>2</sup> se calcularon como el promedio de los resultados obtenidos por los hidrogramas unitarios del SCS y W&H, mientras que para las cuencas menores se tomó el caudal obtenido por el método racional. En la Tabla 5.58 se presentan los resultados obtenidos para cada periodo de retorno.

**Tabla 5.58 Caudales máximos estimados para las cuencas de interés**

Nombre de cuenca	Caudales máximos seleccionados (m3/s)						
	2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	6	9	11	13	16	18	23
Siape	18	25	30	38	44	51	64
Country	42	57	66	79	88	97	118
Coltabaco	10	14	17	21	25	29	36
Carrera 65	23	31	37	44	49	54	65
Felicidad	26	35	41	48	53	59	71
La Chinita	14	19	22	27	31	35	43
Don Juan	34	44	50	58	64	70	84
Coltabaco - 1	9	13	15	19	22	26	32
Carrera 65 - 1	18	26	31	39	45	52	65
Felicidad - 1	8	11	13	17	19	22	28
Felicidad - 2	14	19	23	28	32	37	46
La Chinita - 1	12	16	18	23	26	30	37
Don Juan - 1	36	46	53	61	68	74	89

Fuente: Integral S.A., 2020

Los caudales máximos obtenidos fueron comparados con la información secundaria disponible, para este caso con los caudales presentados en el Documento 2.1 Diagnóstico - Estudio Hidrológico y de Peligrosidad de los arroyos que hace parte del Proyecto de inversión del sistema de drenaje de Barranquilla proporcionado por la Agencia Distrital de

Infraestructura (ADI). En la Tabla 5.59 se presenta la comparación de los caudales máximos obtenidos y los presentados en el estudio mencionado.

Tabla 5.59 Comparación de caudales máximos

Nombre de cuenca	Estudio	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)				
		5	10	25	50	100
Calle 85	UPME STR 02 – 2019	9,0	11,0	13,0	16,0	18,0
	Diagnostico ADI*	9,4	11,8	14,9	17,2	19,5
Siape	UPME STR 02 – 2019	25,0	30,0	38,0	44,0	51,0
	Diagnostico ADI*	21,7	26,8	33,4	38,4	23,4
Country	UPME STR 02 – 2019	57,0	66,0	79,0	88,0	97,0
	Diagnostico ADI*	51,0	63,6	79,9	92,2	104,6
Coltabaco	UPME STR 02 – 2019	14,0	17,0	21,0	25,0	29,0
	Diagnostico ADI*	13,1	16,3	20,5	23,8	27,0
Carrera 65	UPME STR 02 – 2019	31,0	37,0	44,0	49,0	54,0
	Diagnostico ADI*	30,5	37,5	46,4	53,1	59,8
Felicidad	UPME STR 02 – 2019	35,0	41,0	48,0	53,0	59,0
	Diagnostico ADI*	33,1	40,5	50,0	57,0	64,1
La Chinita	UPME STR 02 – 2019	19,0	22,0	27,0	31,0	35,0
	Diagnostico ADI*	17,6	21,7	26,9	30,9	34,9
Don Juan	UPME STR 02 – 2019	44,0	50,0	58,0	64,0	70,0
	Diagnostico ADI*	52,7	63,9	78,2	88,9	99,6

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se observa en la tabla anterior, en general los caudales estimados en el presente estudio son de órdenes de magnitud similares a los presentados en el estudio proporcionado por la ADI, exceptuando los resultados obtenidos en la cuenca del arroyo Don Juan en las que se presentan unas diferencias mayores.

Como se mencionó en el numeral anterior, los caños en los cuales se proyectan cruces con las líneas de transmisión son brazos del río Magdalena por lo cual sus niveles máximos dependerán de los niveles máximos del río. De acuerdo con la información presentada en el POT del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla en el mapa de amenaza, la zona donde se encuentra el cruce sobre el caño Arriba presenta un nivel de amenaza asociado a inundación generada por el río Magdalena entre 0 y 1,5 m de profundidad, mientras que para el cruce sobre el caño La Ahuyama en la confluencia con el arroyo La Chinita el nivel de amenaza se asocia a una profundidad de inundación entre 1,5 y 3 m.

#### 5.1.6.3.5 Caudales mínimos

Considerando que las cuencas de interés no se encuentran instrumentalizadas, se emplearon métodos de regionalización para la estimación de caudales mínimos en cuencas con poca o ninguna información, para este proyecto se utilizó la regionalización de caudales mínimos definida para la región Bajo Magdalena en el Atlas Hidrológico de Colombia elaborado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Universidad Nacional de Colombia. En la Tabla 5.60 se presentan los caudales mínimos para los diferentes periodos de retorno estimados en las cuencas de interés.



Tabla 5.60 Caudales mínimos para las cuencas de interés

Nombre cuenca	Qmed (m³/s)	Media	Desv	Qmin (m³/s)						
				2	5	10	25	50	100	500
Calle 85	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Siape	0,019	0,009	0,002	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004
Country	0,046	0,021	0,006	0,020	0,016	0,015	0,013	0,012	0,012	0,010
Coltabaco	0,011	0,005	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002
Carrera 65	0,031	0,014	0,004	0,014	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008	0,007
Felicidad	0,039	0,018	0,005	0,017	0,014	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009
La Chinita	0,024	0,011	0,003	0,010	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005
Don Juan	0,063	0,028	0,008	0,027	0,022	0,020	0,018	0,017	0,016	0,014
Coltabaco - 1	0,008	0,003	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Carrera 65 - 1	0,020	0,009	0,002	0,009	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004
Felicidad - 1	0,006	0,003	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
Felicidad - 2	0,022	0,010	0,003	0,010	0,008	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005
La Chinita - 1	0,016	0,007	0,002	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
Don Juan - 1	0,057	0,026	0,007	0,025	0,020	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013

Fuente: Integral S.A., 2020

Respecto a los caudales mínimos en los caños La Ahuyama y Caño Arriba, cabe resaltar que estos se alimentan del río Magdalena, por lo cual los niveles mínimos presentados están asociados a los niveles mínimos del río.

#### 5.1.6.4 Indicadores hidrológicos

Para dar cumplimiento a lo solicitado en los términos de referencia se estimaron los índices de aridez, retención y regulación hídrica, uso de agua y vulnerabilidad hídrica para las cuencas de interés.

##### 5.1.6.4.1 Índice de aridez

El índice de aridez (IA) indica el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, y su valor varía entre 0 y 1. Los valores altos de este índice representan un mayor déficit de precipitación. De acuerdo con la metodología para la Evaluación Regional del Agua (ERA), el IA se estima de la siguiente forma (véase Ecuación 5.3):

$$Ia = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Ecuación 5.3 Índice de aridez

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

En la Tabla 5.61 se presentan la clasificación definida para diferentes rangos del Índice de Aridez y en la Tabla 5.62 se presentan los resultados obtenidos para la zona del proyecto. Los valores de Evapotranspiración Real corresponden a los estimados por el método de Turc para cada cuenca, y el valor de Evapotranspiración Potencial corresponde al estimado por el método de Thornthwaite obtenido con el promedio de las temperaturas en las estaciones Las Flores y A.E.Cortissoz.

Tabla 5.61 Clasificación del índice de aridez

Rango IA	Clasificación
Menor a 0,15	Altos excedentes de agua
0,15 - 0,19	Excedentes de agua
0,20 - 0,29	Moderado a excedentes de agua
0,30 - 0,39	Moderado
0,40 - 0,49	Moderado a deficitario de agua
0,50 - 0,59	Deficitario de agua
Mayor a 0,60	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM, 2013.

Tabla 5.62 Índice de aridez en la zona de estudio

ETP - Thornthwaite	ETP Turc	Ia	Clasificación
1704	776	0,54	Deficitario de agua

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se presenta en la Tabla 5.62, para la zona de estudio se obtuvo un índice de aridez de 0,54 que se encuentra en el rango de clasificación Deficitario de agua, resultado que coincide con la clasificación presentada para la zona de estudio en el mapa del Índice de Aridez generado por el IDEAM para toda Colombia.

#### 5.1.6.4.2 Índice de retención y regulación hídrica

El índice de retención y regulación hídrica (IRH) tiene como objetivo estimar la capacidad de una cuenca para mantener los regímenes de caudales, a partir de su capacidad de retención de humedad. Dado que este índice se estima como la relación entre volúmenes del área bajo la curva de duración de caudales diarios y no se cuenta con información para realizar este cálculo, se recurrió al mapa del Índice de retención y regulación hídrica de Colombia elaborado por el IDEAM en el año 2010 (véase Figura 5.66).

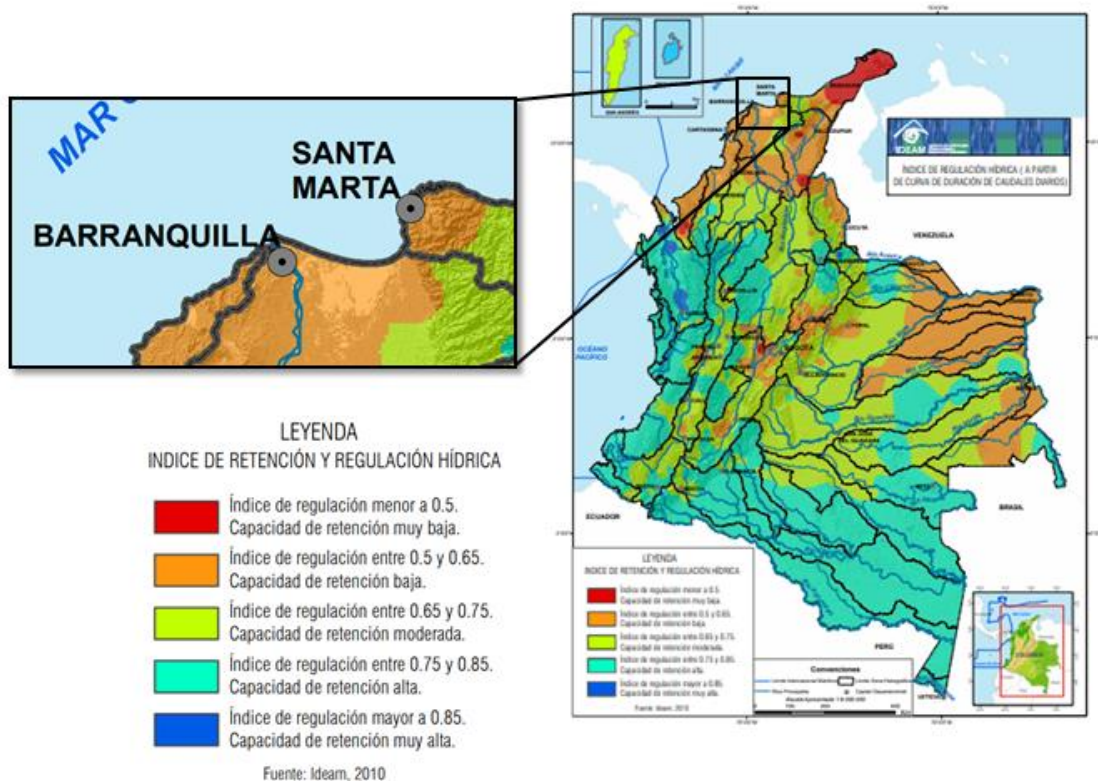


Figura 5.66 Índice de retención y regulación hídrica

Fuente: Modificado de IDEAM 2010

De acuerdo con los valores del índice presentados en el mapa anterior se concluye que las cuencas evaluadas tienen una capacidad de retención y regulación hídrica entre 0,5 y 0,65 que corresponde a una capacidad de retención baja.

### 5.1.7 Calidad del agua

El área de intervención del Proyecto presenta intersección con algunos drenajes naturales y otros canalizados como ríos, arroyos, canales o vías canales. Es de anotar que, el Proyecto no contempla solicitud de concesión, vertimientos y/u ocupaciones de cauces de ningún cuerpo de agua durante ninguna de sus actividades, puesto que los cruces se proyectan con una profundidad mínima de 3 m por debajo de los canales o lechos naturales de las corrientes y se realizarán con perforación horizontal dirigida y el agua requerida se comprará a través de terceros autorizados, de igual manera no se generarán aguas residuales ni industriales ni domésticas, por lo tanto, los monitoreos de la calidad del agua en el área de intervención del Proyecto, se realizaron únicamente con el fin de contar con un referente de los parámetros indicadores de la calidad del agua actual en la zona de estudio.

Dado el anterior contexto, es de mencionar que, la toma de muestras la llevó a cabo el laboratorio MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S, los días 09, 10, 11 y 14 de noviembre de 2020 en temporada de lluvias; los drenajes monitoreados se relacionan en la Tabla 5.63., es de anotar que, los resultados y análisis en detalle, se pueden apreciar en 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_11\_INFORME LAB\_AGUA.

Tabla 5.63 Puntos de monitoreo de calidad del agua

Nombre del drenaje	Punto		Coordenadas magna sirgas	
			X	Y
Vía canal Calle 85	FO1 aguas arriba	P1	4802724,01	2777203,28
	FO1 aguas abajo	P2	4802908,22	2777356,68
Vía canal San Salvador - Siape	FO2 aguas arriba	P3	4803144,57	2776675,77
	FO2 aguas abajo	P4	4803284,48	2776897,95
Vía canal Coltabaco	FO3 aguas arriba	P5	4803712,18	2776008,89
	FO3 aguas abajo	P6	4803885,40	2776161,13
Arroyo La Chinita	MU1 aguas arriba	P17	4805975,29	2768441,28
	MU1 aguas abajo	P18	4806064,07	2768601,97
Arroyo La Chinita	MR1 aguas arriba	P15	4806895,42	2768819,52
	MR1 aguas abajo	P16	4806734,33	2768731,39
Caño La Ahuyama	MR2 aguas arriba	P13	4807122,02	2769056,24
	MR2 aguas abajo	P14	4807195,87	2768865,06
Caño Arriba	MR3 aguas arriba	P11	4806634,42	2771613,17
	MR3 aguas abajo	P12	4806826,39	2771640,92

Fuente: Integral S.A., 2020



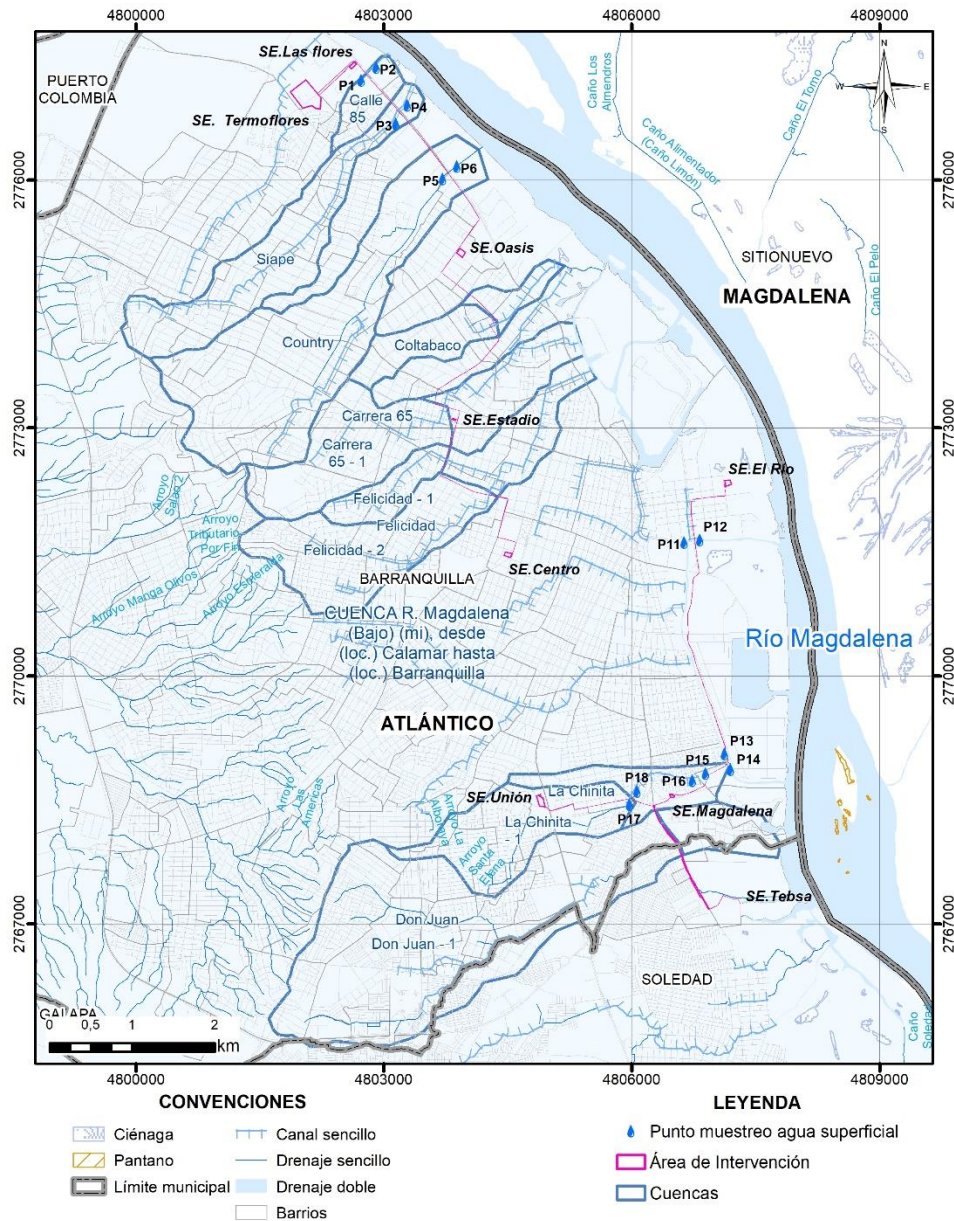


Figura 5.67 Localización de los puntos de monitoreo de calidad del agua



Fuente: Integral S.A., 2020

**5.1.7.1 Descripción de los puntos monitoreados**

A continuación, desde la Tabla 5.64 a la Tabla 5.70 se describen cada uno de los puntos monitoreados al momento de la toma de la muestra.





Tabla 5.64 Descripción del punto FO1

<b>NOMBRE</b>	FO1	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4802724,01	Y 2777203,28
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4802908,22	Y 2777356,68
<b>FECHA</b>	10/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Soleado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto evaluado tanto aguas arriba como aguas abajo, se encontró seco al momento del monitoreo, el sitio se encuentra canalizado, en suelo urbano, la vegetación riparia se encontró totalmente ausente.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.8 FO1 – Aguas arriba		Fotografía 5.9 FO1 – Aguas abajo		



Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.65 Descripción del punto FO2

<b>NOMBRE</b>	FO2	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4803144,57	Y 2776675,77
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4803284,48	Y 2776897,95
<b>FECHA</b>	10/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Soleado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, con corriente moderada y nivel de agua bajo, el cual fluye por un canal recto con canalización, el agua se presenta clara, el lecho se presenta con erosión moderada, la vegetación riparia se encuentra totalmente ausente, sin embargo, tanto aguas arriba como aguas abajo se presenta mucho musgo. El suelo es urbano y se presentan impactos sobre la corriente por descargas, se presentaron basuras alrededor del punto. No se evidencian olores ofensivos, películas de aceite ni material flotante en el cuerpo de agua.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.10 FO2 – Aguas arriba		Fotografía 5.11 FO2 – Aguas abajo		



Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.66 Descripción del punto FO3

<b>NOMBRE</b>	FO3	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4803712,18	Y 2776008,89
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4803885,40	Y 2776161,13
<b>FECHA</b>	11/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Soleado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, con corriente moderada y nivel de agua bajo, el cual fluye por un canal recto con canalización, el agua se presenta clara, el lecho se presenta con erosión moderada, se presenta arenas en las riveras del punto; la vegetación riparia se encuentra totalmente ausente. El suelo es urbano y no se presentan impactos sobre la corriente. No se evidencian olores ofensivos, películas de aceite ni material flotante en el cuerpo de agua.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.12 FO3 – Aguas arriba		Fotografía 5.13 FO3 – Aguas abajo		



Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.67 Descripción del punto MU1

<b>NOMBRE</b>	MU1	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4805975,29	Y 2768441,28
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4806064,07	Y 2768601,97
<b>FECHA</b>	09/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Soleado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, que al momento del monitoreo presenta una corriente moderada con nivel de agua bajo, el cual fluye por un canal recto con canalización, el agua se presenta turbia, el lecho se presenta con deposición moderada, el cual está compuesto de arena, no se presenta vegetación riparia en el punto de monitoreo. El uso del suelo es urbano, con impactos sobre la corriente por descargas. Se presentan olores debido a las basuras presentadas en el cuerpo de agua, no se presentan películas de aceite, sin embargo, sí se presenta material flotante.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.14 MU1 – Aguas arriba		Fotografía 5.15 MU1 – Aguas abajo		


Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.68 Descripción del punto MR1

<b>NOMBRE</b>	MR1	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4806895,42	Y 2768819,52
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4806734,33	Y 2768731,39
<b>FECHA</b>	14/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Nublado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, con rápidos aguas arriba y corriente aguas abajo, nivel de agua alto el cual fluye por un canal recto, el lecho aguas abajo se presenta con deposición moderada, el cual se compone de limo/arcilla, arena y vegetación alóctona, se presentó arena aguas arriba del punto de monitoreo; la vegetación riparia aguas abajo se compone de gramíneas y hierbas, la cual presenta un grado de perturbación alto, aguas arriba no se presentó vegetación riparia. El suelo es urbano con impactos sobre la corriente por descargas tanto aguas arriba como aguas abajo. Se evidencian olores aguas abajo del punto de monitoreo debido a las descargas presentadas, también se evidencia material flotante, sin embargo, para aguas arriba, no se presentan olores ofensivos, películas de aceite ni material flotante. El alto flujo aguas arriba del punto de monitoreo se debe a las lluvias que se presentaron 48h antes del monitoreo.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.16 MR1 – Aguas arriba		Fotografía 5.17 MR1 – Aguas abajo		



Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.69 Descripción del punto MR2

<b>NOMBRE</b>	MR2	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4807122,02	Y 2769056,24
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4807195,87	Y 2768865,06
<b>FECHA</b>	14/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Nublado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, con corriente moderada y nivel de agua alto el cual fluye por un canal recto, el agua se presentó levemente turbia, el lecho se presenta con deposición moderada, está compuesto de limo/arcilla y vegetación alóctona, se presentó arena aguas arriba del punto de monitoreo; la vegetación riparia se compone principalmente por gramíneas, la cual presenta un grado de perturbación alto y moderado. Suelo urbano con impactos sobre la corriente por descargas. Se percibe olor debido a basuras aguas arriba y abajo, no hay películas de aceite, pero se evidencia material flotante. Aguas abajo se presenta gran crecimiento de pastos y buchones.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.18 MR2 – Aguas arriba		Fotografía 5.19 MR2 – Aguas abajo		

Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.70 Descripción del punto MR3

<b>NOMBRE</b>	MR3	<b>COORDENADAS PLANAS (Origen: Magna Sirgas)</b>	<b>AGUAS ARRIBA</b>	X 4806634,42	Y 2771613,17
			<b>AGUAS ABAJO</b>	X 4806826,39	Y 2771640,92
<b>FECHA</b>	14/11/2020	<b>ESTADO DEL CLIMA AL MOMENTO DEL MUESTREO</b>		Nublado	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El punto de monitoreo se ubica en un cuerpo hídrico lótico, con corriente y nivel de agua alto el cual fluye por un canal recto, el agua se presenta levemente turbia, el lecho se presenta con deposición moderada, el cual se compone de arena, se presentó vegetación alóctona aguas abajo del punto de monitoreo; la vegetación riparia se compone principalmente por gramíneas, la cual presenta un grado de perturbación moderado. El suelo es urbano con impactos sobre la corriente por descargas. Se perciben olores debido a las basuras, no hay películas de aceite, sin embargo, sí se evidencia material flotante.				
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
	Fotografía 5.20 MR3 – Aguas arriba		Fotografía 5.21 MR3 – Aguas abajo		

Fuente: adaptado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

**5.1.7.2 Resultados de aforo de caudal**

Teniendo en cuenta lo dispuesto en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17, acerca de realizar y presentar datos del aforo de caudal con sección mojada, medición de caudal, velocidades, ancho superficial, área mojada, perímetro mojado, velocidad media, profundidad media, velocidad máxima y el caudal, a continuación en la se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los puntos monitoreados. Cabe resaltar que los puntos aguas arriba y aguas abajo del punto FO1 se encontraron secos al momento del monitoreo, además en el punto MR1 aguas arriba, no fue posible la medición del caudal debido a las características del cuerpo de agua (véase (3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_11\_INFORME LAB\_AGUA)).

Tabla 5.71 Puntos de monitoreo de calidad del agua

Nombre del drenaje	Punto	Área de la sección (m <sup>2</sup> )	Ancho de la sección (m)	Profundidad (m)		Velocidad promedio (m/s)	Caudal (LPS)
				Promedio	Máxima		
Vía canal El Country	FO2 aguas arriba	0,164	6,5	0,0250	0,040	0,027	5,1
	FO2 aguas abajo	0,019	1	0,0175	0,030	0,038	0,9
Vía canal Coltabaco	FO3 aguas arriba	0,072	3	0,0240	0,040	0,050	4,1
	FO3 aguas abajo	0,019	1	0,0175	0,030	0,038	0,9
Arroyo La Chinita	MU1 aguas arriba	0,064	2	0,0320	0,060	0,044	3,4
	MU1 aguas abajo	0,065	2	0,0325	0,050	0,078	5,7
Río Magdalena	MR1 aguas abajo	18,624	16	1,164	2,000	0,110	2355,6
Río Magdalena	MR2 aguas arriba	22,36	16	1,5920	2,800	0,131	3978
	MR2 aguas abajo	33,86	16,5	2,052	3,000	0,168	6402,3
Río Magdalena	MR3 aguas arriba	42,48	24	2,013	3,500	0,115	6520,7
	MR3 aguas abajo	34,41	18	2,100	3,500	0,177	6858,5

Fuente: a partir de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020, Integral S.A., 2020

### 5.1.7.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

A continuación, en la Tabla 5.72 y en la Tabla 5.73 se presentan los resultados de todos y cada uno de los puntos analizados y su respectiva comparación con los niveles máximos permisibles del recurso hídrico, de acuerdo con el uso para consumo humano y/o doméstico (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) y uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), estipulados en el Decreto 1076 de 2015, la información en detalle se puede apreciar en 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_11\_INFORME LAB\_AGUA.



**Tabla 5.72 Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos analizados – parte 1**

PARAMETROS	UNIDADES	MU1 - AGUAS ARRIBA	MU1 - AGUAS ABAJO	F02 - AGUAS ARRIBA	F02 - AGUAS ABAJO	F03 - AGUAS ARRIBA	F03 - AGUAS ABAJO	LIMITES PERMISIBLES DECRETO 1076 DEL 2015 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE		
		MCS 21230	MCS 21229	MCS 21279	MCS 21278	MCS 21601	MCS 21600	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4.	Art. 2.2.3.3.9.5.
TEMPERATURA MUESTRA	°C	30,0	28,6	31,6	30,8	30,1	29,8	N.E.	N.E.	N.E.
pH	UNIDADES	7,09	7,29	10,37	10,10	10,62	10,36	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	µS/cm	693	712	416	415	329	252	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	mg O2/L	2,00	1,56	3,22	3,59	5,63	4,95	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	% SATURACION	26,3	21,1	47,40	48,01	76	66	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIDIDAD	NTU	278	185	26,8	7,13	3,86	4,60	N.E.	N.E.	N.E.
	UJT	14,63	9,74	1,41	0,38	0,20	0,24	N.E.	10	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 436nm	m-1	5,985	5,095	4,987	4,789	3,345	3,454	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 525nm	m-1	2,542	2,151	2,876	2,656	1,123	1,232	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 620nm	m-1	1,851	1,456	1,678	1,456	0,732	0,869	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg CaCO3/L	4,85	4,66	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO3/L	196	176	77,0	78,9	67,8	50,4	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	110	114	82,8	109	151	54,0	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CALCICA	mg CaCO3/L	82,3	85,6	76,4	99,2	117	43,3	N.E.	N.E.	N.E.
CARBONATOS	mg CaCO3/L	<2,00	<2,00	51,6	39,6	62,6	30,6	N.E.	N.E.	N.E.
BICARBONATOS	mg CaCO3/L	196	176	25,4	39,2	<2,00	19,9	N.E.	N.E.	N.E.
CLORUROS	mg Cl-/L	48,0	48,8	33,2	<4,00	17,8	18,7	250	250	N.E.
SULFATOS	mg SO4-2/L	63,7	85,4	51,8	66,7	29,7	25,4	400	400	N.E.
FOSFATOS	mg P-PO4-3/L	0,566	0,891	0,540	0,344	<0,03	<0,03	N.E.	N.E.	N.E.
NITRATO	mg N-NO3/L	0,258	0,290	0,256	0,432	0,167	0,159	10	10	N.E.
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg N/L	28,2	20,5	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	N.E.	N.E.	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg P/L	1,217	1,915	1,161	0,740	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.
FENOLES	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L-h	1,0	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	393	426	224	249	196	137	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	158	96	13	6	<2	3	N.E.	N.E.	N.E.
DBO5	mg O2/L	142	167	33	25	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	237	279	51	42	<20	<20	N.E.	N.E.	N.E.
NIQUEL	mg Ni/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	N.E.	N.E.	0,2
BARIO	mg Ba/L	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	1	1	N.E.
ARSENICO TOTAL	mgAs/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05	0,05	0,1
CADMIO	mg Cd/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01

PARAMETROS	UNIDADES	MU1 - AGUAS ARRIBA	MU1 - AGUAS ABAJO	FO2 - AGUAS ARRIBA	FO2 - AGUAS ABAJO	FO3 - AGUAS ARRIBA	FO3 - AGUAS ABAJO	LIMITES PERMISIBLES DECRETO 1076 DEL 2015 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE		
		MCS 21230	MCS 21229	MCS 21279	MCS 21278	MCS 21601	MCS 21600	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4.	Art. 2.2.3.3.9.5.
COBRE	mg Cu/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	1	1	0,2
CROMO TOTAL	mg Cr/L	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	N.E.	N.E.	N.E.
HIERRO TOTAL	mg Fe/L	2,24	1,23	0,301	0,200	<0,15	<0,15	N.E.	N.E.	5
SELENIO TOTAL (S)	mg Se/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,01	0,01	0,02
MERCURIO (S)	mg Hg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	N.E.
PLOMO	mg Pb/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5
ZINC	mg Zn/L	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	15	15	2
PLATA	mg Ag/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.
CALCIO	mg Ca/L	30,0	32,2	28,1	38,1	42,2	16,1	N.E.	N.E.	N.E.
MAGNESIO	mg Mg/L	6,20	6,20	1,41	2,14	7,51	2,40	N.E.	N.E.	N.E.
POTASIO	mg K/L	9,01	11,1	0,872	3,82	6,40	5,85	N.E.	N.E.	N.E.
TENSOACTIVOS (SAAM)	mg LAS/L	11,4	20,3	1,23	<0,24	<0,24	<0,24	0,5	0,5	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	1,94	1,60	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	S.P.V.	S.P.V.	N.E.
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	N.E.	N.E.	N.E.
COLIFORMES TOTALES (S)	NMP/100mL	1522	1212	1036	959	888	911	20 000	1 000	5 000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES) (S)	NMP/100mL	103,6	100,6	108,6	91	105	110	2 000	N.E.	1 000

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Tabla 5.73 Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos analizados – parte 2

PARAMETROS	UNIDADES	MR3 - AGUAS ARRIBA	MR3 - AGUAS ABAJO	MR2 - AGUAS ARRIBA	MR2 - AGUAS ABAJO	MR1 - AGUAS ARRIBA	MR1 - AGUAS ABAJO	LIMITES PERMISIBLES DECRETO 1076 DEL 2015 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE		
		MCS 21603	MCS 21602	MCS 21605	MCS 21604	MCS 21607	MCS 21606	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4.	Art. 2.2.3.3.9.5.
TEMPERATURA MUESTRA	°C	28,0	28,1	27,9	27,9	28,1	28,2	N.E.	N.E.	N.E.
pH	UNIDADES	6,2	6,4	6,4	6,6	7,1	6,9	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	µS/cm	143	715	185	176	229	187	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	mg O2/L	3,2	4,5	4,6	5,2	3,6	3,9	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	% SATURACION	41,69	58,25	59,32	66,90	46,8	50,70	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIEDAD	NTU	102	134	43,2	118	254	284	N.E.	N.E.	N.E.
	UJT	5,37	7,05	2,27	6,21	13,37	14,95	N.E.	10	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 436nm	m-1	1,534	2,012	1,546	2,134	2,132	1,546	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 525nm	m-1	0,965	1,345	0,734	1,324	1,645	0,756	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR VERDADERO - LONGITUD DE ONDA 620nm	m-1	0,423	0,743	0,324	0,843	0,823	0,345	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg CaCO3/L	2,33	2,43	2,90	2,91	3,40	2,91	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO3/L	66,6	45,1	53,0	52,7	78,8	61,9	N.E.	N.E.	N.E.

PARAMETROS	UNIDADES	MR3 - AGUAS ARRIBA	MR3 - AGUAS ABAJO	MR2 - AGUAS ARRIBA	MR2 - AGUAS ABAJO	MR1 - AGUAS ARRIBA	MR1 - AGUAS ABAJO	LIMITES PERMISIBLES DECRETO 1076 DEL 2015 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE		
		MCS 21603	MCS 21602	MCS 21605	MCS 21604	MCS 21607	MCS 21606	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4.	Art. 2.2.3.3.9.5.
DUREZA TOTAL	mg CaCO <sub>3</sub> /L	44,0	121	58,5	53,1	67,6	65,0	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CALCICA	mg CaCO <sub>3</sub> /L	33,1	95,7	46,1	46,8	58,5	46,8	N.E.	N.E.	N.E.
CARBONATOS	mg CaCO <sub>3</sub> /L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	N.E.	N.E.	N.E.
BICARBONATOS	mg CaCO <sub>3</sub> /L	66,6	45,1	53,0	52,7	78,8	61,9	N.E.	N.E.	N.E.
CLORUROS	mg Cl-/L	4,60	5,50	7,85	7,50	10,7	7,50	250	250	N.E.
SULFATOS	mg SO <sub>4</sub> -2/L	<5,00	<5,00	14,6	16,9	21,1	17,6	400	400	N.E.
FOSFATOS	mg P-PO <sub>4</sub> -3/L	0,095	0,089	0,239	0,064	0,359	0,395	N.E.	N.E.	N.E.
NITRATO	mg N-NO <sub>3</sub> /L	0,998	0,157	0,976	0,890	0,879	0,987	10	10	N.E.
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg N/L	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	N.E.	N.E.	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg P/L	0,203	0,191	0,514	0,137	0,772	0,849	N.E.	N.E.	N.E.
FENOLES	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L-h	1,9	1,0	<0,1	<0,1	0,3	0,3	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	83	411	111	99	131	109	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	135	145	63	121	359	372	N.E.	N.E.	N.E.
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	<20	<20	<20	<20	<20	<20	N.E.	N.E.	N.E.
NIQUEL	mg Ni/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	N.E.	N.E.	0,2
BARIO	mg Ba/L	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	1	1	N.E.
ARSENICO TOTAL	mg As/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05	0,05	0,1
CADMIO	mg Cd/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
COBRE	mg Cu/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	1	1	0,2
CROMO TOTAL	mg Cr/L	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	N.E.	N.E.	N.E.
HIERRO TOTAL	mg Fe/L	4,01	3,71	3,00	5,21	8,23	9,11	N.E.	N.E.	5
SELENIO TOTAL (S)	mg Se/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,01	0,01	0,02
MERCURIO (S)	mg Hg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	N.E.
PLOMO	mg Pb/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5
ZINC	mg Zn/L	<0,12	0,133	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	15	15	2
PLATA	mg Ag/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.
CALCIO	mg Ca/L	12,1	35,1	17,0	17,0	21,2	17,0	N.E.	N.E.	N.E.
MAGNESIO	mg Mg/L	2,54	5,84	2,74	1,41	2,00	4,01	N.E.	N.E.	N.E.
POTASIO	mg K/L	2,90	4,40	3,15	3,30	4,70	3,14	N.E.	N.E.	N.E.
TENSOACTIVOS (SAAM)	mg LAS/L	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24	0,5	0,5	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	S.P.V.	S.P.V.	N.E.
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	N.E.	N.E.	N.E.
COLIFORMES TOTALES (S)	NMP/100mL	1376	1291	1396	1664	1789	1850	20 000	1 000	5 000

PARAMETROS	UNIDADES	MR3 - AGUAS ARRIBA	MR3 - AGUAS ABAJO	MR2 - AGUAS ARRIBA	MR2 - AGUAS ABAJO	MR1 - AGUAS ARRIBA	MR1 - AGUAS ABAJO	LIMITES PERMISIBLES DECRETO 1076 DEL 2015 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE		
		MCS 21603	MCS 21602	MCS 21605	MCS 21604	MCS 21607	MCS 21606	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4.	Art. 2.2.3.3.9.5.
COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES) (S)	NMP/100mL	148,3	142,1	116,2	131,4	127,4	133,4	2 000	N.E.	1 000

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

A continuación, se presenta el análisis de resultados de cada uno de los parámetros analizados, la información en detalle se puede apreciar en 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_11\_INFORME LAB\_AGUA.

**Parámetro graficado**

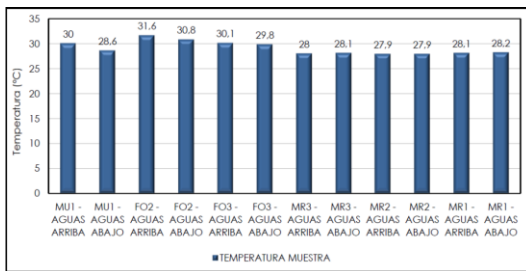


Figura 5.68 Temperatura

Fuente: MCS, 2020

**Análisis de resultados**

Los valores de **temperatura** reportados son consecuencia de variables propias de cada punto de muestreo, de la hora de toma, época climática y características físicas del cuerpo de agua, siendo influenciada principalmente por las condiciones climáticas a la hora de toma de las mediciones. Los valores oscilan entre 28 y 31,6°C. El parámetro no cuenta con límites normativos.

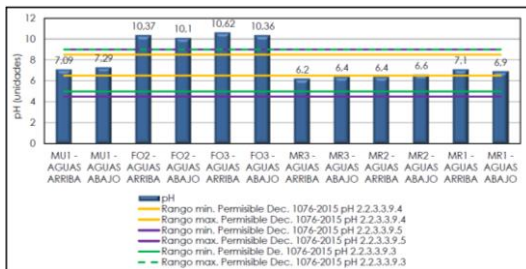


Figura 5.69 pH

Fuente: MCS, 2020

Los valores reportados de **pH** oscilan entre 6,2 y 10,62 unidades, estos valores se encuentran en el rango de pH aceptable para la vida acuática. No se da cumplimiento a la norma aguas arriba y aguas abajo de los puntos FO2 y FO3, pues presentan valores superiores a 10 Unidades, incumpliendo así los límites máximos permisibles en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015, esto debido principalmente a la cantidad de carbonatos presentados en estos puntos.

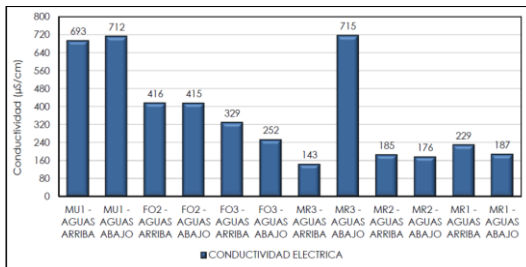


Figura 5.70 Conductividad eléctrica

Fuente: MCS, 2020

Se registraron valores de **conductividad eléctrica** entre 143 µS/cm y 715 µS/cm, se evidencian fluctuaciones aguas arriba y aguas abajo de los puntos de monitoreo. Los resultados indicaron una mineralización "débil" (conductividad entre 100 µS/cm y 200 µS/cm) en los puntos MR3 aguas arriba, MR2 (aguas arriba y aguas abajo) y MR1 aguas abajo, una mineralización "media" (conductividad entre 200 µS/cm y 700 µS/cm) en los puntos FO2 y FO3 (aguas arriba como aguas abajo), MU1 aguas arriba y MR1 aguas arriba y una mineralización "importante" (conductividad entre 700 µS/cm y 1000 µS/cm) aguas abajo de los puntos MU1 y MR3 (Rodier, Legube, & Merlet, 2009), lo cual permite inferir que estos sistemas poseen entre un bajo a moderado contenido de sales disueltas. El parámetro no cuenta con límites normativos.

Parámetro graficado

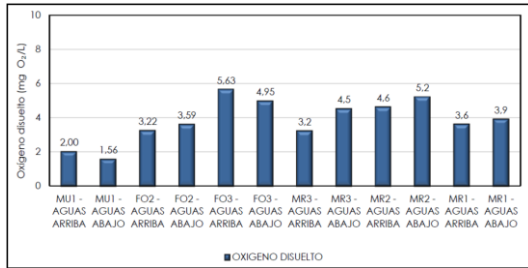


Figura 5.71 Oxígeno disuelto  
Fuente: MCS, 2020

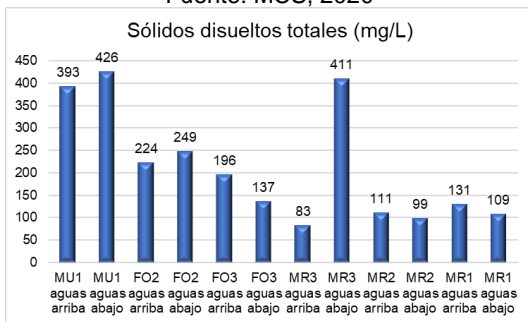


Figura 5.72 Sólidos disueltos totales

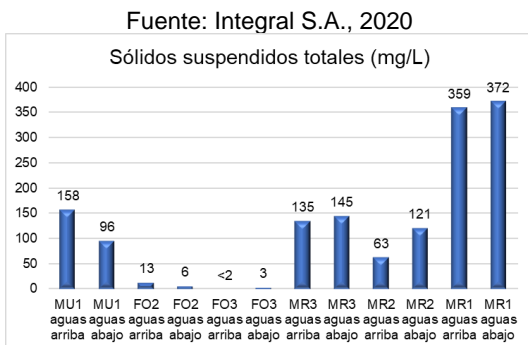


Figura 5.73 Sólidos suspendidos totales  
Fuente: Integral S.A., 2020

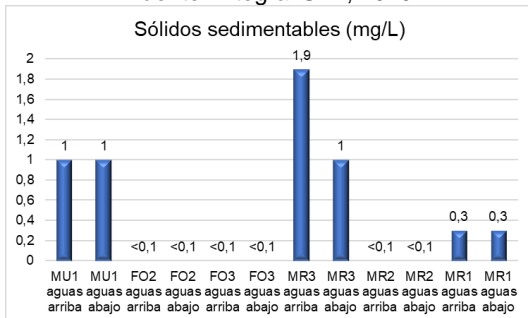


Figura 5.74 Sólidos sedimentables  
Fuente: Integral S.A., 2020

Análisis de resultados

Para la mayoría de los puntos evaluados, los niveles de **oxígeno disuelto** oscilan entre 1,56 mg O<sub>2</sub>/L, aguas arriba y aguas abajo en los puntos MU1, se presentaron concentraciones menores a 3 mg O<sub>2</sub>/L, esto se debe posiblemente al bajo flujo de agua, la alta temperatura, la presencia de basuras en estos puntos, además de que el agua en estos puntos se presentó turbia, factores que impiden el intercambio de oxígeno, entre la masa de aire y el cuerpo de agua. El parámetro no cuenta con límites normativos.

Los **sólidos disueltos totales** presentaron concentraciones entre 83 y 426 mg/L. El parámetro no cuenta con límites normativos.

Con respecto a los **sólidos suspendidos totales** presentaron concentraciones entre <2 y 372 mg/L, la concentración en cada punto de monitoreo varía con la acción de la escorrentía y el arrastre de material particulado que se genera en los cuerpos de agua debido al tipo de sustrato del lecho. El parámetro no cuenta con límites normativos.

Los **sólidos sedimentables** presentaron concentraciones entre <0,1 y 1,9 mg/L. Los resultados reflejan bajas concentraciones, por lo que se descartan posibles restricciones para los tratamientos convencional o de desinfección en caso de que el recurso hídrico sea destinado para consumo humano y/o uso doméstico, o para uso agrícola. El parámetro no cuenta con límites normativos.



Parámetro graficado

Análisis de resultados

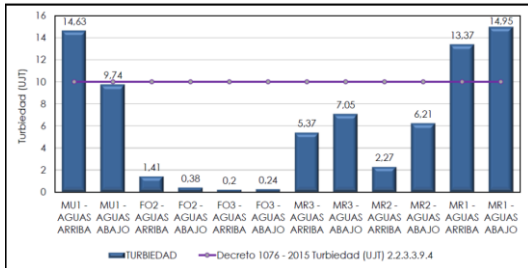


Figura 5.75 Turbiedad  
Fuente: MCS, 2020

Los valores de **turbiedad** varían entre 0,2 a 14,95 UJT, se evidencia que la mayoría de los puntos monitoreados presentan una baja turbiedad, encontrándose dentro del límite permisible establecido en el artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (10 UJT), sin embargo, los puntos MU1 aguas arriba y MR1 (aguas arriba y aguas abajo), reportaron valores por encima del límite permisible estipulado, con valores de, 14,63 UJT, 13,37 UJT y 14,95 UJT, respectivamente.

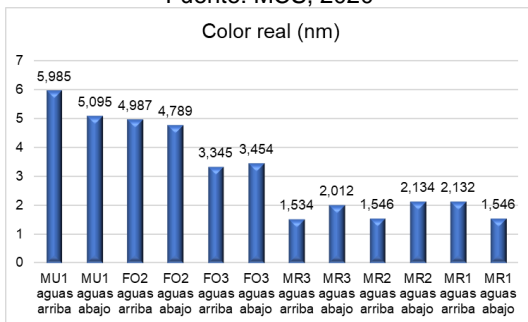


Figura 5.76 Color real  
Fuente: Integral S.A., 2020

El análisis del **color real** se realizó a tres longitudes de onda diferentes: 436 nm, 525 nm y 620 nm, las cuales reflejan el color amarillo, violeta y verde-azul respectivamente, evidenciando, que los valores más altos en todos los puntos evaluados se reportaron en la longitud de onda de 436 nm, lo cual indica que las aguas superficiales analizadas se caracterizan por presentar una tonalidad amarilla, asociada probablemente al arrastre de sales y materiales durante su flujo. El parámetro no cuenta con límites normativos.

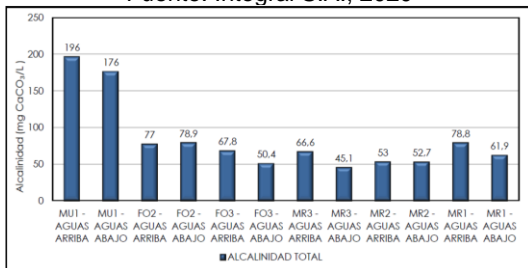


Figura 5.77 Alcalinidad  
Fuente: MCS, 2020

La **alcalinidad** total del agua en los puntos evaluados presentó concentraciones entre 45,1 y 196 mg CaCO<sub>3</sub>/L, no presenta importancia sanitaria definida y sus límites de concentración no han sido determinados dentro de la normatividad ambiental vigente.

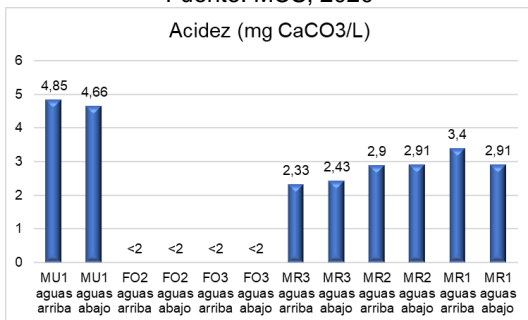


Figura 5.78 Acidez  
Fuente: Integral S.A., 2020

La **acidez** no presenta variaciones significativas entre aguas arriba y aguas abajo de los puntos evaluados, se reportaron concentraciones menores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<2,00 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y valores menores a 4,85 mg CaCO<sub>3</sub>/L. El parámetro no cuenta con límites normativos.

Parámetro graficado

Análisis de resultados

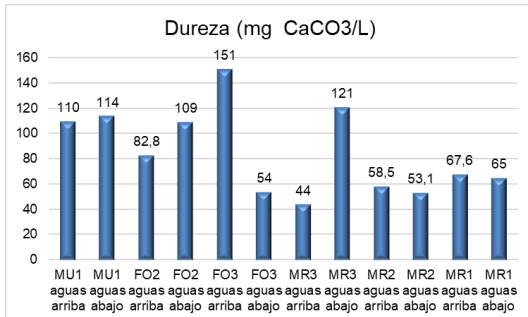


Figura 5.79 Dureza  
Fuente: Integral S.A., 2020

Para la **dureza** total se reportaron concentraciones entre 44,0 y 151 mg CaCO<sub>3</sub>/L. El parámetro no cuenta con límites normativos.

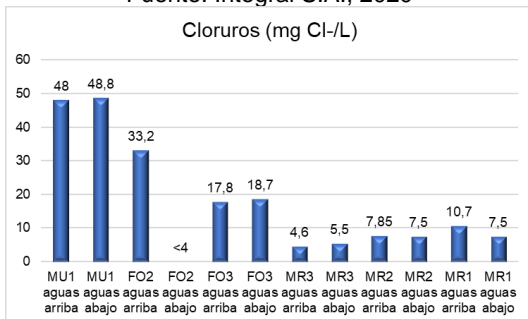


Figura 5.80 Cloruros  
Fuente: Integral S.A., 2020

Para **cloruros** se reportaron concentraciones de <4,00 mg (menor límite de la técnica analítica implementada en laboratorio) y 48,8 mg Cl<sup>-</sup>/L; en general no se presentaron variaciones significativas aguas arriba y aguas abajo en los puntos de monitoreo evaluados. Se presenta cumplimiento normativo.

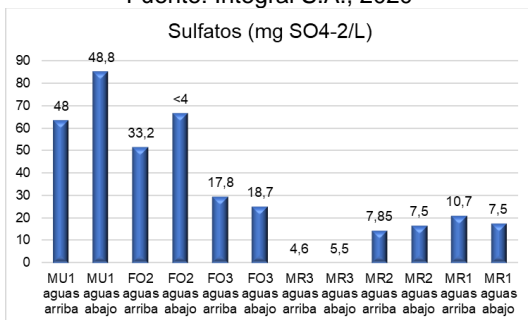


Figura 5.81 Sulfatos  
Fuente: Integral S.A., 2020

Los **sulfatos** presentaron concentraciones de <5,00 (menor al valor del límite de la técnica analítica) y 85,4 mg SO<sub>4</sub>-2/L. Este parámetro presenta cumplimiento normativo con el límite máximo permisible.

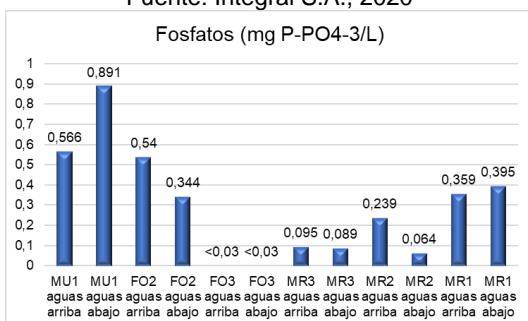


Figura 5.82 Fosfatos  
Fuente: Integral S.A., 2020

Los **fosfatos** registraron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación por la técnica analítica empleada para su determinación (<0,03 mg P-PO<sub>4</sub>-3/L), y un máximo de 0,891 mg P-PO<sub>4</sub>-3/L, no se evidencian variaciones significativas entre los puntos de monitoreo, las concentraciones reportadas reflejan una baja presencia de este tipo de compuestos en las aguas monitoreadas.

El parámetro no cuenta con límites normativos.

Parámetro graficado

Análisis de resultados

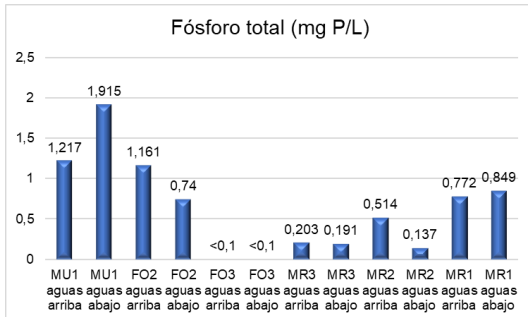


Figura 5.83 Fósforo total  
Fuente: Integral S.A., 2020

El **fósforo total** arrojó concentraciones inferiores al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación (<0,1 mg P/L) y una concentración máxima de 1,915 mg P/L. El parámetro no cuenta con límites normativos.

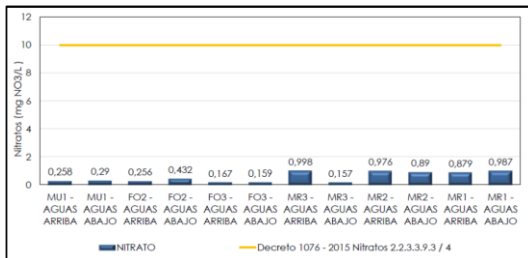


Figura 5.84 Nitratos  
Fuente: MCS, 2020

Los **nitratos** reportaron concentraciones entre 0,157 y 0,998 mg N-NO3/L. Se evidencia que los resultados obtenidos para los nitratos presentan cumplimiento normativo con el respectivo límite máximo permisible establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (10 mg N-NO3/L).

Por otro lado, la concentración de nitrógeno total Kjeldahl presentó una variación entre <5,00 mg N/L (indetectable por la respectiva técnica analítica empleada en laboratorio) y 28,2 mg N/L.

El parámetro de nitrógeno total Kjeldahl no cuenta con límites normativos.

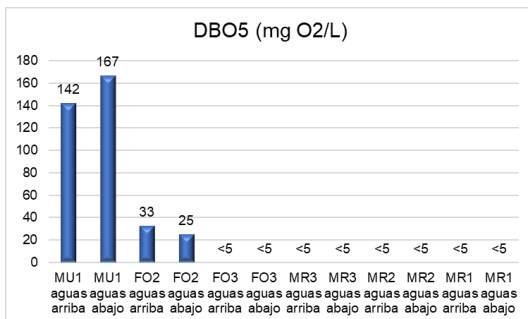


Figura 5.85 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)  
Fuente: Integral S.A., 2020

La **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)** en la mayoría de los puntos analizados se registraron concentraciones inferiores al límite detectable por la técnica empleada en laboratorio para su análisis (<5 mg O2/L) y se presentó un valor máximo de 167 mg O2/L.

Es de anotar que, valores superiores a 8 mg O2/L se consideran altos, y para este caso particular se puede deber a las descargas de las casas aledañas y a los residuos presentes en los puntos de monitoreo.

El parámetro no cuenta con límites normativos.

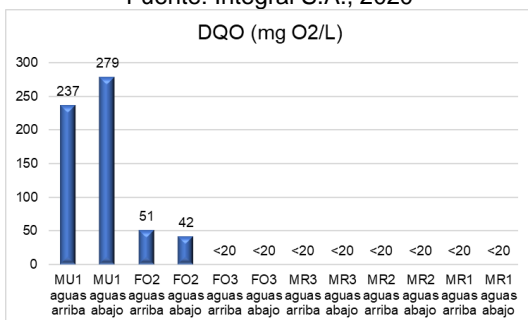


Figura 5.86 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (DBO5)  
Fuente: Integral S.A., 2020

La **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** presentó valores entre <20 mg O2/L (concentraciones indetectables por la técnica analítica empleada en laboratorio) y 237 mg O2/L evidenciando que las aguas superficiales en estos puntos presentan contaminación por materia orgánica en descomposición.

El parámetro no cuenta con límites normativos.

**Parámetro graficado**

Fuente: Integral S.A., 2020

**Análisis de resultados**

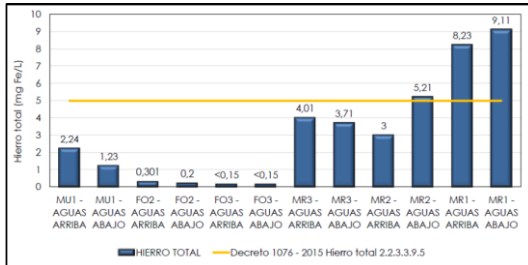


Figura 5.87 Hierro total  
Fuente: MCS, 2020

El **hierro total** registró concentraciones entre <0,15 mg Fe/L (valor menor al límite de la técnica analítica) y 9,11 mg Fe/L. Con respecto al cumplimiento normativo, los puntos MR1 (aguas arriba y aguas abajo) y MR2 aguas abajo, no cumplen con el límite máximo establecido en el artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 (5 mg/L) al presentar concentraciones de 8,23 mg Fe/L, 9,11 mg Fe/L y 5,21 mg Fe/L, respectivamente, por lo que se restringe el uso con fines agrícolas dichos puntos.

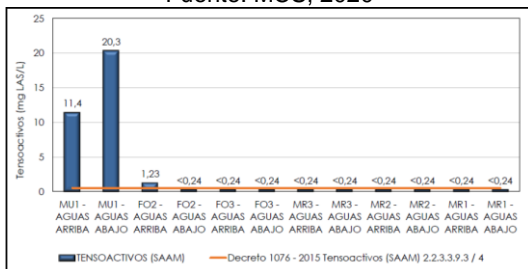


Figura 5.88 Tensoactivos  
Fuente: MCS, 2020

Los **tensoactivos** (Sustancias Activas al Azul de Metileno – SAAM) o detergentes presentaron valores entre <0,24 y 20,3 mg LAS/L, presentando incumplimiento normativo con el límite máximo permisible establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 los puntos MU1 (aguas arriba y aguas abajo) y FO2 aguas arriba.

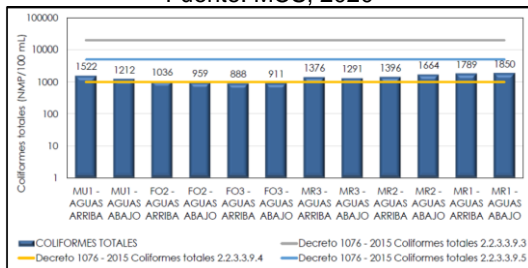


Figura 5.89 Coliformes totales  
Fuente: MCS, 2020

Los **coliformes totales** reportaron concentraciones que variaron entre 888 y 1850 NMP/100mL. Los resultados no superan los límites máximos permisibles establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015.

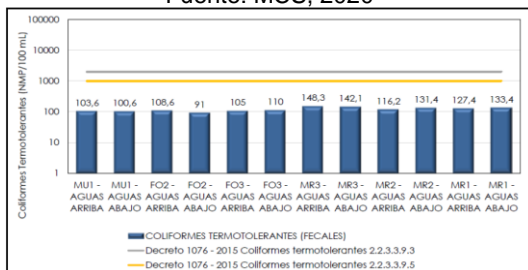


Figura 5.90 Coliformes termotolerantes  
Fuente: MCS, 2020

Los **coliformes termotolerantes (fecales)** reportaron concentraciones que variaron entre 91 y 148,3NMP/100mL. Los resultados no superan los límites máximos permisibles establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015.

Fuente: a partir de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020, Integral S.A., 2020

Dentro de los diferentes elementos evaluados fueron indetectables por las respectivas técnicas de análisis utilizadas para su determinación en laboratorio los metales **níquel**,

**bario, cadmio, cobre, cromo total, mercurio, plomo, plata, zinc**, el no metal **selenio total** y el metaloide **arsénico total**. Todos los parámetros anteriormente mencionados presentan cumplimiento normativo con los respectivos límites máximos permisibles establecidos por el Decreto 1076 de 2015 en sus artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5.

El **calcio** reportó concentraciones entre 12,1 y 42,2 mg Ca/L, por su parte el **magnesio** reveló concentraciones que variaron de 1,41 a 7,51 mg Mg/L, en tanto, el **potasio** denotó valores que oscilaron entre 0,872 a 1,1 mg K/L. Es de anotar que, estos parámetros no cuentan con límites normativos.

Los parámetros **fenoles totales** e **hidrocarburos totales**, en las aguas superficiales de todos los puntos de monitoreo, fueron indetectables por la respectiva técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación, reportándose el límite mínimo cuantificable por las mismas <0,002 mg/L para fenoles totales, <1,40 mg/L para hidrocarburos totales, los fenoles presentan cumplimiento normativo con el respectivo límite máximo permisible establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (0,002 mg/L), en tanto que, los hidrocarburos no cuentan con límites normativos.

Las **grasas y aceites** presentaron en la mayoría de los puntos concentraciones menores al límite de la técnica analítica implementada en el laboratorio para su análisis (<1,40 mg/L) y un valor máximo de 1,94 mg/L, se evidencia afectación del cuerpo de agua por el vertimiento de las aguas residuales domésticas de las viviendas que se encuentran aledañas. Se resalta que estos puntos presentan incumplimiento normativo con los criterios de calidad establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (sin película visible), por lo tanto, se restringe la destinación del recurso para consumo humano y/o uso doméstico.

#### **5.1.7.4 Índices de calidad del agua (ICA) y de contaminación (ICO)**

##### **5.1.7.4.1 Índice de calidad del agua (ICA)**

Según los datos, los cuerpos de agua evaluados presentaron una calidad de agua “regular” para aguas arriba y aguas abajo de los puntos FO3, MR3, MR2 y MR1, asociadas a concentraciones medias de porcentaje de saturación de oxígeno, y una calidad de agua “mala” en los puntos aguas arriba y aguas abajo de los puntos MU1 y FO2, estas condiciones están asociadas a concentraciones bajas de oxígeno disuelto, pH altos, valores moderados de conductividad, contenidos significativos de materia orgánica y partículas en suspensión (véase Tabla 5.74). Se resalta que en los puntos de monitoreo se evidenciaron residuos y vertimiento de aguas residuales domésticas provenientes de las casas aledañas a los puntos de monitoreo, además se resalta que el monitoreo se realizó en época de lluvias, por lo cual las precipitaciones inducen al arrastre de sólidos por escorrentía, factores importantes que pueden afectar la calidad del recurso hídrico.



Tabla 5.74 Resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) para las aguas superficiales monitoreadas

Nombre del drenaje	Puntos de monitoreo		Índice ICA
Arroyo La Chinita	MU1 aguas arriba	MCS 21230	0,39
	MU1 aguas abajo	MCS 21229	0,41
Vía canal San Salvador - Siape	FO2 aguas arriba	MCS 21279	0,4
	FO2 aguas abajo	MCS 21278	0,42
Vía canal Coltabaco	FO3 aguas arriba	MCS 21234	0,58
	FO3 aguas abajo	MCS 21601	0,59
Caño Arriba	MR3 aguas arriba	MCS 21600	0,64
	MR3 aguas abajo	MCS 21603	0,56
Caño La Ahuyama	MR2 aguas arriba	MCS 21602	0,69
	MR2 aguas abajo	MCS 21605	0,7
Arroyo La Chinita	MR1 aguas arriba	MCS 21607	0,52
	MR1 aguas abajo	MCS 21606	0,55
Muy Mala		0,00 - 0,25	
Mala		0,26 - 0,50	
Regular		0,51 - 0,70	
Aceptable		0,71 - 0,90	
Buena		0,91 - 1,00	

Fuente: a partir de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020, Integral S.A., 2020

#### 5.1.7.4.2 Índices de contaminación del agua (ICO)

A continuación, en la Tabla 5.75 se presentan los resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en todos los puntos de monitoreo, a excepción de FO3 aguas arriba, debido a que se presentó el valor mínimo del límite de cuantificación por la técnica analítica, el Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), el Índice de Contaminación por pH (ICOpH) y el Índice de Contaminación Tráfico (ICOTRO), la información en detalle se puede apreciar en 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_11\_INFORME LAB\_AGUA.

**Tabla 5.75 Resultados del cálculo del Índices de Contaminación del Agua (ICO) para las aguas superficiales monitoreadas**

Nombre del drenaje	Puntos de monitoreo		ICOMI	ICOSUS	ICOMO	ICOpH	ICOTRO
Arroyo La Chinita	MU1 aguas arriba	MCS 21230	0,84	0,45	0,69	0	1,22
	MU1 aguas abajo	MCS 21229	0,88	0,27	0,69	0	1,92
Vía canal San Salvador - Siape	FO2 aguas arriba	MCS 21279	0,45	0,02	0,6	0,99	1,16
	FO2 aguas abajo	MCS 21278	0,63	0	0,56	0,98	0,74
Vía canal Coltabaco	FO3 aguas arriba	MCS 21234	0,7	-	-	1	0,1
	FO3 aguas abajo	MCS 21601	0,31	0	-	0,99	0,1
Caño Arriba	MR3 aguas arriba	MCS 21600	0,17	0,39	-	0,02	0,2
	MR3 aguas abajo	MCS 21603	0,67	0,42	-	0,01	0,19
Caño La Ahuyama	MR2 aguas arriba	MCS 21602	0,22	0,17	-	0,01	0,51
	MR2 aguas abajo	MCS 21605	0,2	0,34	-	0	0,14
Arroyo La Chinita	MR1 aguas arriba	MCS 21607	0,34	1	-	0	0,77
	MR1 aguas abajo	MCS 21606	0,25	1	-	0	0,85
0-0,2	Contaminación muy baja			<0,01 = Oligotrófico			
0,21-0,4	Contaminación baja			0,01 - 0,02 = Mesotrófico			
0,41-0,6	Contaminación media			0,02 - 1 = Eutrófico > 1 = Hipereutrófico			
0,61-0,8	Contaminación alta						
0,81-1,0	Contaminación muy alta						

Fuente: a partir de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020, Integral S.A., 2020

El Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), se presenta una contaminación asociada a la notable presencia de sales disueltas en las aguas superficiales monitoreadas, lo cual se vio reflejado en los resultados obtenidos de conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, cloruros, sulfatos, fosfatos, fósforo total y tensoactivos.

El Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en general presenta resultados que coinciden con los valores del Índice de Calidad del Agua (ICA). El contenido de partículas en suspensión se ve influenciado por la relación entre la composición del lecho, la profundidad, velocidad de la corriente, arrastre, escorrentía y geomorfología del cauce en cada punto, así como por las condiciones climatológicas durante la época en la cual se ejecutó el monitoreo, y descargas de aguas de uso doméstico, las cuales contribuyen de forma significativa en el incremento de materiales en suspensión en los cuerpos de agua evaluados.

El Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) comprende efectos distintos de contaminación orgánica, sin estar los unos correlacionados con los otros. En los puntos

monitoreados, el cálculo de este índice obtuvo un nivel de contaminación entre “media” y “alta”, relacionado posiblemente con las descargas y los residuos presentes en los puntos de monitoreo.

En el Índice de Contaminación por pH (ICOpH) se evidencia que para los puntos de monitoreo existe contaminación de tipo industrial por vertimientos y coincidiendo con el resultado obtenido para el Índice de Calidad del Agua (ICA).

Finalmente, en cuanto al Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO), éste señaló para la mayoría de los puntos de monitoreo de aguas superficiales características de un ecosistema “Eutrófico”, determinado por la concentración de fósforo total que conlleva a un mayor aporte de nutrientes al medio.

En general se evidencia que el punto MU1 asociado al Caño La Ahuyama es el que presenta mayor contaminación, seguido de FO2 asociado al Vía canal San Salvador – Siape.

### 5.1.8 Usos del agua

Es importante mencionar que el Proyecto no contempla el uso y aprovechamiento del recurso hídrico para el desarrollo de sus diferentes actividades, no obstante, el trazado interceptará algunos cuerpos de agua como son vía canal San Salvador - Siape, vía canal El Country, Vía canal La Felicidad, caño Arriba, vía canal Don Juan y caño La Ahuyama (véase Tabla 5.76), por tal razón, teniendo en cuenta lo requerido en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17, acerca de los usos y usuarios de las corrientes presentes en el área de influencia y que estén expuestas a los posibles impactos por el desarrollo del proyecto, se solicitó información a las autoridades ambientales (véase 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_12\_USUARIOS\_AGUA); en respuesta se relacionan los usos y usuarios del agua en su jurisdicción, evidenciándose que las corrientes que se interceptarán por el Proyecto no reportan captación de agua (véase Tabla 5.76 y Figura 5.91); no obstante, lo anterior, cabe mencionar que, se evidencia en el reporte que el principal uso de agua que se presenta en zonas aledañas al trazado de la línea de transmisión es industrial y se presentan pocos casos de usos para agua potable, recreacional y piscícola.

De otra parte, en lo que respecta a la descarga de vertimientos, se reportan tres (3) vertimientos asociados con la corriente vía canal de la carrera 47 del municipio de Soledad, aguas abajo del punto de intersección con el trazado del Proyecto (véase Figura 5.92), no obstante, es de anotar que, el punto de cruce se presenta con una estructura existente tipo box culvert que atraviesa la Calle 18, dicha estructura tiene como función permitir el paso de las aguas lluvias que discurren por las vías y se recogen en este punto, por tanto, se considera que no habría una incidencia en el cuerpo de agua (véase Tabla 5.76).

Tabla 5.76 Corrientes de agua interceptadas por la línea de transmisión

Tramo	Nombre corriente	Lugar del cruce	Usos y usuarios
SE Las Flores – SE Oasis	Vía canal San Salvador - Siape	Vía 40 con Calle 82	No se reportan captaciones de agua en el sitio o aguas abajo. No se reportan vertimientos aguas arriba o aguas abajo del punto de intercepción.
	Vía canal El Country	Vía 40 entre Calles 77B y 78	
SE Oasis – SE Estadio	Vía canal Coltabaco	Carrera 65 con Calle 68	
	Vía canal (Carrera 65) según POT Barranquilla*	Carrera 47 con Calle 62	
SE Estadio – SE Centro	Vía canal La Felicidad según POT Barranquilla*	Avenida 20 de julio con Calle 60 Carrera 41 con Calle 52	
SE El Río – SE Magdalena	Caño Arriba	Carrera 41 N con Calle 6	
	Caño La Ahuyama	Carrera 12 con Calle 5	
SE Unión a SE Tebsa	Arroyo La Chinita	Carrera 9 entre Calles 20 y 23	
	Vía canal Don Juan	Límite municipal (Barranquilla – Soledad) en Calle 17	
	Vía canal carrera 47 Soledad	Carrera 47 con Calle 17	

\*No se encuentran canales o arroyos a cielo abierto, no obstante, en periodos de lluvia el agua toma ese curso, el cual en algunas ocasiones discurre a través del alcantarillado.

Fuente: Integral S.A., 2020

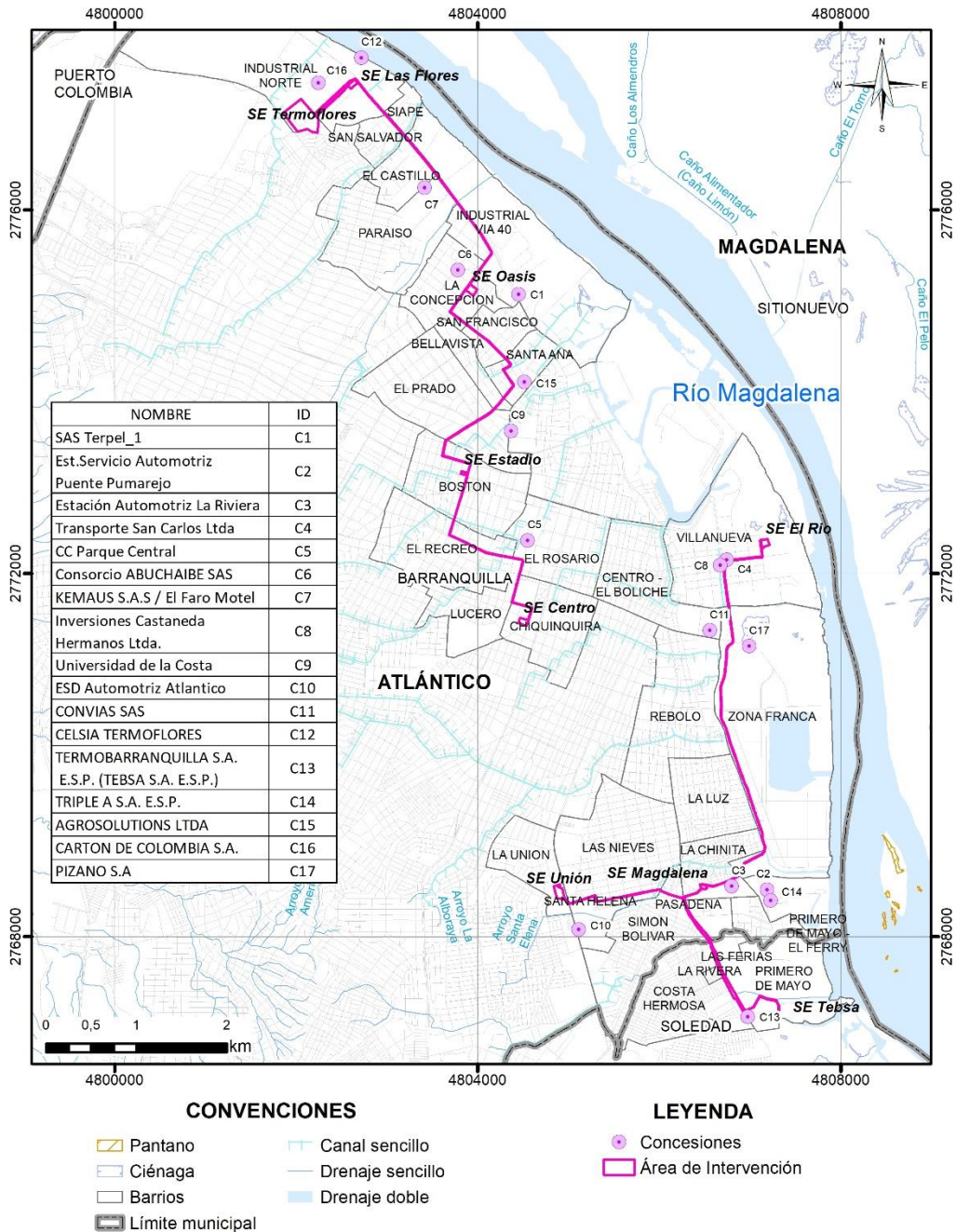


Figura 5.91 Localización de puntos de captación de agua reportadas por la CRA en cercanías del área de influencia del componente hidrológico

Fuente: Integral S.A., 2020



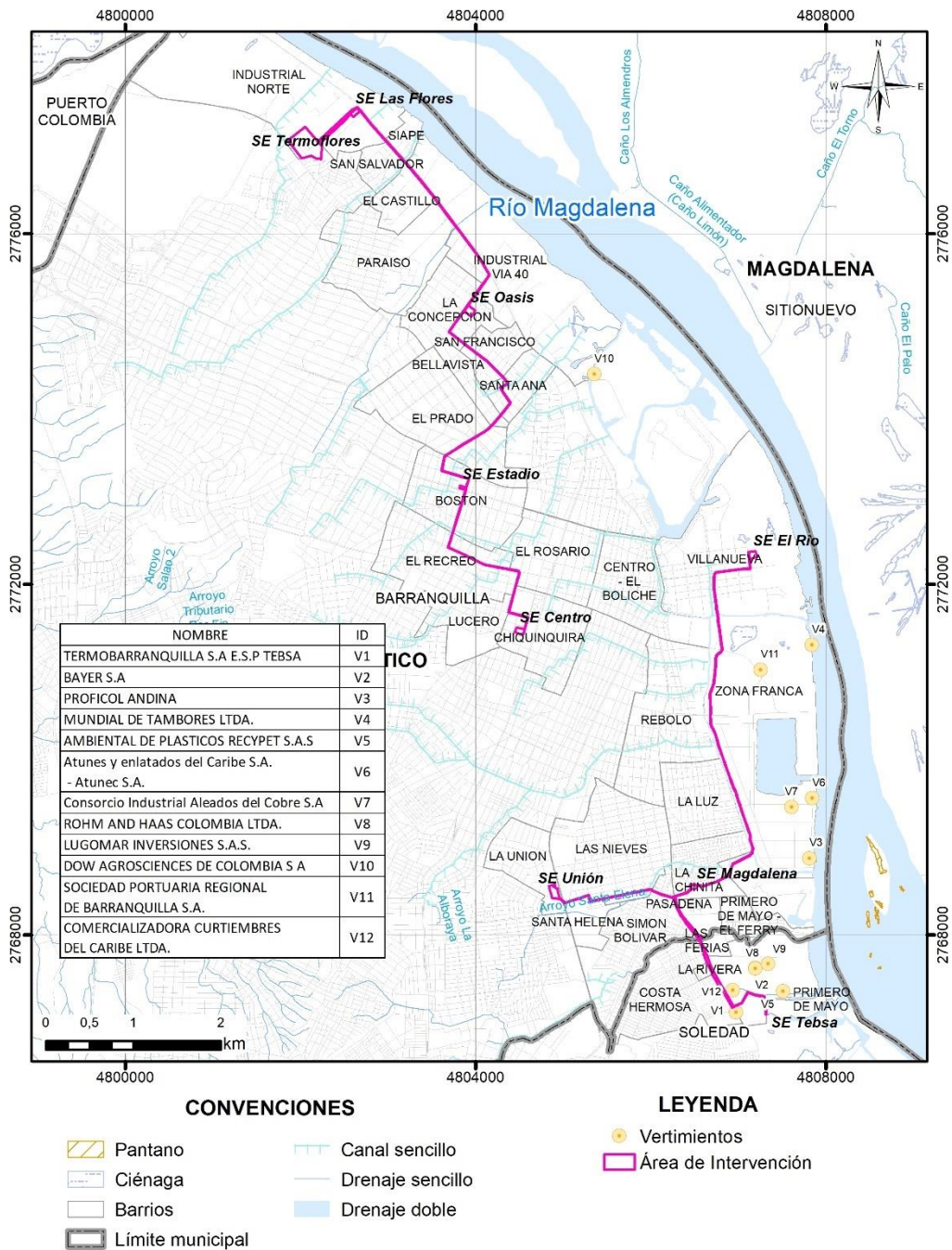


Figura 5.92 Localización de vertimientos reportados por la CRA en cercanías del área de influencia del componente hidrológico

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.9 Hidrogeología

A nivel Nacional, las unidades de análisis son las provincias hidrogeológicas, caracterizadas porque en cada una de ellas sus acuíferos han sido formados por procesos geológicos similares, con particularidades geomorfológicas comunes y se hallan separadas entre sí por rasgos tectónicos regionales que generalmente coinciden con límites (o barreras) impermeables (IDEAM, 2013). Estas provincias, coinciden con las cuencas sedimentarias por sus potencialidades de flujo (asociadas a ambientes y condiciones de depositación) y geometría (determinada por rasgos tectónicos y estratigráficos resultantes de los eventos históricos).

El sector de interés para el Proyecto UPME STR 02-2019 se encuentra ubicada dentro de la provincia hidrogeológica Sinú-San Jacinto, limitada al sur por las estribaciones de la Serranía de San Jacinto hasta las estribaciones de la cordillera Occidental (Serranías de Abibe, San Jerónimo), al este por el sistema de fallas de Romeral y al oeste por la falla de Dabeiba (IDEAM, 2013) (véase Figura 5.93).

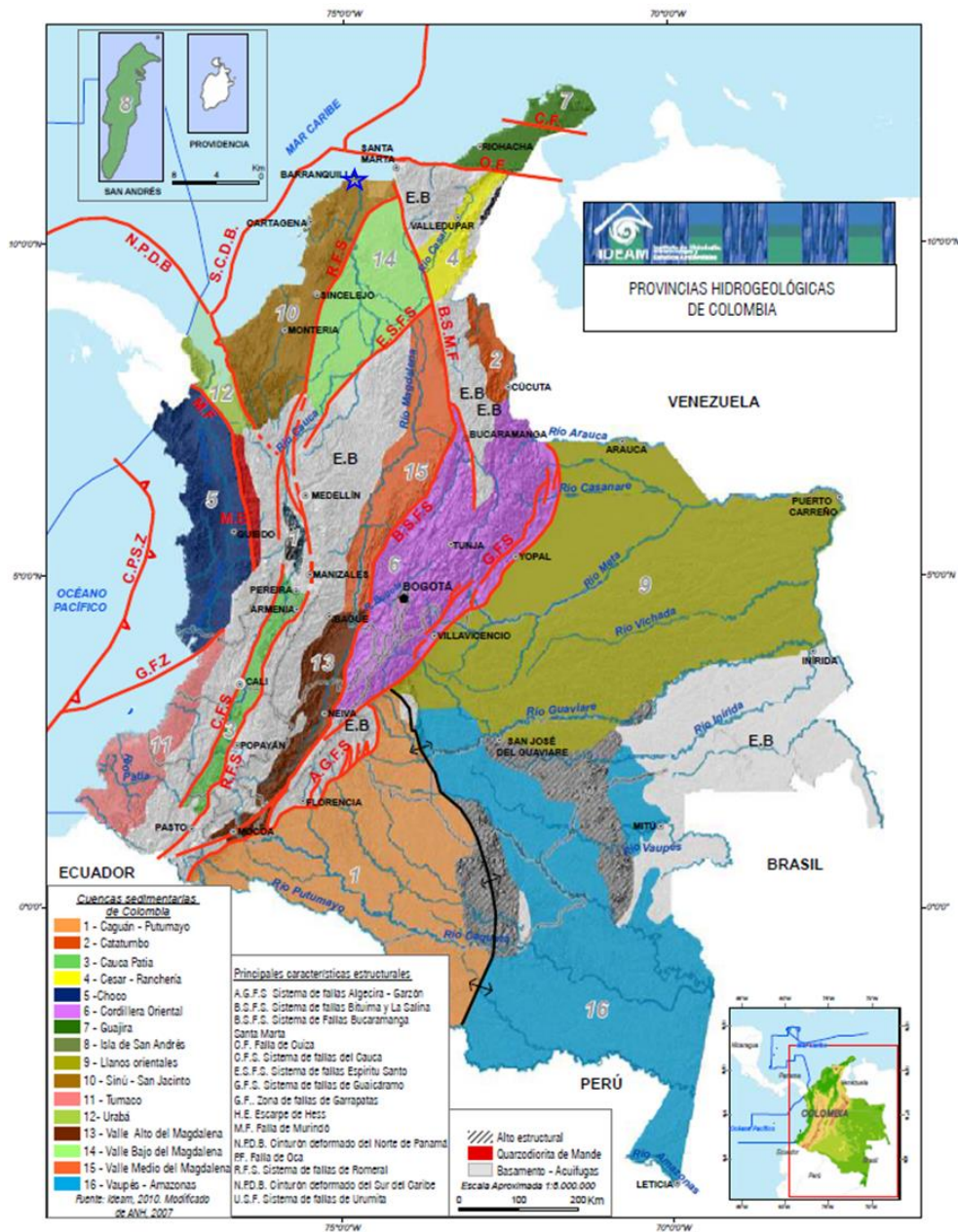


Figura 5.93 Provincias hidrogeológicas de Colombia; la estrella azul señala la zona de interés

Fuente: (IDEAM, 2010)

El área de interés está constituida por depósitos sedimentarios de origen fluvial y marino. A partir de las condiciones geológicas, se llevó a cabo la caracterización hidrogeológica para el área de intervención, enfocada en la identificación de las unidades hidrogeológicas del sector, las zonas de recarga y descarga y las direcciones generales de flujo.

### 5.1.9.1 Análisis de información secundaria

Para llevar a cabo este análisis, se recopiló la información disponible referente a proyectos, estudios, y memorias en lo que se refiere a geología e hidrogeología del área de estudio. Adicionalmente, se solicitó a las autoridades ambientales, Barranquilla Verde y Corporación Autónoma Regional del Atlántico, información disponible con respecto a inventario de puntos de agua. En la Tabla 5.77 se presenta la información más relevante de los estudios consultados.

Tabla 5.77 Revisión de información

Autor	Año	Nombre del estudio	Observaciones
Vargas María Consuelo, Huguette Granados Alcides	1985	Geohidroquímica de los departamentos de Atlántico y Bolívar. Informe 1968.	Características químicas del agua subterránea, por unidad y por nivel de profundidad.
Huguette Granados Alcides	1988	Hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique. Informe 1971.1	Se presenta información de las unidades hidrogeológicas, características del sistema de agua subterránea, inventario de pozos, aljibes y manantiales, recarga y descarga, movimiento del agua subterránea.
Ingeominas	2000	Inventario Minero Nacional. Departamento de Atlántico	Observaciones generales de la hidrogeología del departamento.
Hincapié Vélez Gloria. Huguette Granados, Alcides	2003	Atlas de aguas subterráneas de Colombia en escala 1:500.000. Memoria técnica de la Plancha 5-01. Versión Final.	Información de provincias hidrogeológicas, unidades hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, vulnerabilidad a la contaminación
CRA	2012	Plan de acción 2012-2015	Aspectos generales del estado del agua subterránea
IDEAM	2013	Aguas subterráneas en Colombia	Conocimientos regionales sobre el recurso hídrico subterráneo, información sobre Provincias hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos de Colombia
Contraloría Distrital de Barranquilla	2017	Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente de Barranquilla	Mencionan que fuentes de agua como las subterráneas no son tratadas, ni aprovechadas racionalmente por lo que son focos de problemas e infecciones para la comunidad.
Barranquilla Verde	2017	Plan de Gestión Ambiental	Estado de la concesión del agua subterránea en Barranquilla.
IDEAM	2018	Estudio Nacional del Agua	Evaluación del estado nacional del agua subterránea, mencionan información sobre provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos

Fuente: Integral S.A., 2020

### 5.1.9.2 Inventario de puntos de agua

Un punto de agua subterránea es un lugar u obra civil que permite el acceso al agua subterránea, incluyendo pozos, aljibes, surgencias naturales o manantiales que corresponden a descargas del acuífero; y lagos o lagunas cuando son salidas o afloramientos de acuíferos someros (IDEAM, 2013).



---

Con el fin de conocer el estado de los puntos de agua del sector, se consultó con las autoridades ambientales, Corporación Autónoma Regional del Atlántico y Barranquilla Verde, la distribución y le estado actual de los puntos de agua subterráneos. Además, se consultó información de diferentes estudios realizados en la zona, principalmente de entidades como el Servicio Geológico Colombiano -SGC.

Es importante mencionar que el recurso hídrico subterráneo en Barranquilla no es tratado, ni aprovechado racional o sustentablemente (Contraloría Distrital de Barranquilla, 2017) y solo se tienen referenciadas las captaciones de aguas subterráneas de las industrias que requieren generalmente licencia ambiental para su funcionamiento, pero se desconoce el caudal captado por otros sectores económicos (agrícola, pecuario, industria) que adelantan actividades en las áreas rurales, el cual debe establecerse como elemento de evaluación del índice de uso del agua (Corporación Autónoma Regional de Atlántico , 2012)

En la Tabla 5.78 se presentan los usuarios de puntos de agua subterránea concesionados por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico presentado en el Oficio de radicado de salida 002414 del 17 de septiembre de 2020. La distribución en planta de estos puntos se puede observar en la Figura 5.94, en donde se muestra que ninguno de los puntos de agua se encuentra dentro o en cercanías al área de estudio.



Tabla 5.78 Usuarios de puntos de agua subterránea

SECTOR ECONÓMICO	NOMBRE DEL USUARIO	No. EXPEDIENTE	MUNICIPIO	TIPO DE CONCESIÓN	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	UBICACIÓN
Industrial	AGROSOLUTIONS LTDA	0201-259	Barranquilla	Subterránea	4.793.862,37	2.770.187,04	Margen izquierda de la Cantera de algodón a dos kilómetros antes de llegar a Juan Mina
Industrial	ZONA FRANCA BARRANQUILLA UOZF	0201-406	Barranquilla	Subterránea	4.797.593,12	2.766.223,51	Carretera cordialidad
Industrial	ACONDESA	2001-052	Soledad	Subterránea	4.805.981,54	2.766.094,81	Entrada al barrio Hipódromo
Industrial	ALMAGRARIO	2001-029	Soledad	Subterránea	4.806.241,32	2.763.857,44	Autopista Aeropuerto entrada barrio Manuela Beltrán
Industrial	COOTRASOL	2001-058	Soledad	Subterránea	4.806.251,71	2.761.484,24	Calle 30 No. 7 sur-04
					4.806.639,6	2.761.256,82	
Industrial	LAVADERO EL PRINCIPE	2001-038	Soledad	Subterránea	4.803.412,44	2.764.189,29	Carrera 14 No 63-15
Industrial	TERMINAL DE TRANSPORTES DE BARRANQUILLA S.A.	2001-054	Soledad	Subterránea	4.805.879,43	2.764.576,18	Vía al barrio Soledad 2000 en la carrera 19 No 39-05
Industrial	INSERBAR-TRANSPORTE COOLITORAL	2001-057	Soledad	Subterránea	4.804.951,01	2.763.015,1	Calle 48 con carrera 5c
Fuerza Militar	ESCUELA DE POLICIA ANTONIO NARIÑO	2001-156	Soledad	Subterránea	4.804.552,98	2.765.987,13	Avenida Circunvalar No. 45-300

SECTOR ECONÓMICO	NOMBRE DEL USUARIO	No. EXPEDIENTE	MUNICIPIO	TIPO DE CONCESIÓN	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	UBICACIÓN
Industrial	UNIÓN TEMPORAL JANNA JIMÉNEZ-CCIAL PORTAL DE SOLEDAD	2001-155	Soledad	Subterránea	4.803.469,48	2.764.235,64	Galería Comercial Portal de Soledad – Estación Transmetro Portal de Soledad, prolongación calle Murillo
					4.803.109,13	2.764.488,43	
Industrial	TRANSMECARTR ANSPORTE METROPOLITANO DEL CARIBE	2001-134	Soledad	Subterránea	4.806.550,17	2.761.123,11	Carrera 8 No 18 -40 Diagonal Batallón de Ingenieros No 2 Vergara y Velasco
Recreacional	CONSORCIO ELIAS MUVDI	2001-049	Soledad	Subterránea	4.804.933,02	2.766.446,55	Parque Mundi, autopista calle 30

Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Atlántico , 2012)

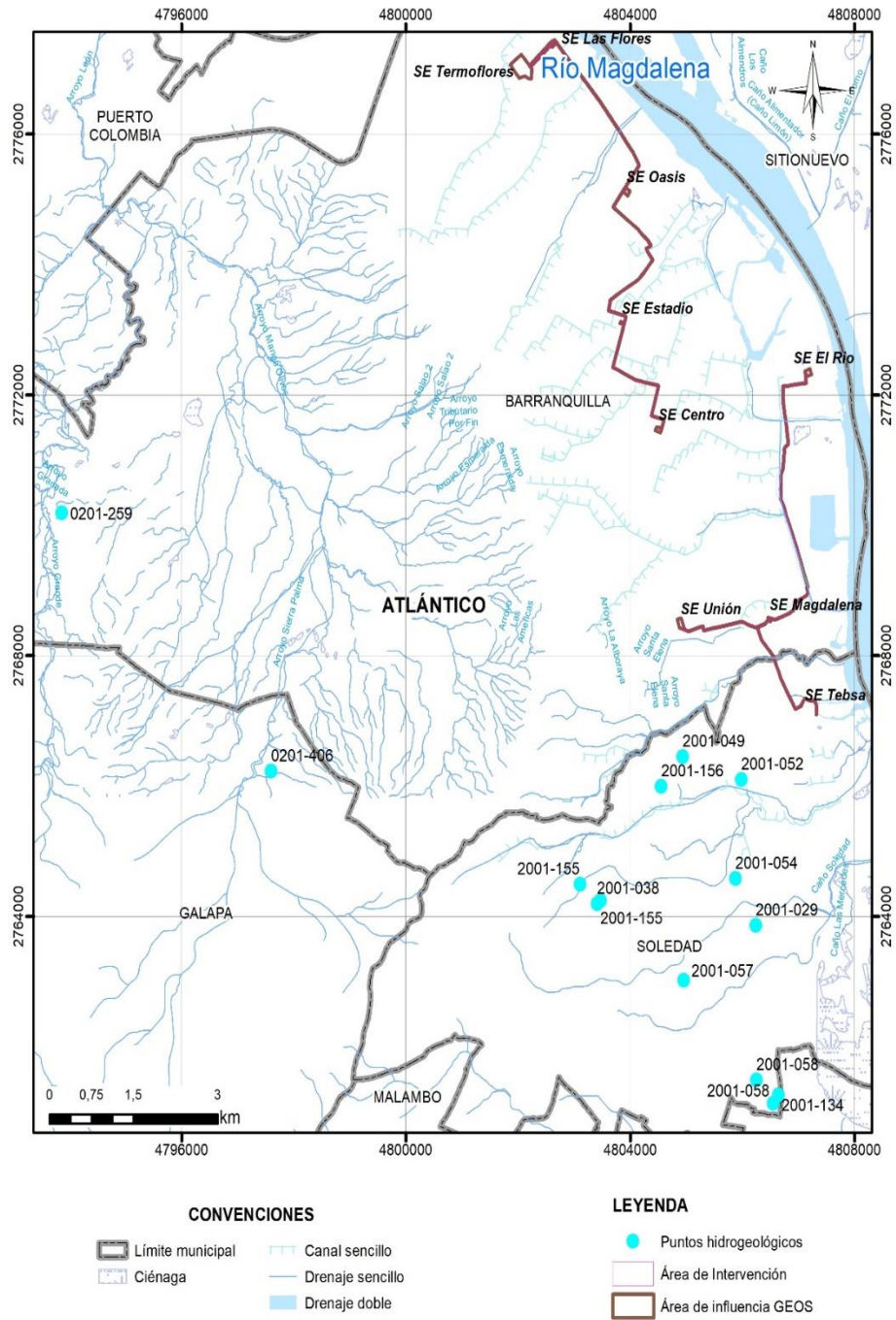


Figura 5.94 Usuarios de punto de agua subterránea

Fuente: Modificado de (CRA, 2020)

### 5.1.9.3 Unidades hidrogeológicas

La unidad hidrogeológica, definida como el conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente; se definió a partir de las características físicas y mecánicas de las rocas y el suelo, independiente de su génesis, por lo cual, la distribución espacial de estas unidades puede diferir de la distribución espacial de las unidades lito-estratigráficas. A partir de la información geológica, se presenta a continuación la información de unidades hidrogeológicas y sus características hidráulicas.

#### 5.1.9.3.1 Unidades hidrogeológicas regionales

Como se mencionó anteriormente, el sector de interés se localiza en la Provincia denominada Sinú-San Jacinto (véase Figura 5.95). El área se encuentra principalmente en el sistema acuífero Barranquilla - Sabanalarga (SAC1.5).

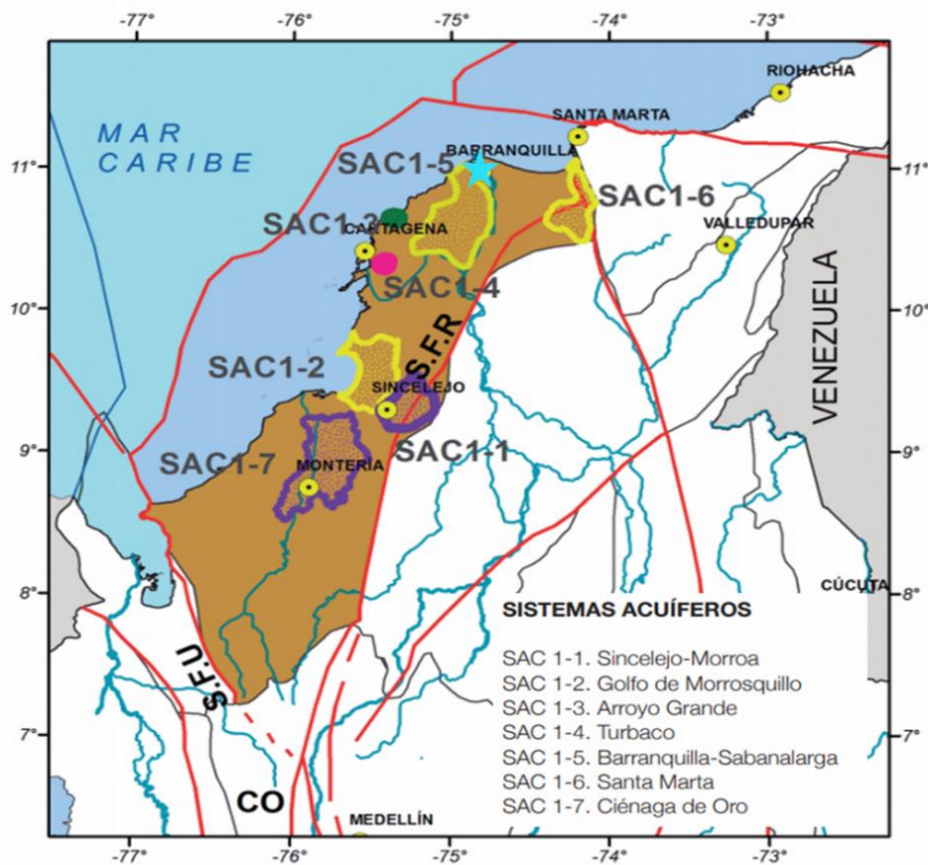


Figura 5.95 Ubicación del sistema acuífero Barranquilla- Sabanalarga (SAC 1-5) dentro de la Provincia Sinú-San Jacinto

La estrella indica el área de interés

Fuente: (IDEAM, 2013)

Según el Estudio Aguas Subterráneas en Colombia (IDEAM, 2013), el sistema acuífero Barranquilla - Sabanalarga esta conformado por unidades hidrogeológicas de porosidad primaria (depósitos de playa, eólicos, aluviales y rocas sedimentarias como areniscas y arcillolitas calcáreas), de porosidad secundaria (rocas sedimentarias como areniscas, calizas y conglomerados) y rocas impermeables (rocas sedimentarias como arcillolitas y limolitas).

#### 5.1.9.3.2 Unidades hidrogeológicas locales

La definición de las unidades hidrogeológicas en el sector de interés es el resultado de la diferenciación de las unidades geológicas de acuerdo con sus condiciones hidrogeológicas, soportada en sus características litológicas, estructurales, valores de sus principales parámetros hidráulicos y potencialidad en cuanto al almacenamiento de agua subterránea. Geológicamente el área de estudio está definida por unidades principalmente relacionadas con sedimentos de origen fluvial.

Para la caracterización de las unidades hidrogeológicas y la elaboración de la cartografía hidrogeológica, se realizó una clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico (definición de Acuíferos, Acuicludos, Acuitardos o Acuífugos), para esto se siguieron los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, adoptando la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) (Struckmeier & Margat, 1995) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC); esta se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas según: la cobertura de los acuíferos, si son regionales o locales, el potencial de rocas y/o sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea en función de la composición, edad, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada (véase Tabla 5.79).

Tabla 5.79 Clasificación general para la definición de unidades hidrogeológicas

Tonalidad	Unidad hidrogeológica	Características
<b>A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR</b>		
<b>A4</b>	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional y local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos de tipos libres a semiconfinados, que localmente pueden ser confinados, con aguas recomendables para cualquier uso	Acuíferos de muy alta productividad, capacidad específica promedio mayor de 5,0 l/s/m
<b>A3</b>	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, depositados en ambiente fluvial, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados que desarrollan acuíferos de tipos libres y semiconfinados	Acuíferos de alta productividad, capacidad específica entre 2,0 y 5,0 l/s/m
<b>A2</b>	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente marino a transicional que desarrollan acuíferos de tipo confinado. Almacenan aguas que requieren tratamientos previos para diferentes usos.	Acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m
<b>A1</b>	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, de llanura aluvial y litoral, generalmente de tipo libre y por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente marino, que desarrollan acuíferos de tipo confinados. Almacenan aguas que requieren tratamientos previos para algunos usos.	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m



Tonalidad	Unidad hidrogeológica	Características
<b>B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)</b>		
<b>B2</b>	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión regional, conformada por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas de ambiente marino. Acuíferos generalmente confinados con aguas recomendables para cualquier uso.	Acuíferos de muy alta productividad, capacidad específica promedio mayor de 5,0 l/s/m
<b>B1</b>	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas terciarias consolidadas, de ambiente marino. Acuíferos generalmente de tipo confinado con aguas que requieren tratamientos previos para algunos usos.	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m
<b>C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADO A NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.</b>		
<b>C2</b>	Complejo de sedimentos, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente lacustre, deltaicos y marinos, y que en las regiones costeras almacenan agua salada y por rocas sedimentarias terciarias, cretácicas y jurásicas poco consolidadas de origen continental y marino	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio < de 0,005 l/s/m condiciones que pueden ser variables en las regiones costeras
<b>C1</b>	Complejo de rocas ígneo-metamórficas muy compactas y en ocasiones fracturadas, de edades cretácicas a precámbricas	Muy Baja a ninguna Menor de 0,05

Fuente: (INGEOMINAS, 2000)

A partir de lo anterior, en la Tabla 5.80 se define, de acuerdo con la secuencia cronoestratigráfica definida por la geología del sector, las unidades hidrogeológicas (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-UHG-30), el tipo de sistema al que pertenecen y su importancia hidrogeológica; además, teniendo en cuenta esta información y las características de las unidades litológicas para conformar unidades con capacidad de almacenamiento se clasifica solo en el siguiente tipo:

- Acuíferos

Unidad geológica que contiene agua y permite su circulación dadas sus condiciones de permeabilidad. En esta unidad se dan acumulaciones apreciables del recurso hídrico. Los acuíferos más comunes son las arenas y gravas (materiales no consolidados), pero rocas sedimentarias permeables tales como las areniscas, calizas, rocas cristalinas fracturadas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos (Sánchez, 2014). En el área de interés afloran los depósitos aluviales asociados al río Magdalena y las calizas pertenecientes a la Formación La Popa.

Tabla 5.80 Definición de unidades hidrogeológicas de la zona de interés

Sistema acuífero	Características de los acuíferos	Unidades hidrogeológicas		
<b>A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR</b>				
<b>A1</b>	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, de llanura aluvial, generalmente de tipo libre.	Depósitos aluviales	Qa1

Sistema acuífero		Características de los acuíferos	Unidades hidrogeológicas	
<b>B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)</b>				
<b>B1</b>	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas terciarias consolidadas, de ambiente marino. Generalmente confinados.	Formación La Popa	Qpp

Fuente: Integral S.A, 2020 Modificado de (INGEOMINAS, 2000)

**A. Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular**

- A1 Sistemas acuíferos de baja productividad, con capacidades específicas entre 0,05 y 1,0 l/s/m

Estos sistemas acuíferos son discontinuos de extensión local, en el área están conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados originados en un ambiente fluvial. Acuíferos generalmente libres que almacenan aguas que requieren tratamientos previos para algunos usos.

- Depósitos aluviales (Qal)

Denominados así aquellos depósitos intermontanos y los de llanura aluvial, depósitos de derrubios acumulados en los cauces de los actuales arroyos y los valles intermontanos estrechamente relacionados a dichos arroyos localizados entre las colinas. Están compuestos por arenas, gravas, limos y arcillas de color café amarillentos que embeben fragmentos de rocas clásticas como areniscas y lodolitas.

**B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas)**

- B1 Sistemas acuíferos baja productividad, con capacidades específicas entre 0,05 y 1,0 l/s/m

Estos sistemas acuíferos son discontinuos de extensión local, en el área están conformados por rocas sedimentarias carbonatas terciarias consolidadas, de ambiente marino. Acuíferos generalmente de tipo confinado con aguas recomendables para cualquier uso.

- Formación La Popa (Qpp)

Esta unidad está compuesta en la parte inferior por un conjunto arenoso de granulometría fina y otro superior por margas y calizas arrecifales, areniscas y lodolitas calcáreas, depositadas en un ambiente marino somero. El Acuífero de La Popa es de tipo confinado abierto al mar. La transmisividad oscila entre 20 y 150 m<sup>2</sup>/día y la capacidad específica desde 0,01 hasta 1,0 l/s/m (INGEOMINAS, 2003), presenta un espesor no mayor a los 200 metros (Huguett, 1988).

Las características hidroquímicas de este acuífero, provenientes de pozos que captan las calizas arrecifales, indican que, el 40% corresponde a aguas bicarbonatadas cálcicas, el 35% a aguas cloruradas sódicas y el 25% restante al tipo bicarbonatado sódico. Por lo general el tipo de agua clorurada sódica se aprecia en aquellas captaciones más cercanas a la línea de costa (INGEOMINAS, 2003).

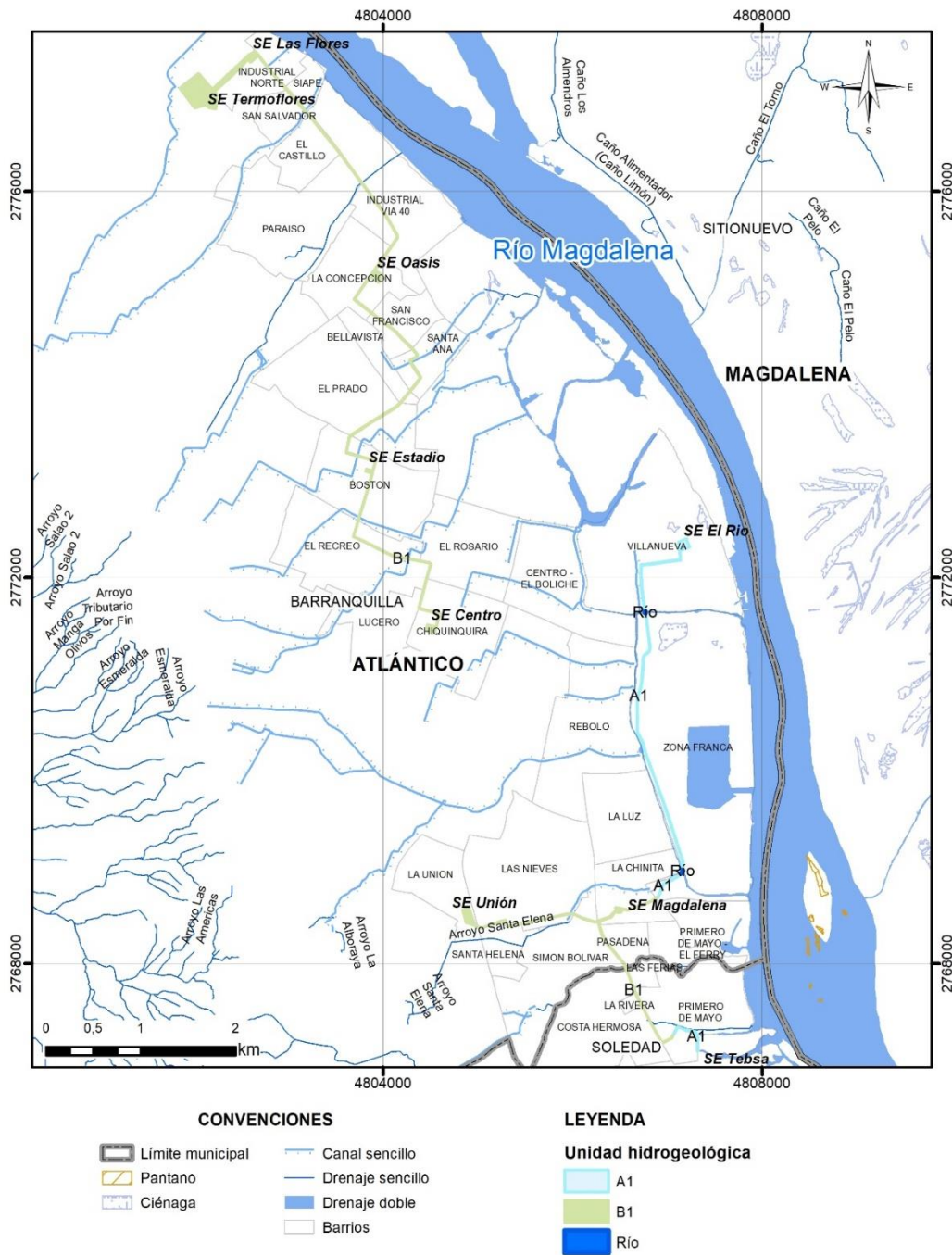


Figura 5.96 Unidades hidrogeológicas para el área de estudio

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.9.4 Zonas de recarga y descarga

La recarga de acuíferos es la cantidad de agua que entra en la zona saturada y que comienza a formar parte de las reservas subterráneas. La entrada de agua puede deberse a la escorrentía subterránea o la infiltración del agua por otras causas como movimientos horizontales por las condiciones hidráulicas del suelo. Por su parte la descarga es el sitio donde el agua aflora (superficie) y representa la fase final de recorrido del flujo subterráneo. Una zona de descarga puede estar representada por un manantial, lago, o un nivel de agua subterránea somero.

La representación esquemática de las zonas de recarga y descarga del agua subterránea se puede entender a partir de la representación de los sistemas de flujo (véase Figura 5.97). En el esquema se identifican sistemas de flujos locales en los cuales el área de recarga y descarga están cerca, y el tiempo de residencia del agua desde que entra hasta que sale del subsuelo es corto. Los sistemas de flujos intermedios y regionales tienen áreas de recarga y descarga distantes por lo que el tiempo de recorrido del agua es mucho mayor (Toth, 1963).

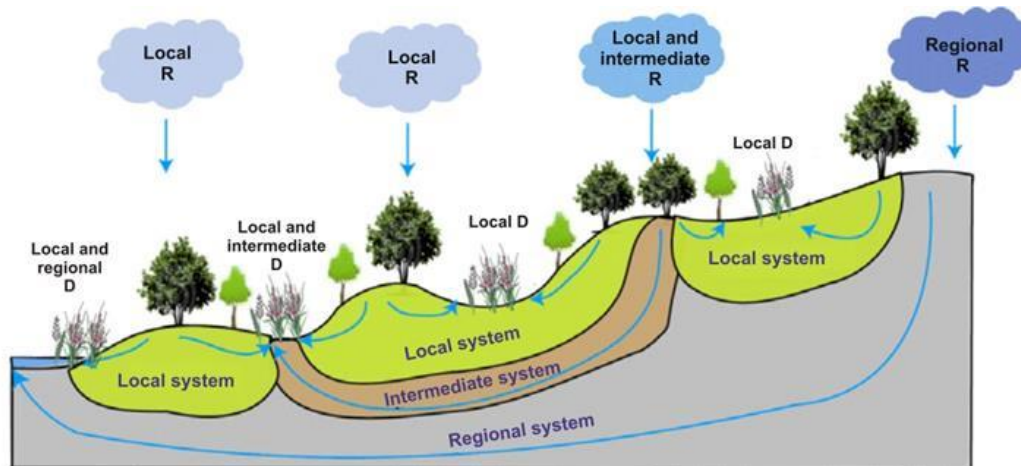


Figura 5.97 Esquema de distribución de zonas de recarga, descarga y sistemas de flujo

Fuente: <https://regionalgwflow.iah.org/regional-groundwater-flow>

En las zonas tropicales, la lluvia es la principal fuente de recarga del agua subterránea. La residencia del agua subterránea en macizos rocosos puede variar de unos pocos años en los horizontes meteorizados a miles de años en zonas profundas (Singhal & Gupta, 2010). Lo anterior indica un rápido movimiento en los horizontes meteorizados, pero mucho más lento en las zonas profundas.

En general, la fuente principal de recarga de los acuíferos de las rocas sedimentarias está constituida por la precipitación. Los acuíferos en los depósitos cuaternarios, además de la precipitación tienen como fuente de recarga las corrientes superficiales y el agua subterránea proveniente de los acuíferos terciarios que constituyen la región montañosa (Huguett, 1988).

Las regiones más favorables dentro del área, en cuanto a la infiltración son aquellas en las que afloran arenas y gravas del cuaternario o calizas arrecifales y areniscas del terciario

(Huguett, 1988). A seguir se presenta para la zona de interés, aquellos sectores que son propicios para la recarga potencial.

En cuanto a la descarga, para la zona de interés se encuentra representada por el río Magdalena y el mar Caribe.

#### 5.1.9.4.1 Estimación de zonas de recarga potencial

Para determinar las zonas de recarga potencial en el área de interés, se aplicó el Método Matus, (Matus, 2007) que involucra ponderaciones de 1 a 5 para los siguientes parámetros: Pendiente (Pend), tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal permanente (Cve) y se evalúa el uso del suelo (Us). Basada en ponderaciones se obtiene el mapa de zonas de recarga potenciales para el área de interés (véase Tabla 5.81).

Tabla 5.81 Variables y evaluación de zonas de recarga

<b>Pendiente (Pend)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>%</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
Planos a casi planos	0 - 6	5	Muy alta
Moderadamente ondulados	6 - 15	4	Alta
Ondulados / cóncavos	15 - 45	3	Moderada
Escarpados	45 - 65	2	Baja
Fuertemente escarpados	> 65	1	Muy baja
<b>Tipo de Suelo (Ts)</b>			
<b>Textura</b>	<b>Ponderación</b>		<b>Posibilidad de recarga</b>
Suelos franco-arenosos	5		Muy alta
Suelos francos	4		Alta
Suelos franco - limosos	3		Moderada
Suelos franco - arcillosos	2		Baja
Suelos arcillosos	1		Muy baja
<b>Tipo de roca (Tr)</b>			
<b>Textura</b>	<b>Ponderación</b>		<b>Posibilidad de recarga</b>
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados	5		Muy alta
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre sí, ej. arenas finas.	4		Alta
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si	3		Moderada
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si	2		Baja



Rocas impermeables	1	Muy baja
<b>Cobertura vegetal permanente (Cve)</b>		
<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
> 80%	5	Muy alta
70 - 80%	4	Alta
50 - 70%	3	Moderada
30 - 50%	2	Baja
< 30%	1	Muy baja
<b>Uso del suelo (Us)</b>		
<b>Uso del suelo</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas	5	Muy alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	4	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	3	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	2	Baja
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	1	Muy baja

Fuente: (Matus, 2007)

Luego de realizar la calificación y la ponderación a cada una de estas variables, se aplica la siguiente relación para obtener la zona potencial de recarga:

$$ZR = (0,27*Pend) + (0,23*TS) + (0,12*Tr) + (0,25*Cve) + (0,13*Us)$$

Teniendo en cuenta los valores asignados para cada variable, como resultado final se obtiene una recarga potencial ponderada para el área del Proyecto UPME STR 02-2019, como se puede apreciar en la Figura 5.98 y el mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ZRP-10.

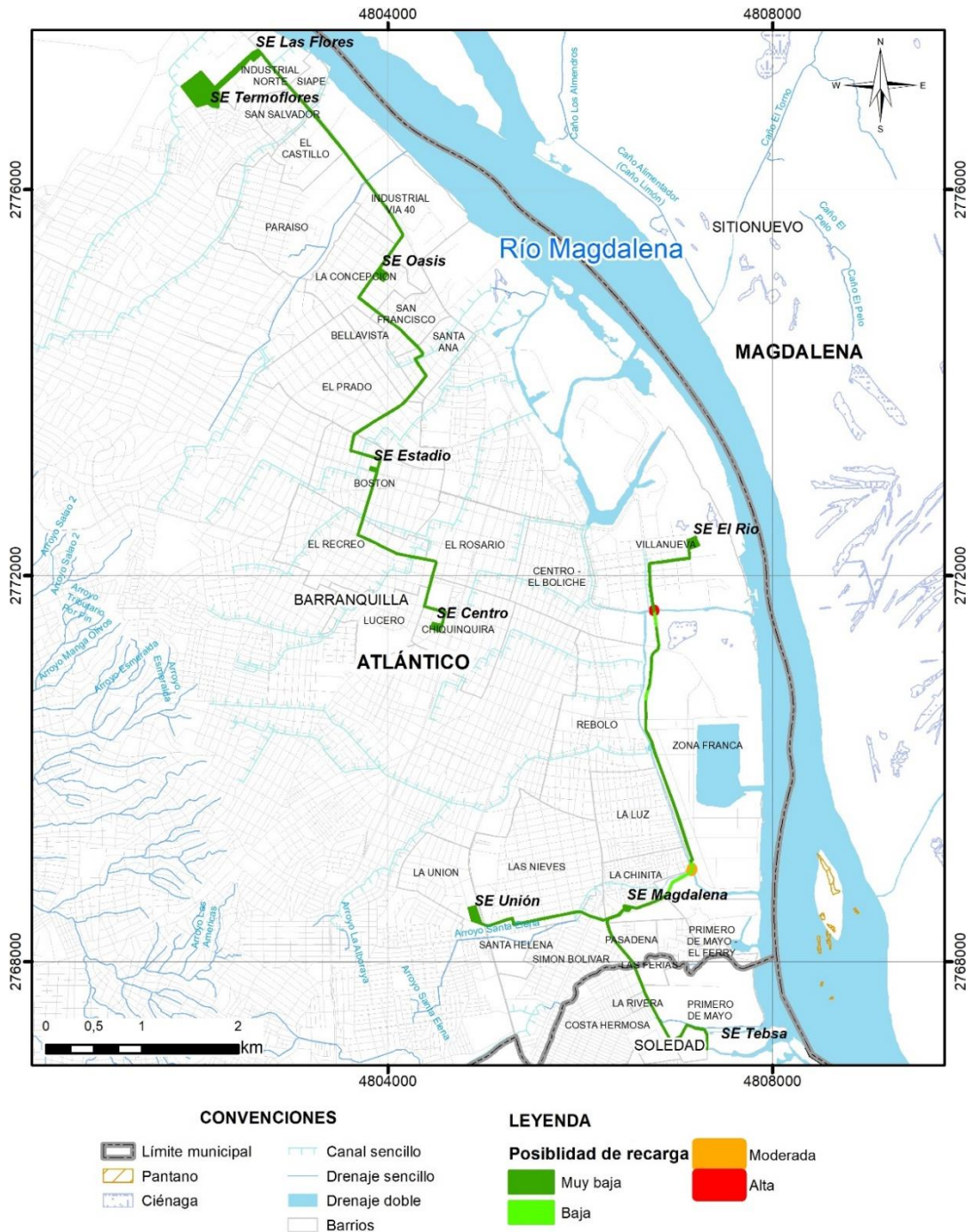


Figura 5.98 Zona de recarga potencial

Fuente: Integral S.A., 2020

En el área de interés se presentan diferentes zonas de recarga potencial, principalmente baja a muy baja debido a las características geológicas y de suelos urbanizados lo que impide el potencial de infiltración en el suelo.

#### **5.1.9.5 Dirección de flujo**

Con la estimación de las zonas de recarga y descarga, se identifican las direcciones predominantes para los flujos de agua subterránea. Es importante tener en cuenta que la circulación de los flujos de agua subterránea puede conformar en una cuenca tres tipos de sistemas de flujos: local, intermedio y regional (Toth, 1963) (véase Figura 5.99).

Para la zona del proyecto, se presentan los tres sistemas de flujos (local, intermedio y regional). Se identifican flujos de carácter local asociados a los sectores en donde el agua lluvia se infiltra directamente. También se presentan flujos intermedios y regionales debido a la cercanía de la zona de interés con el río Magdalena y el mar Caribe, siendo estos la zona de descarga regional como se mencionó anteriormente.

A nivel regional, en general la dirección de los flujos subterráneos horizontales del sistema acuífero se efectúa desde el borde de la zona montañosa hacia el río Magdalena. Algunas isopiezas trazadas en la zona costera indican que el flujo subterráneo sigue una dirección desde el borde de los valles hacia el mar. Con base en lo anteriormente expuesto se podría estimar que, a lo largo de los bordes de la región semiplana costera, las aguas subterráneas adyacentes pueden alimentar los acuíferos cuaternarios y terciarios a partir de las zonas acuíferas de las unidades terciarias que constituyen la región montañosa. El agua lluvia que se infiltra en el suelo recarga el acuífero superficial o libre en los lugares donde faltan capas arcillosas sobre el acuífero (Huguett, 1988).

El flujo subterráneo horizontal a través de los horizontes acuíferos es muy lento. Es evidente que el volumen del flujo horizontal del sistema acuífero dirigido hacia el río Magdalena y el mar Caribe no es lo suficientemente grande como para drenar toda la recarga del sistema acuífero, por lo tanto, también se descarga a través de flujos verticales ascendentes de agua subterránea (Huguett, 1988). En la Figura 5.99 se presenta la dirección de flujo para el sector de interés.

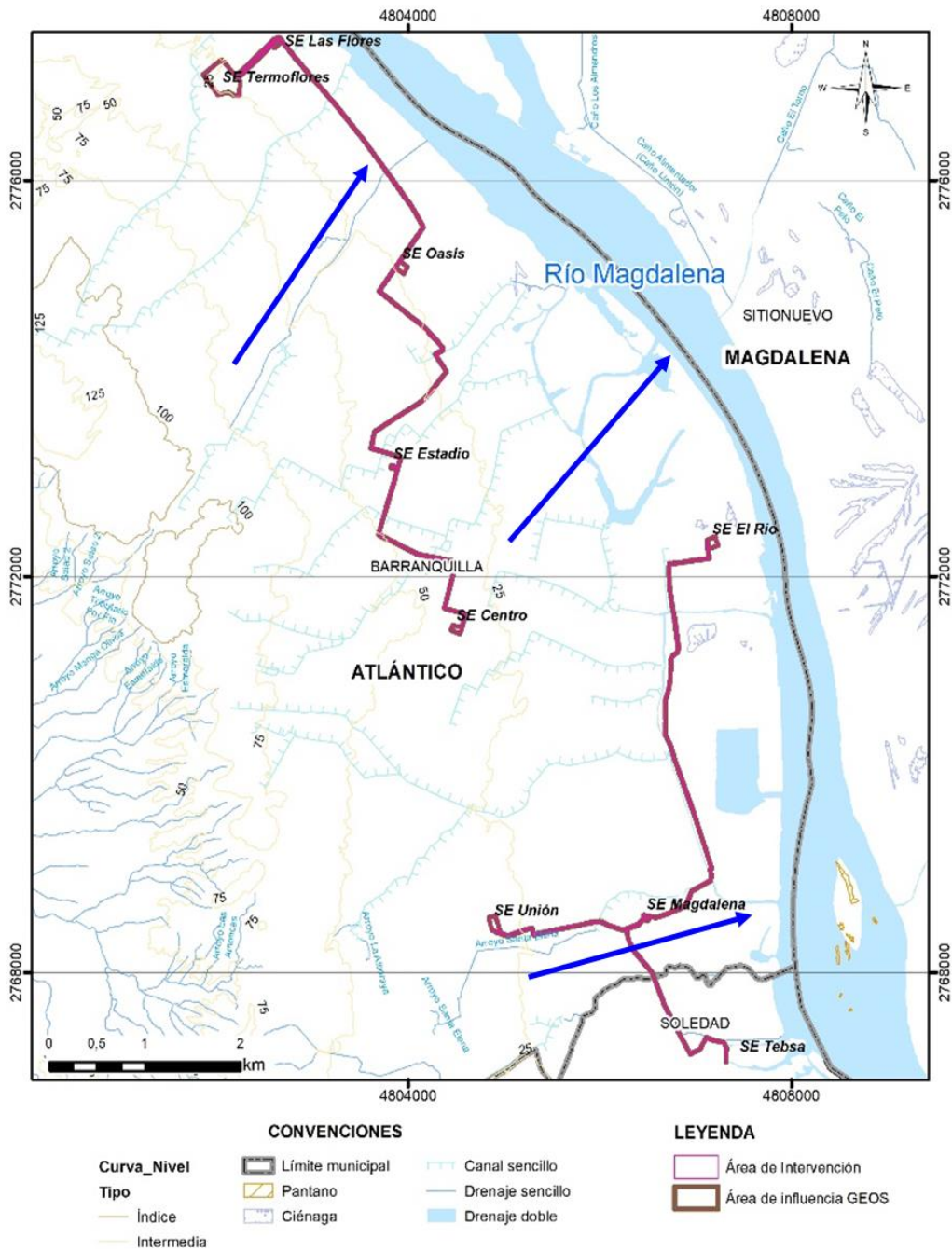


Figura 5.99 Líneas de flujo  
En azul se presenta la dirección de flujo  
Fuentes: Modificado de (INGEOMINAS, 2000)

### 5.1.10 Geotecnia

En este numeral se presenta la caracterización del área de intervención del proyecto UPME STR 02-2019 según el componente geotécnico; esta contiene tanto la zonificación geotécnica como la evaluación de las obras.

#### 5.1.10.1 Zonificación geotécnica

A partir de la información geológica, edafológica, geomorfológica, hidrogeológica y morfológica para el área del proyecto se realiza una zonificación geotécnica. Esta zonificación se deriva de la relación entre la susceptibilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa y la estabilidad geotécnica general de los terrenos propuesta por Ramírez y González (1989).

Inicialmente, deben integrarse los factores detonantes para obtener la amenaza por procesos de remoción en masa; el primero de ellos es el factor precipitación, al cual según la información de precipitación media anual (PMA), se le asigna una calificación de uno (1), ubicándose en la categoría de amenaza Muy Baja. En segundo lugar, se tiene el factor sismicidad que depende de la ubicación del área de influencia en la zonificación de amenaza sísmica de Colombia; para los municipios de Barranquilla y Soledad, esta zonificación asigna un valor de  $A_a=0,10g$ , el cual corresponde a una amenaza por sismicidad baja, de tal modo que se le asigna el valor dos (2) (véase Figura 5.100).



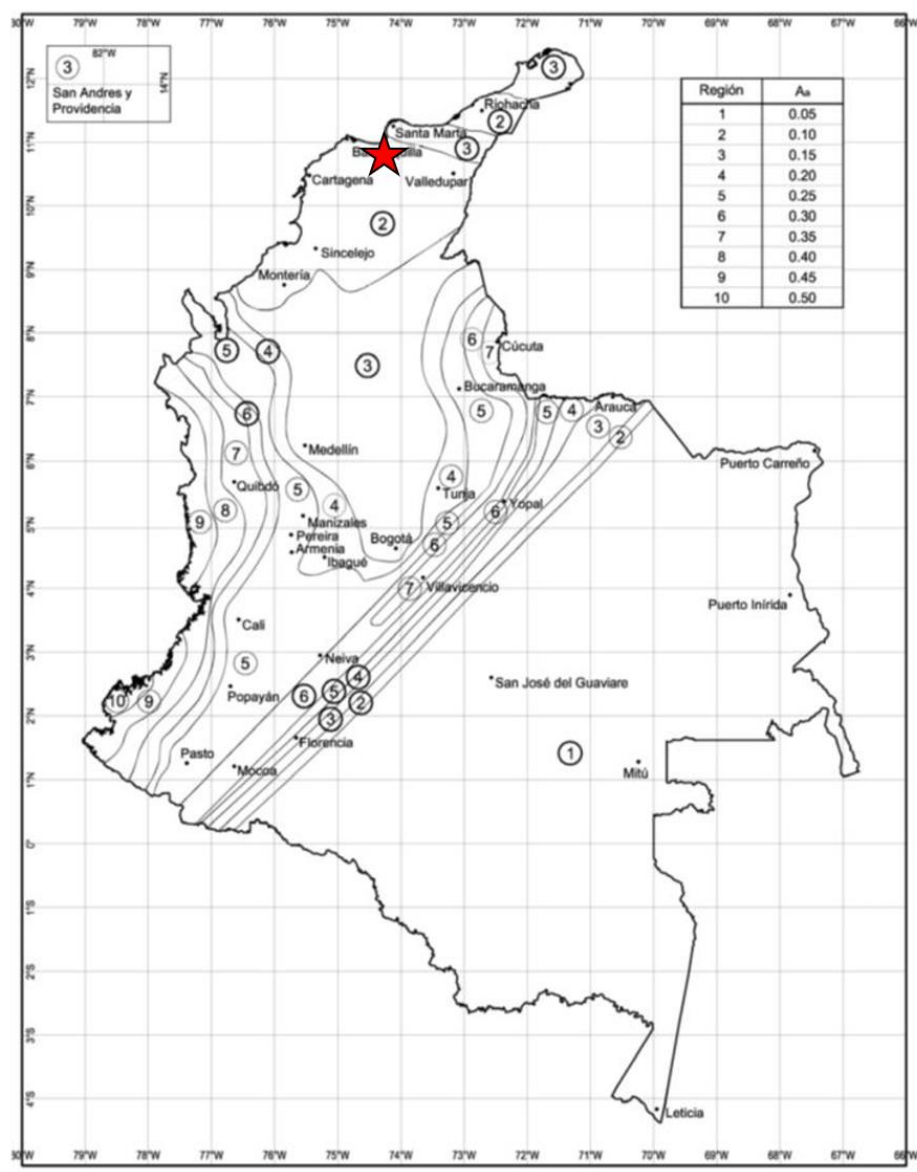


Figura 5.100 Mapa de valores de Aa. El círculo rojo indica la localización del proyecto

Fuente: NSR-10, 2010

Para obtener la amenaza por procesos de remoción en masa, se efectúa el producto entre el valor reclasificado de susceptibilidad por procesos de remoción en masa que, según el numeral 5.1.4.3.7 es de uno (1), y la suma de los dos factores detonantes y se clasifica según la Tabla 5.82 para obtener igualmente una amenaza por procesos de remoción en masa Muy Baja en toda el área de influencia.

Tabla 5.82 Clasificación de la amenaza por procesos de remoción en masa

Amenaza ante procesos de remoción en masa	Categoría de Amenaza
---	----------------------

<9	<b>Muy Baja</b>
9-12	<b>Baja</b>
12-18	<b>Media</b>
18-24	<b>Alta</b>
>25	<b>Muy Alta</b>

Fuente: Modificado de Consultoría Colombiana, 2015

En la Tabla 5.83 se presenta la correlación entre la amenaza por procesos de remoción en masa y la categoría de estabilidad geotécnica según Ramírez y González (1989).

Tabla 5.83 Correlación entre amenaza por movimientos en masa y categorías de estabilidad geotécnica

<b>Grado de amenaza por procesos de remoción en masa</b>	<b>Categoría de estabilidad geotécnica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Muy baja</b>	Zonas estables o independientes	Zonas que se consideran estables a partir del análisis comparativo entre variables. Incluyen pendientes que no presentan inestabilidad y zonas de planicies.
<b>Baja</b>	Zonas estables poco dependientes	Pendientes que no presentan evidencias de deslizamiento, pero pueden desarrollar procesos morfodinámicos dependiendo del manejo de la ladera.
<b>Media</b>	Zonas estables moderadamente dependientes	Pendientes que puntualmente presentan evidencia de deslizamientos antiguos cuya reactivación depende del manejo de la ladera.
	Zonas estables muy dependientes	Pendientes con evidencias locales de deslizamientos antiguos y recientes.
<b>Alta</b>	Zonas inestables recuperables	Pendientes con evidencia de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores, pero que no han sufrido cambios en el registro histórico. Las formas de erosión son evidentes.
<b>Muy alta</b>	Zonas de inestabilidad alta	Pendientes que presentan deslizamientos frecuentes o reactivación de deslizamientos antiguos y con deslizamientos activos. Los procesos de inestabilidad no son regulares y se asocian a eventos espaciados varios años y periodos de lluvia

Fuente: Modificado de Ramírez & González (1989)

Considerando entonces que la totalidad del área de influencia del proyecto se ubicó bajo la categoría Muy Baja de amenaza por procesos de remoción en masa, se concluye entonces que esta área corresponde a una Zona estable o independiente de acuerdo con las categorías de estabilidad geotécnica. La Figura 5.101 presenta el mapa de zonificación geotécnica para el área de intervención correspondiente al mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ZGT-10.

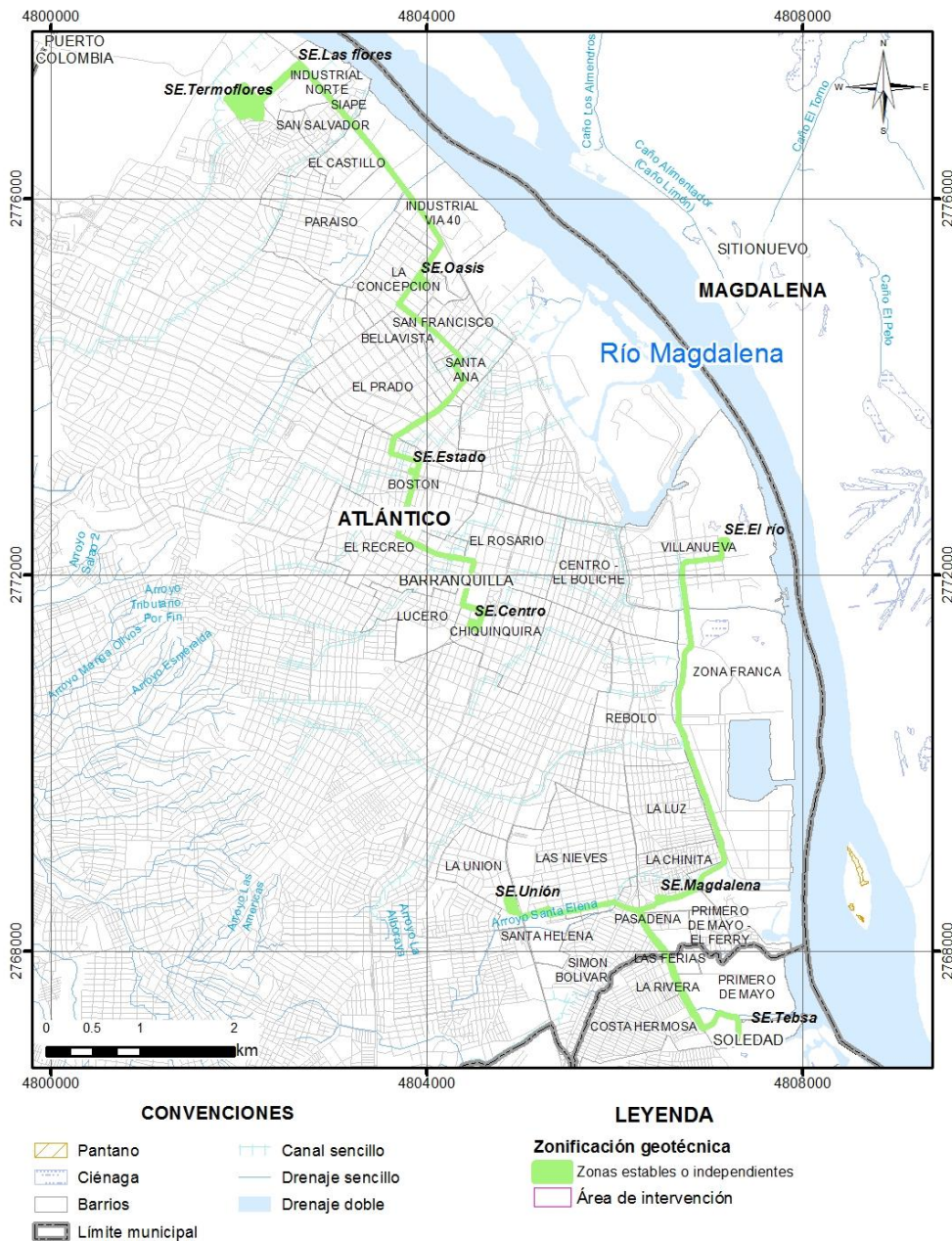


Figura 5.101 Zonificación geotécnica del área de intervención

Fuente: Integral S.A., 2020

Debido a la predominancia de terrenos de pendientes muy bajas y de coberturas de suelo asociadas a adecuaciones antrópicas como redes viales, zonas urbanas, comerciales y portuarias y a la ausencia de procesos morfodinámicos, tanto activos como antiguos, el resultado de la zonificación geotécnica es acorde con las condiciones actuales de los

terrenos del área de influencia. No existen factores intrínsecos de naturaleza geológica, geomorfológica, hidrogeológica o edafológica que promuevan la ocurrencia de procesos de remoción en masa, además, la influencia de los factores detonantes (sismicidad y precipitación) es particularmente baja para el área de influencia, de tal modo que la estabilidad geotécnica del terreno es muy alta.

#### **5.1.10.2 Estudios geotécnicos**

Las condiciones geotécnicas de los terrenos están relacionadas con las propiedades de los materiales y los respectivos estudios de suelos del proyecto; según la información sobre exploraciones del subsuelo ejecutadas para determinar la capacidad portante del terreno, la resistencia a la compresión de los materiales, los resultados de los análisis de laboratorio sobre las muestras recuperadas y finalmente las recomendaciones constructivas.

Las líneas de transmisión del Proyecto UMPE STR 02-2019, se realizará con tecnología de construcción tipo Zanja a Cielo Abierto, con excavaciones de aproximadamente 1,30 m y en algunos casos 2,50 m. Además, donde se requiera, se utilizará el método de Perforación Horizontal Dirigida PHD o método Pipe Jacking, estos dos últimos como métodos sin zanja. Es importante mencionar que este trazado cruza zona urbana de Barranquilla y Soledad, a lo largo de un corredor vial existente de condiciones topográficas planas. A continuación, se presentan los estudios geotécnicos incluyendo condiciones detalladas, si es el caso para cada una de líneas subterráneas de circuito sencillo a 110 kV entre las subestaciones eléctricas Las Flores - Termoflores – Oasis – Estadio – Río – Tebsa – Magdalena – Unión y Centro.

##### **5.1.10.2.1 Localización de las líneas**

A continuación, se presenta una localización y una breve descripción de cada una de las líneas proyectadas.

#### **A. Línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis**

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Termoflores y Oasis a 110 kV, tiene una longitud aproximada a 3,6 km (véase Figura 5.102).



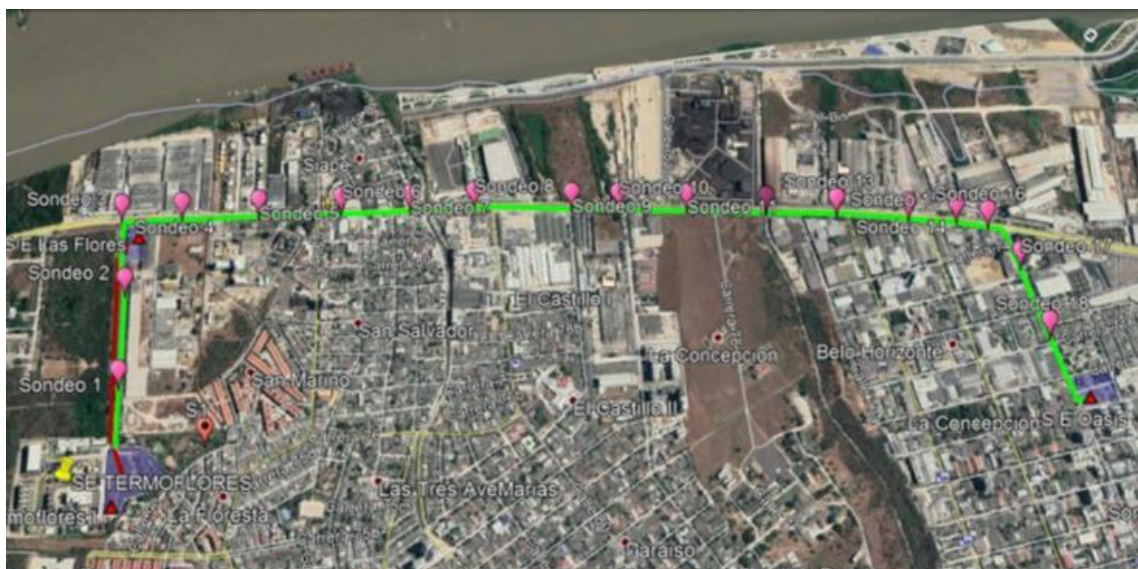


Figura 5.102 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)

B. Línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas El Oasis y Estadio a 110 kV, con una longitud aproximada a 3,46 km (véase Figura 5.103).

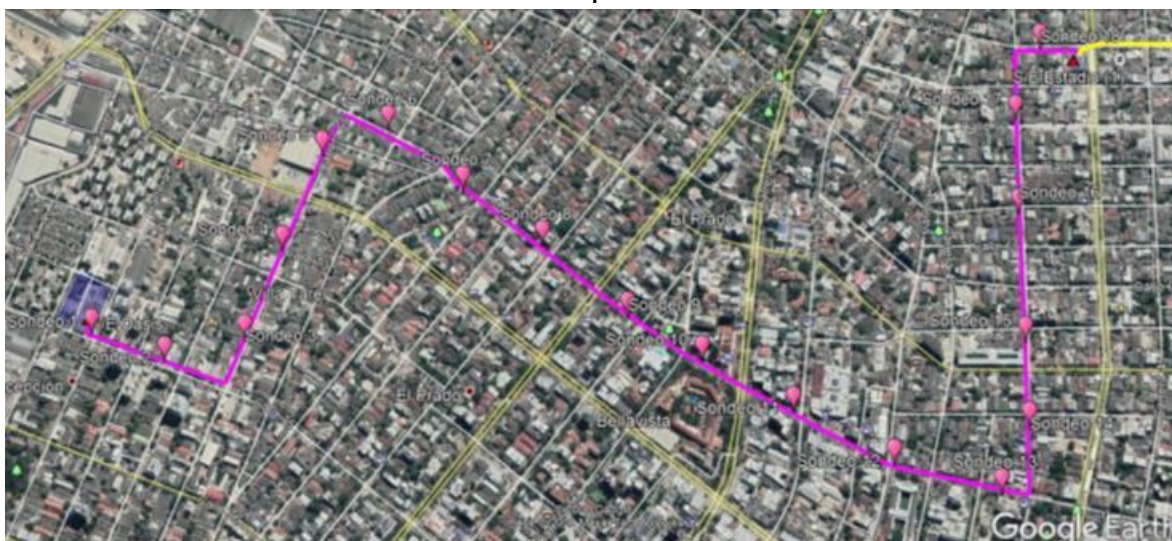


Figura 5.103 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)



### C. Línea subterránea entre S.E. Estadio – S.E. Centro

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Estadio y Centro a 110 kV, con una longitud aproximada a 3,00 km (véase Figura 5.104).



Figura 5.104 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Estadio – S.E. Centro

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)

### D. Línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Las Flores y Termoflores a 110 kV, con una longitud aproximada de 0,65 km.

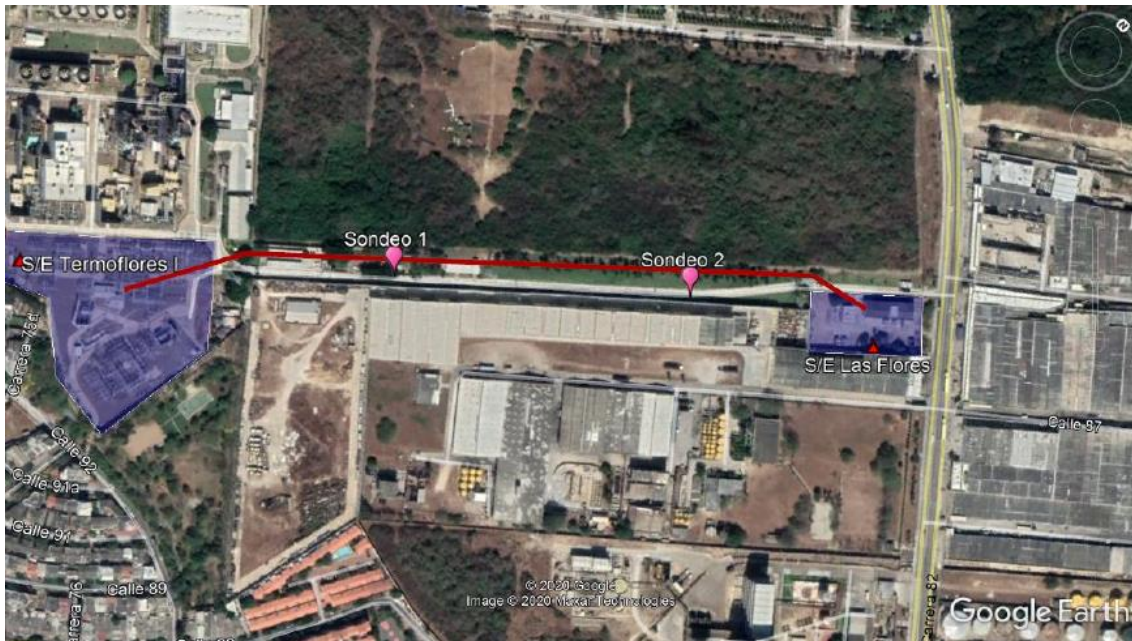


Figura 5.105 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)

#### E. Línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Río y Magdalena a 110 kV, con una longitud aproximada de 4,96 km.

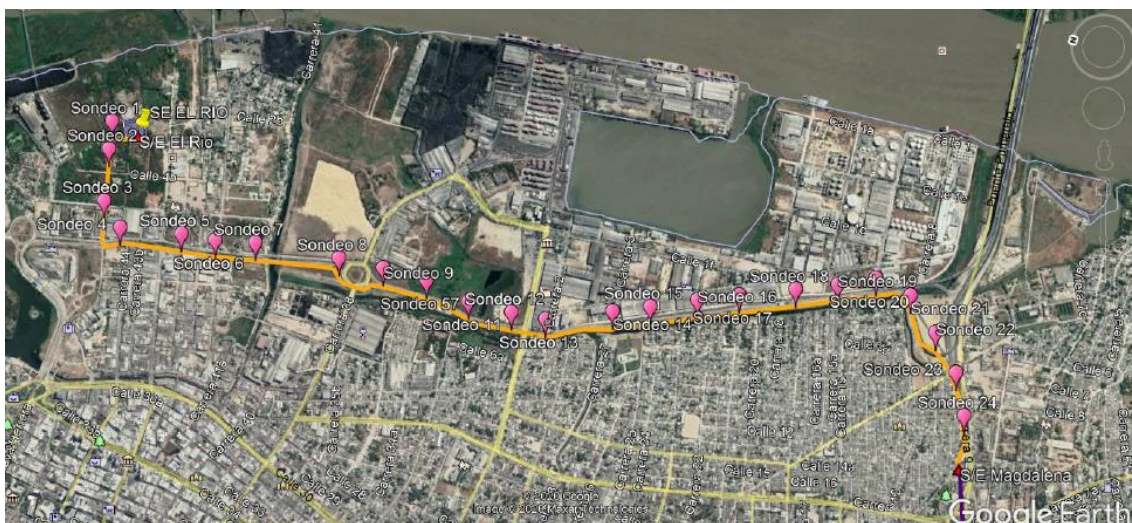


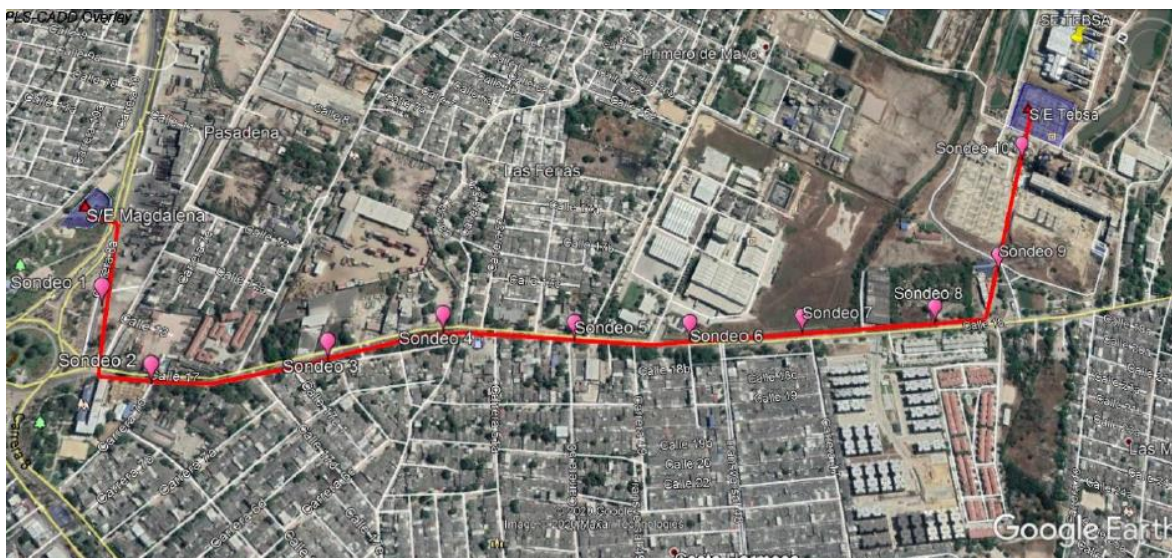
Figura 5.106 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)



**F. Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa**

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Magdalena y Tebsa a 110 kV, con una longitud aproximada de 2,13 km.



**Figura 5.107 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa**

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)

**G. Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión**

El proyecto que corresponde al diseño del trazado de las obras civiles de la línea de transmisión subterránea de circuito sencillo entre las subestaciones eléctricas Magdalena y Unión a 110 kV, con una longitud aproximada de 1,70 km.

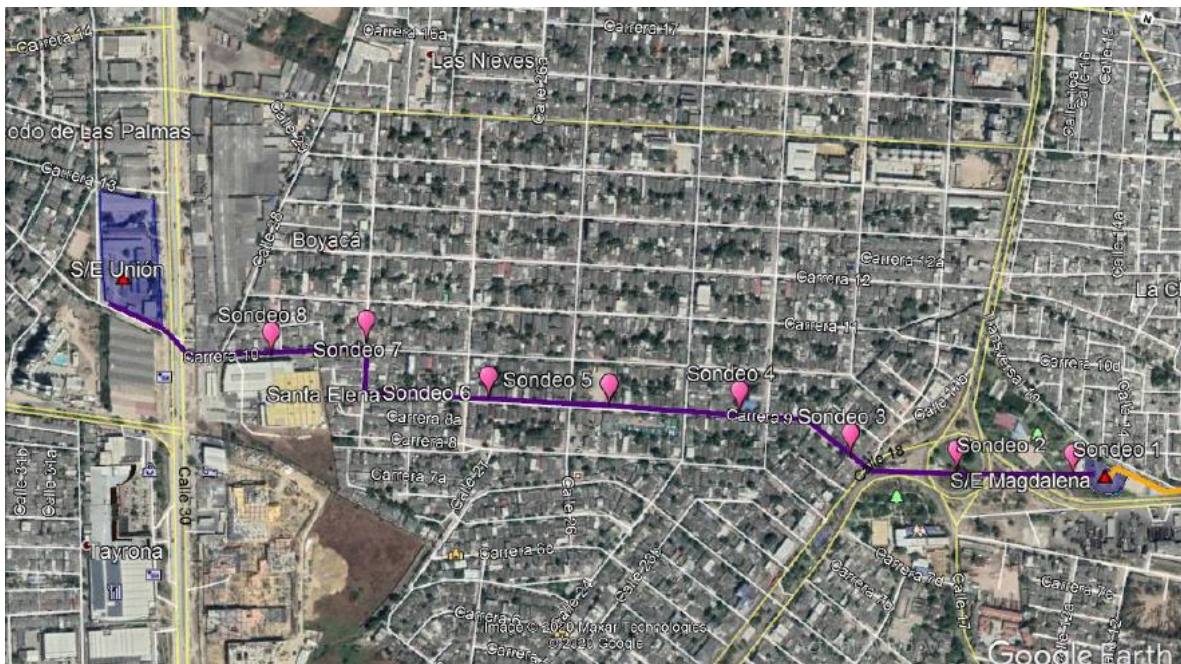


Figura 5.108 Trazado de la línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión

Fuente: Modificado de Google Earth por (ISES, 2020)

#### 5.1.10.2 Localización de las subestaciones

##### A. S.E. Estadio

La Subestación Estadio se encuentra entre la calle 60 y la Avenida Olaya Herrera, está vía hace parte de los corredores viales de mayor jerarquía que actúan como soporte a la movilidad, accesibilidad y conexión del ámbito urbano con los corredores viales regionales y nacionales.



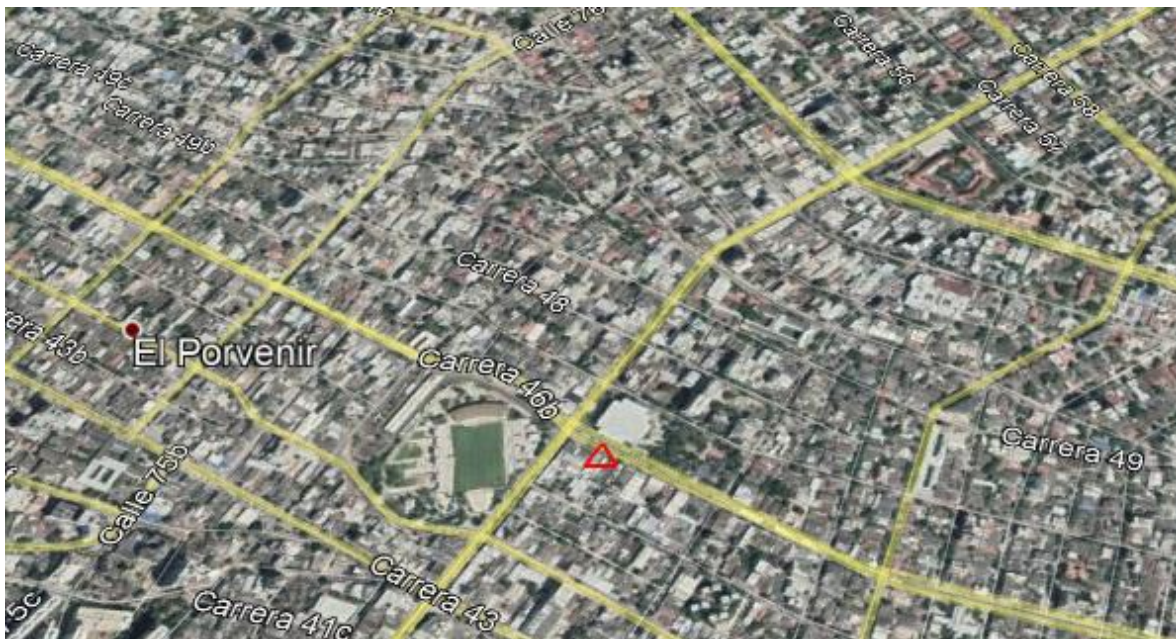


Figura 5.109 Localización de la Subestación Eléctrica (S.E.) Estadio

Fuente: Google Earth

### 5.1.10.3 Exploración del subsuelo

Durante la ejecución de los sondeos se realizaron ensayos de penetración estándar para muestras con contenidos de arcillas y se obtuvieron muestras alteradas en Split de cuchara partida tipo SPT en suelos de compacidad suelta a muy densa. Los ensayos de penetración estándar (SPT) se llevan a cabo con un martillo de 140 Lb de peso, el cual se deja caer desde una altura de 30 pulgadas (ASTM D 1586-92). El valor de la resistencia a la penetración estándar (valor N) se obtiene como el número de golpes requeridos para introducir el tubo muestreador (Split Spoon), después de hacerlo penetrar 150 mm.

Se elaboraron los registros de perforación, describiendo el perfil estratigráfico, basado en las características macroscópicas de los materiales que constituyen el subsuelo durante la ejecución de los sondeos, las cuales se ajustaron con los resultados de los ensayos de laboratorio. Para determinar los parámetros geomecánicos de resistencia al esfuerzo de corte y de compresibilidad, se utilizaron correlaciones con el ensayo SPT.

A continuación, se detallan las exploraciones ejecutadas para cada una de las líneas en estudio.

#### 5.1.10.3.1 Línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Termoflores – S.E. Oasis, se ejecutaron 18 sondeos por métodos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor con profundidades entre los dos y los seis metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo. En la



Fotografía 5.22 se muestra un registro fotográfico de algunas de las exploraciones ejecutadas.



Fotografía 5.22 Sondeos mecánicos ejecutados en la línea subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.84 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a la línea subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis. Es importante mencionar, que en estos sondeos el nivel freático no fue detectado en ninguna de las exploraciones, fuese como producto de escorrentías superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática.

Tabla 5.84 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
S3	6,00	4.802.645,99	2.777.450,09	No detectado
S4	6,00	4.802.754,16	2.777.323,81	No detectado
S5	6,00	4.802.892,47	2.777.161,71	No detectado
S6	4,50	4.803.043,19	2.776.994,01	No detectado
S7	4,50	4.803.169,17	2.776.850,72	No detectado
S8	2,00	4.803.285,20	2.776.715,79	No detectado
S9	2,50	4.803.452,65	2.776.504,68	No detectado
S10	4,50	4.803.534,28	2.776.403,74	No detectado

S11	6,00	4.803.649,92	2.776.255,30	No detectado
S12	5,50	4.803.783,00	2.776.079,42	No detectado
S13	3,00	4.803.898,30	2.775.925,45	No detectado
S14	3,40	4.804.013,87	2.775.763,80	No detectado
S15	2,50	4.804.090,62	2.775.657,67	No detectado
S16	2,90	4.804.130,83	2.775.581,56	No detectado
S17	3,50	4.804.083,29	2.775.448,23	No detectado
S18	1,50	4.803.966,07	2.775.281,83	No detectado

Fuente: ISES, 2020

### 5.1.10.3.2 Línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea de 110 kv S.E. Oasis – S.E. Estadio, se ejecutaron 18 sondeos por métodos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor, estas exploraciones del subsuelo varían en profundidades entre 1,60 a 6,00 m, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo. En la Fotografía 5.23 se muestran algunos de los sondeos ejecutados.



Fotografía 5.23. Sondeos mecánicos ejecutados en la línea subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.85 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado. Es importante mencionar, que en estos sondeos el nivel freático no fue detectado en ninguna de las exploraciones, fuese como producto de escorrentías

superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática.

Tabla 5.85 Datos de referencia de las exploraciones ejecutadas en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
S1	1,60	4.803.867,04	2.775.114,40	No detectado
S2	3,20	4.803.773,10	2.774.985,03	No detectado
S3	2,90	4.803.771,52	2.774.822,86	No detectado
S4	3,50	4.803.923,19	2.774.708,60	No detectado
S5	1,90	4.804.088,15	2.774.585,67	No detectado
S6	2,20	4.804.102,18	2.774.445,52	No detectado
S7	2,40	4.803.940,67	2.774.333,75	No detectado
S8	6,00	4.803.791,24	2.774.212,08	No detectado
S9	4,50	4.803.607,51	2.774.091,24	No detectado
S10	1,70	4.803.486,35	2.773.978,01	No detectado
S11	4,00	4.803.345,30	2.773.837,55	No detectado
S12	5,00	4.803.198,10	2.773.684,24	No detectado
S13	5,50	4.803.091,42	2.773.507,95	No detectado
S14	5,20	4.803.195,28	2.773.417,32	No detectado
S15	6,00	4.803.352,21	2.773.370,92	No detectado
S16	6,00	4.803.595,20	2.773.302,19	No detectado
S17	6,00	4.803.775,46	2.773.248,90	No detectado
S18	6,00	4.803.899,96	2.773.159,69	No detectado

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.3.3 Línea subterránea entre S.E. Estadio – S.E. Centro

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea subterránea 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro, se ejecutaron 11 sondeos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor. La profundidad de las exploraciones varió entre los dos y seis metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo a sondeos elaborados por métodos mecánicos. En la Fotografía 5.24 se muestran algunos de los sondeos ejecutados.





Fotografía 5.24 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.86 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado. Es importante mencionar, que en estos sondeos el nivel freático no fue detectado en ninguna de las exploraciones, fuese como producto de escorrentías superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática.

Tabla 5.86 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
S1	6,00	4.803.840,25	2.772.918,92	No detectado
S2	6,00	4.803.774,59	2.772.698,46	No detectado
S3	4,50	4.803.713,22	2.772.534,79	No detectado
S4	6,00	4.803.783,26	2772.370,65	No detectado
S5	5,50	4.803.954,82	2.772.283,01	No detectado
S6	4,20	4.804.171,03	2.772.201,55	No detectado
S7	2,30	4.804.491,24	2.772.102,27	No detectado
S8	4,50	4.804.440,96	2.771.915,81	No detectado
S9	2,10	4.804.389,71	2.771.717,68	No detectado
S10	2,50	4.804.515,82	2.771.643,21	No detectado

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
S11	2,20	4.804.577,02	2.771.522,75	No detectado

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.3.4 Línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E Termoflores

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Las Flores – S.E. Termoflores, se ejecutaron dos sondeos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor. La profundidad de las exploraciones varió entre 3,50 y 4,50 metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo.

En la Tabla 5.87 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado. Es importante mencionar, que en estos sondeos el nivel freático no fue detectado en ninguna de las exploraciones, fuese como producto de escorrentías superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática y bajo las condiciones actuales, para la ejecución de las cimentaciones en la subestación, no se espera utilizar sistema de abatimientos de aguas.

Tabla 5.87 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
S1	3,50	11°1'37.32"	74°48'36.90"	No detectado
S2	4,50	11°1'43.73"	74°48'29.55"	No detectado

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.3.5 Línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Río – S.E. Magdalena, se ejecutaron 24 sondeos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor. La profundidad de las exploraciones varió entre los cuatro y seis metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo. En la Fotografía 5.25 se muestran algunos de los sondeos ejecutados.





Fotografía 5.25 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.88 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado, además de la profundidad del nivel freático detectado en cada una de las exploraciones.

Tabla 5.88 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
1	6,00	10°59'5.25"	74°45'57.92"	1,30
2	4,80	10°59'4.78"	74°46'1.87"	1,40
3	6,00	10°59'3.89"	74°46'9.27"	1,50

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
4	6,00	10°59'0.90"	74°46'12.54"	2,40
5	6,00	10°58'52.26"	74°46'11.54"	2,30
6	6,00	10°58'47.41"	74°46'11.34"	2,40
7	6,00	10°58'41.83"	74°46'10.46"	2,00
8	6,00	10°58'29.91"	74°46'10.03"	2,50
9	6,00	10°58'23.53"	74°46'10.05"	2,80
10	6,00	10°58'17.19"	74°46'10.47"	2,50
11	6,00	10°58'10.79"	74°46'12.10"	2,70
12	6,00	10°58'4.56"	74°46'12.26"	2,50
13	6,00	10°57'59.67"	74°46'12.19"	2,50
14	6,00	10°57'50.68"	74°46'9.00"	2,50
15	6,00	10°57'45.66"	74°46'7.19"	2,50
16	6,00	10°57'39.36"	74°46'4.81"	2,50
17	6,00	10°57'33.77"	74°46'2.81"	2,20
18	6,00	10°57'26.19"	74°46'0.28"	3,00
19	6,00	10°57'20.57"	74°45'58.30"	2,80
20	6,00	10°57'15.51"	74°45'56.26"	3,00
21	6,00	10°57'10.22"	74°45'57.55"	3,00
22	6,00	10°57'5.69"	74°46'2.00"	3,50
23	5,0	10°57'1.76"	74°46'6.96"	3,20
24	4,0	10°56'59.41"	74°46'12.71"	2,50

Fuente: (ISES, 2020)

Bajo las condiciones actuales, para la ejecución de las cimentaciones de la línea subterránea, se espera utilizar sistema de abatimientos de aguas; es importante aclarar que los niveles de agua freática pueden fluctuar de acuerdo con la temporada.

#### 5.1.10.3.6 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Magdalena – S.E. Tebsa, se ejecutaron 11 sondeos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor. La profundidad de las exploraciones varió entre los 2,50 y 6,0 metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo. En la Fotografía 5.26 se muestran algunos de los sondeos ejecutados.





Fotografía 5.26 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.89 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado. El nivel freático fue detectado en tres de las exploraciones ejecutadas con un mínimo de 1,30 y máximo de 4,0 metros, fuese como producto de escorrentías superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática.

Tabla 5.89 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
1	2,5	10°56'55.65"	74°46'21.63"	No detectado
2	5,5	10°56'51.50"	74°46'24.11"	No detectado
3	4,9	10°56'44.59"	74°46'19.39"	No detectado
4	5,0	10°56'40.08"	74°46'15.56"	4,0
5	6,0	10°56'33.81"	74°46'13.03"	2,3
6	3,5	10°56'28.37"	74°46'10.27"	No detectado
7	3,0	10°56'22.96"	74°46'7.24"	No detectado
8	4,0	10°56'16.25"	74°46'3.34"	No detectado
9	3,3	10°56'14.79"	74°46'0.87"	No detectado
10	3,9	10°56'16.76"	74°45'58.49"	No detectado
11	6,0	10°56'19.14"	74°45'55.59"	1,40

Fuente: (ISES, 2020)

Bajo las condiciones actuales, para la ejecución de la cimentación de la línea en algunos sectores será necesario utilizar sistema de abatimientos de aguas freáticas.; es importante aclarar que los niveles de agua freática pueden fluctuar de acuerdo con la temporada.

### 5.1.10.3.7 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión

Con el fin de caracterizar los materiales existentes en el trazado de la Línea Subterránea 110 kv S.E. Magdalena – S.E. Unión, se ejecutaron ocho sondeos mecánicos, con lo que fue posible conocer los materiales del subsuelo presentes en este corredor. La profundidad de las exploraciones varió entre los 3,80 y 6,0 metros, no pudiéndose avanzar en algunos sondeos a mayor profundidad debido a la condición de rechazo que presentó el suelo. En la Fotografía 5.27 se muestran algunos de los sondeos ejecutados.







Fotografía 5.27 Sondeos mecánicos ejecutados en la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión

Fuente: (ISES, 2020)

En la Tabla 5.90 se definen profundidades y coordenadas de los sondeos correspondientes a este trazado. Es importante mencionar, que en estos sondeos el nivel freático no fue detectado en ninguna de las exploraciones, fuese como producto de escorrentías superficiales, infiltraciones o productos de aguas del subsuelo, aunque estos pueden fluctuar de acuerdo con la temporada climática.

Tabla 5.90 Datos de referencia de las exploraciones de la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión

Sondeo	Profundidad (m)	Coordenadas		Nivel freático
		X	Y	
1	5,0	10°56'58.48"	74°46'19.18"	No detectado
2	6,0	10°56'57.13"	74°46'25.24"	No detectado
3	5,0	10°56'56.52"	74°46'30.86"	No detectado
4	4,0	10°56'57.19"	74°46'37.13"	No detectado
5	4,5	10°56'55.78"	74°46'43.83"	No detectado
6	4,2	10°56'54.58"	74°46'50.07"	No detectado
7	3,8	10°56'55.74"	74°46'56.99"	No detectado
8	4,5	10°56'53.89"	74°47'1.60"	No detectado

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4 Ensayos de Laboratorio

En cada uno de los sondeos ejecutados se tomaron muestras de naturaleza alterada, las cuales se consideran representativas del perfil natural del terreno. Las muestras recuperadas se analizaron inicialmente en forma visual, y se seleccionaron algunas para ser sometidas en el laboratorio a los ensayos principales de acuerdo con las necesidades del estudio y a las características de los suelos encontrados, para finalmente determinar los parámetros geomecánicos de resistencia al esfuerzo de corte y de compresibilidad, además se utilizaron correlaciones con el ensayo SPT.

Entre los ensayos de laboratorio ejecutados se definen:

- Humedad Natural
- Límites de Atterberg
- Granulometrías
- Peso unitario

A continuación, se determinan para cada una las líneas estudiadas los respectivos ensayos de laboratorio y sus resultados.

##### 5.1.10.4.1 Línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Para este trazado fueron llevados a cabo 108 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.91 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.91 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	36
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	36
Humedad natural	INV-E-122	36

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.92 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.92 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite líquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena limosa mal gradada color café	6,07 – 11,74	3,41 – 4,16	N.L	N.P	N.I.P	-	SP - SM
Arena mal gradada color café	3,55	3,01	N.L	N.P	N.I.P	-	SP
Arena limosa y arena limosa	125,65 – 44,15	2,51 – 10,41	18,24 – 19,08	14,49 – 15,19	3,70 – 3,94	-	SM

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
(caliche) de color amarillo y café							
Arena arcillosa y arena arcillosa (caliche) en color café y amarillo	23,41 – 41,16	3,39 – 11,25	22,20 – 29,25	14,60 – 17,73	7,60 – 12,63	-	SC
Arena limosa bien gradada de color café y amarilla	7,98 – 11,15	2,41 – 3,00	N.L	N.P	N.I.P	-	SW - SM
Arena limosa arcillosa (caliche) de coloraciones café y amarillo	20,67 – 38,15	6,72 – 11,65	17,82 – 22,30	13,58 – 16,25	4,24 – 6,44	-	SM - SC
Limo de baja plasticidad (caliche) de color amarillo	53,18	11,58	N.L	N.P	N.I.P	32 - 35	ML

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.2 Línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio

Para este trazado fueron llevados a cabo 138 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.93 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.93 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	46
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	46
Humedad natural	INV-E-122	46

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.94 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.94 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite líquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena arcillosa y arena arcillosa (caliche) de color café con vetas amarillas y grises	18,66 – 49,42	4,52 – 10,48	19,60 - 29,09	11,17 – 18,17	7,34 – 12,61	29 - 36	SC
Arena limosa y arena limosa (caliche), coloración café y amarillo	12,48 – 26,45	2,28 – 8,21	N.L	N.P	N.I.P	29 - 37	SM
Arena limo arcillosa (caliche) de color amarillo	28,04 – 47,63	4,28 – 11,70	19,23 – 23,60	13,69 – 17,74	4,81 – 6,27	35 - 38	SM – SC
Limo arcilloso de baja plasticidad (caliche) de color amarillo	69,41	12,72	22,62	18,35	4,27	30	ML - CL
Arena limosa bien gradada de color café y amarillo	10,31 – 11,49	4,40 – 6,00	N.L	N.P	N.I.P	30	SW - SM

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.3 Línea subterránea entre S.E. Estadio – S.E. Centro

Para este trazado fueron llevados a cabo 93 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.95 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.95 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	31
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	31
Humedad natural	INV-E-122	31

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.96 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.



Tabla 5.96 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena limosa color café y amarillo y arena limosa (caliche).	12,73 – 38,44	3,00 – 9,27	N.L	N.P	N.I.P	29 - 38	SM
Arena limo arcillosa color amarillo y café	12,59 – 37,42	4,50 – 9,68	19,32 – 24,12	13,51 – 17,93	5,81 – 6,19	28 - 30	SM-SC
Arena arcillosa color amarillo y amarillo vetas grises	21,18 – 29,42	3,67 – 8,01	23,23 – 24,48	14,27 – 14,96	8,42 – 10,14	28 - 31	SC
Arena limosa mal gradada color café y amarillo	10,48 – 11,43	3,21 – 4,48	N.L	N.P	N.I.P	30	SP-SM
Limo arcilloso con rastros de grava (caliche) color amarillo	50,41 – 56,21	11,40 – 11,56	23,68 – 23,70	16,96 – 17,12	6,58 – 6,72	32 - 34	ML-CL

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.4 Línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Para este trazado fueron llevados a cabo 16 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.91 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.97 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	4
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	4
Humedad natural	INV-E-122	4

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.98 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.98 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena limosa mal gradada de color café	9,28 – 10,61	3,10 – 4,40	N.L	N.P	N.I.P	28 - 29	SP - SM
Arena arcillosa tipo caliche de color amarillo	36,62 – 37,65	7,00 – 11,40	20,30 – 20,60	12,24 – 12,54	7,76 – 8,36	33	SC

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.5 Línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena

Para este trazado fueron llevados a cabo 180 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.99 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.99 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	60
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	60
Humedad natural	INV-E-122	60

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.100 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.100 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena limosa coloraciones café, gris y amarillo	12,73 – 38,44	3,00 – 9,27	N.L	N.P	N.I.P	26 - 28	SM
Arcilla de baja plasticidad de color café y gris	60,75 – 75,32	16,45 – 20,65	25,25 – 36,19	16,50 – 22,95	8,45 – 15,25	16 - 17	CL
Arena limosa mal gradada color café	10,10 – 11,38	7,54 – 7,58	N.L	N.P	N.I.P	27 - 28	SP - SM
Arena fina limosa de color gris	37,05 – 38,29	20,30 – 27,10	N.L	N.P	N.I.P	26	SM

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Limo de baja plasticidad color gris y café	59,16 – 77,37	18,68 – 27,89	21,78 – 35,58	17,95 – 23,12	3,83 – 13,52	23 - 25	ML
Arena arcillosa y arena arcillosa tipo caliche en coloraciones gris, vetas cafés y amarillas	31,94 – 37,86	12,47 – 18,40	21,12 – 28,12	12,44 – 14,93	8,39 – 13,34	23 - 34	SC
Arena limosa bien gradada color gris	11,64	12,38	N.L	N.P	N.I.P	27 - 29	SW - SM
Arena limo arcillosa de color café	35,26 – 39,99	6,95 – 7,84	21,40 – 21,74	15,15 – 16,74	4,66 – 6,59	24 - 26	SM - SC

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.6 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Para este trazado fueron llevados a cabo 84 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.101 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.101 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	28
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	28
Humedad natural	INV-E-122	28

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.102 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.102 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena arcillosa de color amarillo con vetas grises y café	20,73 – 40,76	3,68 – 14,28	21,22 – 31,68	11,45 – 15,46	7,07 – 19,79	29 - 34	SC

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena limosa mal gradada color café y amarillo	9,41 – 11,66	1,26 – 7,01	N.L	N.P	N.I.P	28 - 31	SP - SM
Arena limosa café, amarillo y gris	14,83 – 28,11	4,00 – 20,78	N.L	N.P	N.I.P	28 - 30	SM

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.4.7 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión

Para este trazado fueron llevados a cabo 63 ensayos de laboratorio como se muestra en la Tabla 5.103 donde además se ilustra el tipo de ensayo y la norma que lo rige.

Tabla 5.103 Número de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión

Ensayo	Norma	Cantidad
Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV-E-125, 126	21
Lavado sobre tamiz No. 200	INV-E-123	21
Humedad natural	INV-E-122	21

Fuente: Solugeocol S.A.S., 2020 en (ISES, 2020)

A continuación, en la Tabla 5.104 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio que serán utilizados para los análisis geotécnicos para los diferentes tipos de materiales ensayados según las recuperaciones de las exploraciones del subsuelo.

Tabla 5.104 Resultados de ensayos de laboratorio realizados Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión

Descripción (generalizada)	% Pasa tamiz 200	Contenido de humedad (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Angulo de fricción (°)	Clasificación SUCS
Arena arcillosa gris, amarillo y vetas grises	25,98 – 34,54	7,14 – 15,36	20,68 – 31,24	12,61 – 15,60	7,95 – 17,93	28 – 34	SC
Arena limosa de color gris	14,24 – 27,13	3,72 – 11,38	N.L	N.P	N.I.P	28	SM
Arena limo arcillosa de color café y amarillo	30,63 – 40,28	6,21 – 8,30	20,82 – 22,10	14,49 – 16,09	5,35 – 6,58	29 - 34	SM - SC

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5 Descripción del perfil del suelo

Derivado de la observación macroscópica de las muestras recuperadas en las exploraciones ejecutadas y con el conocimiento sobre las condiciones geológicas de los



terrenos por donde cruzan las diferentes líneas subterráneas a 110 kV desde la Subestación Eléctrica Termoflores pasando por Oasis, Estadio, Las Flores, Magdalena, La Unión, Tebsa y finalizando en la Subestación Eléctrica Centro se determinan a seguir los perfiles de suelo típicos para cada trazado.

**5.1.10.5.1 Línea subterránea entre S.E. Termoflores – S.E. Oasis**

El perfil estratigráfico derivado de los materiales encontrados en los sondeos ejecutados en este trazado corresponde en su totalidad a suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como: arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad. En la Tabla 5.105 se generaliza el perfil de suelos para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Termoflores – S.E. Oasis.

Tabla 5.105 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 0,80	Relleno, arenas y escombros
0,80 - 3,00	Arena limosa mal gradada de color café, fracciones de arcilla café y amarilla, arena limosa bien gradada de color amarillo
3,00 – 4,50	Arena limosa (caliche) de color amarillo, limo de baja plasticidad de color amarillo
4,50 – 6,00	Arena limo arcillosa (caliche) de color amarillo

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.28 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.





Fotografía 5.28 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5.2 Línea subterránea entre S.E. Oasis – S.E. Estadio

El perfil estratigráfico derivado de los materiales encontrados en los sondeos ejecutados en este trazado corresponde en su totalidad a suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad. En la Tabla 5.106 se define un perfil típico para el trazado según análisis.

Tabla 5.106 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 0,40	Relleno, arenas y escombros
0,40 – 0,70	Arena arcillosa café, fracciones de limo de color café
0,70 – 1,20	Arena limosa café y amarilla, fracciones de arcilla café y limo café bien gradado
1,20 - 3,50	Arena arcillosa amarilla, caliche de color amarillo, fracciones de arcilla de baja plasticidad de color amarillo y limos bien gradados de color café
3,50 – 6,00	Arena limosa de color amarillo con fracciones de arcilla amarilla, arcilla de color gris, además de arena limo arcilla de color amarillo

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.29 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.



Fotografía 5.29 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5.3 Línea subterránea entre S.E. Estadio - S.E. Centro

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos ejecutados para el presente trazado está representado por suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad Tabla 5.107

Tabla 5.107 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 0,40	Lleno de arenas y fragmentos de escombros
0,40 - 2,90	Arena limosa de color café con tintes amarillentos, arena limosa mal gradada de coloraciones café y amarilla
2,90 – 4,50	Arena limo arcillosa de color amarillo con manchas grises, fracciones de limo arcilloso denominado como caliche, arena limosa mal gradada de coloraciones café y amarilla
4,50 – 6,00	Arena arcillosa de color amarillo, limo arcilloso de color amarillo con gravas (caliche)

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.30 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.







Fotografía 5.30 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5.4 Línea subterránea entre S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos ejecutados para el presente trazado está representado por suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas y arenas arcillosas.

Tabla 5.108 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Profundidad (m)	Descripción
0,00 - 3,00	Arena limosa de color café, mal gradada
3,00 – 4,00	Arena arcillosa de color amarillo, tipo caliche

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.31 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores. En ellas se observan arenas y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc., además de materia orgánica.



Fotografía 5.31 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5.5 Línea subterránea entre S.E. Río – S.E. Magdalena

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos ejecutados para el presente trazado está representado por suelos granulares como finos cohesivos, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada, arcilla de baja plasticidad y llenos de arena y arcilla con escombros.

Tabla 5.109 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena

Profundidad (m)	Descripción
Varía entre 0,00 a 4,50	Lleno de arenas, limos y fragmentos de escombros
Varía entre 4,50 a 6,00	Arena fina arcillosa de color gris con fracciones locales de limo café y gris de baja plasticidad y arena arcillosa tipo caliche de color amarillo, arena limosa mal gradada de coloración café y gris

Varía entre 3,80 a 5,20	Lentes ocasionales de arcilla de baja plasticidad de color café
Varía entre 4,80 a 6,00	Lentes de arcilla de baja plasticidad de color gris

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.32 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.





Fotografía 5.32 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena

Fuente: (ISES, 2020)

**5.1.10.5.6 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Tebsa**

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos ejecutados para el presente trazado está representado por suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad.

Tabla 5.110 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 1,20	Lleno de arenas y fragmentos de escombros
1,20 - 2,90	Arena limosa mal gradada de color café con tintes amarillentos, fracciones de arcilla de color amarillo con manchas grises
2,90 – 6,00	Arena arcillosa de color gris con manchas amarillo y café

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.33 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.







Fotografía 5.33 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.5.7 Línea subterránea entre S.E. Magdalena – S.E. Unión

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos ejecutados para el presente trazado está representado por suelos granulares, que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos se definen como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad.

Tabla 5.111 Perfil de suelo típico de la Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión

Profundidad (m)	Descripción
Varía entre 0,80 hasta 4,00	Lleno de arenas y fragmentos de escombros
Varía entre 0,80 hasta 6,00	Arena limosa de color gris
Varía entre 2,50 hasta 5,00	Arena arcillosa de color amarillo con manchas grises, fracciones de limo
Varía entre 4,00 hasta 5,00	Arena limo arcillosa de color amarillo, tipo caliche
Varía entre 3,80 hasta 4,20	Arena arcillosa de color gris con vetas amarillas y café

Fuente: (ISES, 2020)

En la Fotografía 5.34 se muestran algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones del subsuelo para la Línea Subterránea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión. En ellas se observan arenas, limos y arcillas de diferente grado de compactación, color, etc.



Fotografía 5.34 Algunas de las muestras recuperadas en las exploraciones en la Línea a 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión

Fuente: (ISES, 2020)

#### **5.1.10.6 Propiedades mecánicas del suelo**

Dentro de las propiedades mecánicas de los suelos se define la masa unitaria, las propiedades expansivas de los suelos, el ángulo de fricción, módulo de elasticidad.

### 5.1.10.6.1 Masa unitaria

Se determinaron y corroboraron los valores de peso unitario de los suelos a partir de los ensayos de peso específico. Las correlaciones utilizadas para la determinar las masas unitarias, corresponden a las relaciones volumétricas gravimétricas, en especial la siguiente:

$$G_s = W_s V_s \gamma_w$$

Dónde:

G<sub>s</sub>: Gravedad específica de los sólidos

W<sub>s</sub>: Peso de los sólidos

γ<sub>w</sub>: Peso específico del agua

En la Tabla 5.112 se definen los valores de masa unitaria determinada para las líneas estudiadas.

Tabla 5.112 Incremento de la masa unitaria total en función de la profundidad

Línea Subterránea a 110 kv entre	Masa unitaria total
S.E. Termoflores – S.E. Oasis	1,84 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,19 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Oasis – S.E. Estadio	1,82 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,15 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Estadio – S.E. Centro	1,82 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,12 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Las Flores - S.E. Termoflores	1,84 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,12 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Río - S.E. Magdalena	1,74 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,09 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Magdalena - S.E. Tebsa	1,83 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,10 ton/m <sup>3</sup>
S.E. Magdalena - S.E. Unión	1,82 ton/m <sup>3</sup> hasta 2,17 ton/m <sup>3</sup>

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.6.2 Suelos expansivos

Existen muchas variables que determinan la expansividad de un suelo, y que pueden determinarse conociendo su límite líquido, humedad natural, índice de plasticidad, entre otras. Con estas propiedades podemos obtener los valores y magnitudes que determinan el potencial de expansión de una arcilla, además existen otros ensayos como el de expansión libre en probeta, que igual nos indican los potenciales de expansión en los suelos. En la Tabla 5.113 se muestran los diferentes valores que determinan la expansividad de un suelo dependiendo de variados valores de ensayos de laboratorio.

Tabla 5.113 Clasificación de suelos expansivos (NSR-10, 2010) (Tabla H.9.1-1)

Potencial de expansión	Expansión (%) <sup>*</sup>	Límite líquido (LL) (%)	Límite de contracción (%)	Índice de plasticidad (IP) (%)	Porcentajes de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre (EI) (%) <sup>**</sup>
Muy Alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 – 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

\* Medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0,07 kmf/cm<sup>2</sup>

\*\* Medida en probeta

Fuente: Clasificación suelos expansivos- (NSR-10, 2010), Tabla H.9.1-1

Para los trazados se detallan en la Tabla 5.114 los valores de referencia y el correspondiente potencial de expansión para las líneas en estudio. De acuerdo con los resultados de plasticidad de los suelos susceptibles a grandes cambios de humedad (zona activa), se concluye que no se tendrá problemas por suelos expansivos.

Tabla 5.114 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión

Línea Subterránea a 110 kv	Valores de Plasticidad y Limite Liquido	Grado de expansión
S.E. Termoflores – S.E. Oasis	Plasticidad iguales o menores a 12,63%, y límites líquidos no mayores a 29,25%	Bajo
S.E. Oasis – S.E. Estadio	Plasticidad iguales o menores a 12,61%, y límites líquidos no mayores a 29,09%	Bajo
S.E. Estadio – S.E. Centro	Plasticidad iguales o menores a 10,14%, y límites líquidos no mayores a 24,48%	Bajo
S.E. Las Flores - S.E. Termoflores	Plasticidad iguales o menores a 8,36%, y límites líquidos no mayores a 20,60%	Bajo
S.E. Río - S.E. Magdalena	Plasticidad iguales o menores a 15,25%, y límites líquidos no mayores a 36,19%	Bajo
S.E. Magdalena - S.E. Tebsa	Plasticidad iguales o menores a 19,79%, y límites líquidos no mayores a 31,68%	Bajo
S.E. Magdalena - S.E. Unión	Plasticidad iguales o menores a 17,93%, y límites líquidos no mayores a 31,24%	Bajo

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.6.3 Angulo de fricción y cohesión del suelo

En la Tabla 5.115 se muestran las correlaciones para estimar el ángulo de resistencia y la cohesión de los suelos encontrados en los sondeos ejecutados, fue considerada la Normativa Rusa (SNiP II15-74, 1975). Allí es posible estimar el ángulo de resistencia y la cohesión de los suelos granulares de acuerdo con su composición, índice de liquidez, etc.

Tabla 5.115 Parámetros geotécnicos normalizados en suelos arenosos

Tipo	Parámetro	Valores característicos para un índice de poros			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Arenas con gravas	C	0,02	0,01	-	-
	Φ	43,00	40,00	38,00	-
	E	500,00	400,00	300,00	-
Arenas medias	C	0,03	0,02	0,01	-
	Φ	40,00	38,00	35,00	-
	E	500,00	400,00	300,00	-
Arenas finas	C	0,06	0,04	0,02	-
	Φ	38,00	36,00	32,00	28,00
	E	480,00	380,00	280,00	180,00
Arenas limosas	C	0,08	0,06	0,04	0,02
	Φ	36,00	34,00	30,00	26,00
	E	390,00	230,00	180,00	110,00

Fuente: (SNiP II15-74, 1975)



Además, se para estimar el ángulo de fricción de los suelos granulares a partir del ensayo SPT, se utilizó o chequeó con la siguiente correlación de JRB (Japan Road Bureau, 1986):

$$\phi' = 15 + \sqrt{9,375N1}$$

Cabe anotar que, los parámetros finales adoptados hacen parte del criterio y la experiencia del Geotecnista de diseño.

#### 5.1.10.6.4 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad de las arenas y limos encontrados fue obtenido con las correlaciones del ensayo de penetración estándar realizados en campo, a partir de las ecuaciones *Equations for stress-strain modulus Es by several test methods (FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN- JOSEPH E. BOWLES Fifth Edition)*, donde se tiene lo siguiente:

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Arenas y/o material granular</b> | <b>Rellenos, arcillas y/o limos:</b> |
| - E (kPa) = 500 (N+15)              | - E (kPa) = 320 (N+15)               |
| - E (kPa) = 18000 + 750N            | - E (kPa) = (100 a 500) c            |
| - E (kPa) = (15200 a 22000) en N    |                                      |

Para cada trazado analizado se determinan los valores discretizados a continuación en la Tabla 5.116, donde se referencian los módulos de elasticidad según la expresión  $E \text{ (kPa)} = 500 (N+15)$ , a partir de correlación del ensayo de penetración estándar:

Tabla 5.116 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión

Línea Subterránea a 110 kv entre	Módulos de elasticidad
S.E. Termoflores – S.E. Oasis	7.000 y 31.800 kPa
S.E. Oasis – S.E. Estadio	13.000 y 24.100 kPa
S.E. Estadio – S.E. Centro	10.800 y 29.100 kPa
S.E. Las Flores – S.E. Termoflores	13.000 y 25.600 Kpa
S.E. Río – S.E. Magdalena	4.500 y 20.000 Kpa
S.E. Magdalena – S.E. Tebsa	7.000 y 18.900 Kpa
S.E. Magdalena – S.E. Unión	5.900 y 22.600 Kpa

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.7 Modelos geotécnicos propuestos

De acuerdo con la información obtenida de la exploración geotécnica, mediante los sondeos distribuidos sobre el trazado de las líneas de transmisión eléctrica y teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio. A continuación, se presentan los modelos geotécnicos utilizados para la cimentación propuesta en cada una de las líneas subterráneas.

##### 5.1.10.7.1 Línea subterránea 110 kV S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.117 Modelo Geotécnico I entre sondeos 3, 4 y 5 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Arena limosa mal gradada	0,50 – 3,00	1,84	0,00	28	130
Arena limosa mal gradada	3,00 – 6,00	1,89	0,00	29	154

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.118 Modelo Geotécnico II entre sondeos 6, 7, 8 y 9 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Relleno de arena y escombros	0,00 – 0,80	1,77	0,00	21	70
Arena limosa	0,80 – 2,90	1,86	0,00	30	145
Arena limosa (caliche)	2,90 – 4,50	2,03	0,00	34	190

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.119 Modelo Geotécnico III entre sondeos 10, 11 y 12 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Relleno de arena y escombros	0,00 – 1,50	1,77	0,00	21	70
Arena limosa	1,50 – 3,00	1,86	0,00	30	160
Arena arcillosa	3,00 – 5,00	1,95	0,10	31	200
Arena limo arcillosa (caliche)	5,00 – 6,00	2,14	0,00	34	250

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.120 Modelo Geotécnico IV entre sondeos 13, 14, 15, 16, 17 y 18 Línea Subterránea S.E. Termoflores – S.E. Oasis

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Arena arcillosa	0,00 – 1,40	1,92	0,04	29	214
Arena arcillosa (caliche)	1,40 – 3,00	2,19	0,00	37	318

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.7.2 Línea subterránea 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.121 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 Línea Subterránea kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Arena limosa	0,00 – 1,20	1,84	0,00	28	180
Arena limo arcillosa	1,20 – 1,80	1,95	0,00	29	195
Arena arcillosa (caliche)	1,80 – 3,00	2,12	0,06	34	241

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.122 Modelo Geotécnico II entre sondeos 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 Línea Subterránea S.E. Oasis – S.E. Estadio

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Arena limosa	0,00 – 1,00	1,82	0,00	29	130
Arena limosa	1,00 – 3,50	1,87	0,00	29	140
Arena limosa (caliche)	3,50 – 6,00	1,93	0,00	31	192

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.7.3 Línea subterránea 110 kV SE Estadio – S.E. Centro

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.123 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Arena limosa	0,00 – 2,30	1,84	0,00	29	123
Arena limo arcillosa	2,30 – 4,50	1,93	0,00	30	160
Arena arcillosa	4,50 – 6,00	1,95	0,05	30	210

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.124 Modelo Geotécnico I entre sondeos 9, 10, 11 Línea Subterránea S.E. Estadio – S.E. Centro

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Arena limosa	0,00 – 0,50	1,82	0,00	28	108
Arena limosa (caliche)	0,50 – 3,50	2,18	0,00	35	291

Fuente. (ISES, 2020)

#### 5.1.10.7.4 Línea subterránea 110 kV S.E. Las Flores - S.E. Termoflores

Es considerado un modelo según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para el modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.125 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 y 2 Línea Subterránea S.E. Las Flores – S.E. Termoflores

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Arena limosa mal gradada	0,50 – 3,00	1,84	0,00	28	130
Arena arcillosa	3,00 – 6,00	2,10	0,00	33	256

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.7.5 Línea subterránea 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.126 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 al 22 Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Lleno de arenas y escombros	0,00 – 2,30	1,78	0,00	19	45
Arena limosa	2,30 – 4,00	1,82	0,00	27	88
Arena limosa	4,00 – 6,00	1,83	0,00	27	90

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.127 Modelo Geotécnico II entre sondeos 23 y 24 Línea Subterránea S.E. Río – S.E. Magdalena

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)
Lleno de arenas y escombros	0,00 – 0,50	1,78	0,00	19	45
Arena arcillosa	0,50 – 2,50	1,85	0,07	28	130
Arena arcillosa	2,50 – 4,50	1,87	0,08	28	141



Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Arena limosa (caliche)	4,50 – 5,00	1,96	0,06	32	200

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.7.6 Línea subterránea 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.128 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Arena limosa	0,80 – 2,30	1,86	0,00	28	130
Arena limosa	2,30 – 3,80	1,90	0,00	29	151
Arena arcillosa	3,80 – 6,00	1,95	0,09	31	189

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.129 Modelo Geotécnico II entre sondeos 3 y 4 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Tebsa

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Lleno de arena y escombros	0,00 – 2,30	1,79	0,00	21	70
Arena limosa	2,30 – 3,20	1,83	0,00	28	121
Arena arcillosa	3,20 – 5,00	1,93	0,08	30	172

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.7.7 Línea subterránea 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión

Son considerados dos modelos según la integración de los resultados de exploraciones y laboratorio. Los datos finales para utilizar en cada modelo geotécnico se presentan a continuación.

Tabla 5.130 Modelo Geotécnico I entre sondeos 1 y 2 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m3)	Cohesión C' (kg/cm2)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Lleno de arena arcillosa con presencia de escombros	0,00 – 3,00	1,80	0,00	22	80
Arena limosa	3,00 – 4,50	1,86	0,00	29	129
Arena arcillosa	4,50 – 6,00	1,93	0,04	30	183

Fuente: (ISES, 2020)

Tabla 5.131 Modelo Geotécnico II entre sondeos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Línea Subterránea S.E. Magdalena – S.E. Unión

Características del Suelo	Profundidad (m)	Peso unitario total (Ton/m <sup>3</sup> )	Cohesión C' (kg/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de fricción Φ (°)	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Lleno de arena con escombros	0,00 – 0,70	1,79	0,00	21	59
Arena limo arcillosa	0,70 – 2,30	1,90	0,00	29	123
Arena arcillosa	2,30 – 3,90	1,94	0,04	30	132
Arena arcillosa (caliche)	3,90 – 5,00	2,10	0,03	34	226

Fuente: (ISES, 2020)

### 5.1.10.8 Sismicidad del entorno y perfil de suelo

De acuerdo con la NSR-10 y con base a la definición o catalogación del tipo de perfil del suelo para el diseño sísmico y estructural de la construcción proyectada, se referencia al numeral A.2.4.4, en la tabla A.2.4.1 donde se desarrolla la clasificación de los tipos de suelos, de acuerdo con sus características en cuanto al índice de plasticidad, humedad, el número de golpes del ensayo de penetración estándar, N, en golpes/pie a lo largo de todo el perfil, cuyos resultados se muestran en el desarrollo del presente documento. Además, se tuvieron en cuenta la utilización de correlaciones empíricas basadas en pruebas desarrolladas en diferentes partes del mundo (Imai y Yoshimura, 1970; Ohba y Toriumi, 1970; Hara et al., 1974; Imai, 1977; Ohta y Goto, 1978; Wroth, 1979; Imai y Tonouchi, 1982; Okamoto, 1989; Japan Road Association, 2002, entre otras), para determinar las velocidades de onda de corte Vs.

Posterior a la determinación del perfil de velocidad de propagación de ondas de corte en profundidad se realiza la clasificación del perfil del subsuelo a la luz de lo estipulado en la (NSR-10, 2010) en su capítulo A 2.4.1, el cual usa el criterio de la velocidad de onda cortante promedio en los primeros 30 metros VS30.

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Dónde:

**vs<sub>i</sub>** = velocidad media de la onda de cortante del suelo del estrato **i**, medida en campo, en m/s.

**d<sub>i</sub>** = espesor del estrato **i**, localizado dentro de los 30 m superiores del perfil

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m siempre}$$

Se estimó el perfil del suelo con base en el número de golpes del ensayo SPT:

Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo — El número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo, indistintamente que esté integrado por suelos no cohesivos o cohesivos, se obtiene por medio de:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Dónde:

**N<sub>i</sub>** = número de golpes por pie obtenidos en el ensayo de penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D 1586, haciendo corrección por energía N60, correspondiente al estrato **i**. El valor de **N<sub>i</sub>** a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder 100. La definición y características de este tipo de perfil de suelo se presentan en la siguiente tabla A.2.4-1 de la (NSR-10, 2010) que corresponde a la Tabla 5.132.

Tabla 5.132 Tabla A.2.4-1 de la NSR-10

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	V <sub>s</sub> ≥ 1500 m/s
<b>B</b>	Perfiles de roca de rigidez	1500 m/s > V <sub>s</sub> ≥ 760 m/s
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	760 m/s > V <sub>s</sub> ≥ 360 m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	N ≥ 50 Su ≥ 100 kpa
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante	360 m/s > V <sub>s</sub> ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15 100 kpa > Su ≥ 50 kpa
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	180 m/s > V <sub>s</sub>
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 metros de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kpa > Su
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases.	
	F1-Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2-Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3-Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7,5 metros con índice de plasticidad IP > 75).	
	F4-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 metros).	

Fuente: (NSR-10, 2010)

De acuerdo con los resultados anteriores se cataloga el perfil de suelo como tipo C, D y E, indicándose más adelante a que zonas corresponde cada tipo de perfil de suelo. Los coeficientes sísmicos estipulados por la Norma Sismo-Resistente NSR-10 para los municipios de Barranquilla y Soledad, se define el  $A_v$  en 0,10. Siendo así, según la clasificación del perfil de suelo, se determinan los coeficientes de  $F_a$  (coeficiente de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos debida a los efectos de sitios) y  $F_v$  (coeficiente de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios). Los coeficientes sísmicos se presentan a continuación en las Tabla 5.133 y Tabla 5.134:

Tabla 5.133 Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0,1$	$A_a = 0,2$	$A_a = 0,3$	$A_a = 0,4$	$A_a \geq 0,5$
<b>A</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>B</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>C</b>	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
<b>D</b>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
<b>E</b>	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
<b>F</b>	*Nota	*Nota	*Nota	*Nota	*Nota

\*Nota: Debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con el numeral A.2.10-NSR-10.  
Fuente: (NSR-10, 2010)

Tabla 5.134 Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos cortos.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0,1$	$A_a = 0,2$	$A_a = 0,3$	$A_a = 0,4$	$A_a \geq 0,5$
<b>A</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>B</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>C</b>	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
<b>D</b>	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
<b>E</b>	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
<b>F</b>	*Nota	*Nota	*Nota	*Nota	*Nota

\*Nota: Debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con el numeral A.2.10-NSR-10.  
Fuente: (NSR-10, 2010)

A seguir se presentan los valores propios de cada uno de los trazados.



**Tabla 5.135 Valores de referencia para expansión de los suelos y grado de expansión**

<b>Línea Subterránea a 110 kv entre</b>	<b>Parámetros Sísmicos</b>
S.E. Termoflores – S.E. Oasis	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 3, 4, 5, 10, 11 y 12: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 2,40</math></li> </ul>
	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17 y 18: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo C</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,20</math></li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 1,70</math></li> </ul>
S.E. Oasis – S.E. Estadio	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 10: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo C</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,20</math></li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 1,70</math></li> </ul>
	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> </ul> Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: $F_v = 2,40$
S.E. Estadio – S.E. Centro	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 2,40</math></li> </ul>
	Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 9, 10 y 11: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo C</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,20</math></li> </ul> Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: $F_v = 1,70$
S.E. Las Flores – S.E. Termoflores	Parámetros sísmicos para modelo geotécnico entre sondeos 1 y 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> </ul> Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: $F_v = 2,40$

S.E. Río – S.E. Magdalena	<p>Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 1 al 22:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo E</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 2,50</math></li> </ul> <p>Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 3,50</math></p>
	<p>Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos entre sondeos 23 y 24:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> </ul> <p>Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 2,40</math></p>
S.E. Magdalena – S.E. Tebsa	<p>Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos I y II</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> </ul> <p>Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 2,40</math></p>
S.E. Magdalena – S.E. Unión	<p>Parámetros sísmicos para modelos geotécnicos I y II:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_a = 0,10</math></li> <li>• Aceleración pico efectiva: <math>A_v = 0,10</math></li> <li>• Perfil de suelo: Tipo D</li> <li>• Coeficiente de amplificación del suelo para aceleración: <math>F_a = 1,60</math></li> </ul> <p>Coeficiente de amplificación del suelo para velocidad: <math>F_v = 2,40</math></p>

Fuente: (ISES, 2020)

#### 5.1.10.9 Análisis de licuación de los suelos

El fenómeno de licuefacción generalmente se asocia con suelos no cohesivos o granulares, como resultado de una carga sísmica de suficiente intensidad y duración. Ocurre más comúnmente en suelos sueltos, saturados, granulares, uniformemente gradados y con un bajo contenido de finos. Aunque las arenas son especialmente susceptibles, la licuefacción también se puede desarrollar en algunos limos y gravas.

Teniendo en cuenta que el subsuelo de la zona en estudio se encuentra conformado por suelos granulares densos, y ante la ausencia del nivel de aguas freáticas, se concluye que el suelo no es susceptible a este fenómeno.

#### 5.1.10.10 Capacidad portante

Para el cálculo de la capacidad portante, con base en las características geotécnicas de los suelos evidenciados, se plantearon modelos geotécnicos para determinar la capacidad portante, estos modelos se definen a continuación para cada línea:

#### 5.1.10.10.1 Línea 110 kV S.E. Termoflores – S.E. Oasis

A. Capacidad portante modelo I: Entre sondeos 3, 4 y 5

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de  $18,60 \text{ ton/m}^2$ . A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,23 \text{ kg/cm}^3$ .

Tabla 5.136 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	18,60	2,23
2,0	20,20	2,43
2,5	25,60	3,07

Fuente: ISES, 2020

**B. Capacidad portante modelo II: Entre sondeos 6, 7, 8 y 9**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 21,10 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 2,53 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.137 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	21,10	2,53
2,0	23,00	2,76
2,5	30,80	3,69

Fuente: ISES, 2020

**C. Capacidad portante modelo III: Entre sondeos 10, 11 y 12**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 17,30 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 2,07 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.138 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	17,30	2,07
2,0	19,80	2,37
2,5	23,40	2,87

Fuente: ISES, 2020

**D. Capacidad portante modelo IV: Entre sondeos 13, 14, 15, 16, 17 y 18**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 26,40 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 3,17 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.139 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	26,40	3,17
2,0	34,40	4,13
2,5	40,10	4,83

Fuente: ISES, 2020

#### 5.1.10.10.2 Línea 110 kV S.E. Oasis – S.E. Estadio

##### A. Capacidad portante modelo I

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 23,80 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,86$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.140 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	23,80	2,86
2,0	26,60	3,19
2,5	31,50	3,78

Fuente: ISES, 2020

##### B. Capacidad portante modelo II

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 17,50 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,10$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.141 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	17,50	2,10
2,0	19,50	2,34
2,5	22,10	2,63

Fuente: ISES, 2020

#### 5.1.10.10.3 Línea 110 kV S.E. Estadio – S.E. Centro

##### A. Capacidad portante modelo I. Entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 18,00 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,16$  kg/cm<sup>3</sup>.



Tabla 5.142 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	18,00	2,16
2,0	20,40	2,44
2,5	22,70	2,66

Fuente: ISES, 2020

**B. Capacidad portante modelo II. Entre sondeos 9, 10 y 11**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 24,70 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,97$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.143 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	24,70	2,97
2,0	27,70	3,33
2,5	31,10	3,73

Fuente: ISES, 2020

**5.1.10.10.4 Línea 110 kV S.E. Las Flores – S.E. Termoflores**

**A. Capacidad portante modelo I: Entre sondeos 1 y 2**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 18,80 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,26$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.144 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	18,80	2,26
2,0	20,40	2,68
2,5	26,90	3,22

Fuente: ISES, 2020

**5.1.10.10.5 Línea 110 kV S.E. Río – S.E. Magdalena**

**B. Capacidad portante modelo I: Entre sondeos 1 al 22**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 6,10 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 0,73$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.145 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	6,10	0,73
2,0	8,80	1,06
2,5	10,00	1,19

Fuente: ISES, 2020

**C. Capacidad portante modelo II: Entre sondeos 23 y 24**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 17,20 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 2,07 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.146 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	17,20	2,07
2,0	19,30	2,32
2,5	22,80	2,73

Fuente: ISES, 2020

**5.1.10.10.6 Línea 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Tebsa**

**A. Capacidad portante modelol: Entre sondeos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 16,70 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 2,01 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.147 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m2)	Módulo de reacción del suelo (kg/cm3)
1,3	16,70	2,01
2,0	18,60	2,23
2,5	23,50	2,82

Fuente: ISES, 2020

**B. Capacidad portante modeloll: Entre sondeos 3 y 4**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 12,00 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo K<sub>s</sub>= 1,44 kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.148 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	12,00	1,44
2,0	16,40	1,97
2,5	20,80	2,50

Fuente: ISES, 2020

#### 5.1.10.10.7 Línea 110 kV S.E. Magdalena – S.E. Unión

##### A. Capacidad portante modelo I: Entre sondeos 1 y 2

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 10,50 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 1,27$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.149 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	10,50	1,27
2,0	13,00	1,56
2,5	16,30	1,96

Fuente: ISES, 2020

##### B. Capacidad portante modelo II: Entre sondeos 3, 4, 5, 6, 7 y 8

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 18,60 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,23$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.150 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	18,60	2,23
2,0	22,20	2,64
2,5	24,80	2,98

Fuente: ISES, 2020

#### 5.1.10.10.8 Subestación Estadio (S.E. Estadio)

##### A. Capacidad portante modelo I: Entre sondeos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 18,00 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,16$  kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 5.151 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	18,00	2,16
2,0	20,40	2,44
2,5	22,70	2,66

Fuente: ISES, 2020

**B. Capacidad portante modelo II: Entre sondeos 9, 10 y 11**

La cimentación de los ductos en este sector se diseñará para una capacidad portante del suelo de 24,70 ton/m<sup>2</sup>. A la profundidad de desplante de 1,30 metros y para el tipo de cimentación recomendado se tiene un valor de módulo de reacción del suelo  $K_s = 2,97 \text{ kg/cm}^3$ .

Tabla 5.152 Capacidad admisible del suelo a distintas profundidades

Profundidad de desplante (m)	Capacidad admisible (ton/m <sup>2</sup> )	Módulo de reacción del suelo (kg/cm <sup>3</sup> )
1,3	24,70	2,97
2,0	27,70	3,33
2,5	31,10	3,73

Fuente: ISES, 2020

**C. Cimentación banco de ductos**

De acuerdo con los análisis efectuados, la cimentación para los bancos de ductos se podrá realizar, bajo una capa de solado de resistencia 17,5 Mpa, con un espesor cercano a 0,10 metros (detalle en las Figura 5.110 y Figura 5.111), luego se recubrirá el banco de ductos con material seleccionado compactado en capas no mayores a 0,20 metros, hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenido del ensayo Proctor modificado, este material seleccionado se extenderá encima del tubo superior del banco como mínimo 0,15 metros de espesor. Luego de disponer el material seleccionado, se ubicará una placa en concreto rojo de espesor 0,05 metros, utilizado como señalización de advertencia, de resistencia definida por el ingeniero estructural; encima de la placa de concreto se seguirá colocando el material seleccionado debidamente compactado y con un espesor cercano a 0,15 metros.

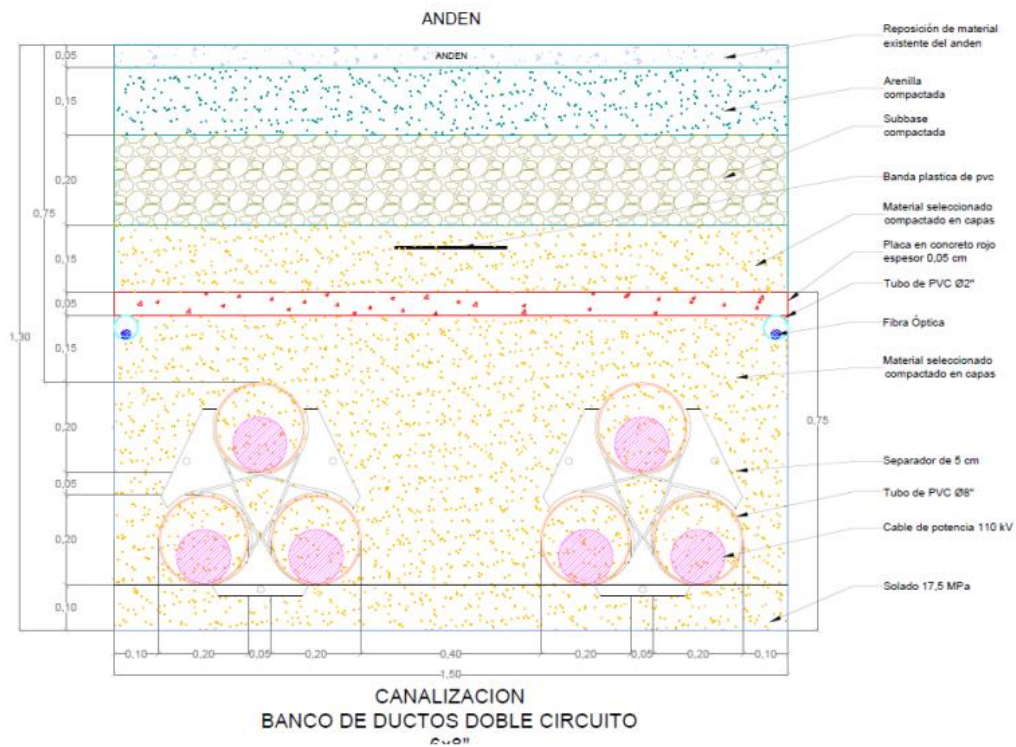


Figura 5.110 Detalles de banco de ductos doble circuito 6x8"

Fuente: (ISES, 2020)



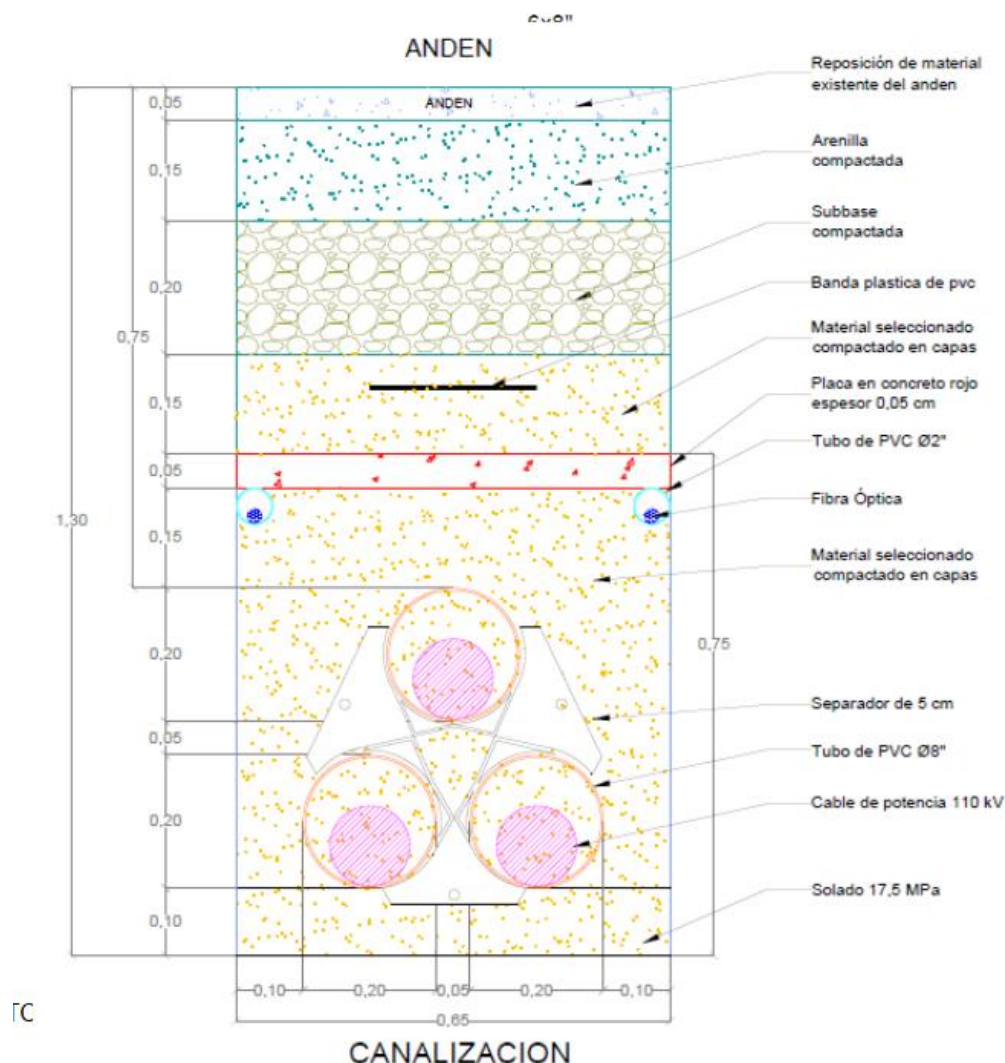


Figura 5.111 Detalle de banco de ductos circuito sencillo 3x8"

Fuente: (ISES, 2020)

Encima de la estructura o capas que conforman el banco, se ubicará el material seleccionado tipo subbase de espesor cercano a 0,20 metros, y 0,15 metros de arenilla, correspondiente a la estructura de andén. La base de los ductos tendrá una profundidad de 1,30 metros con respecto a la cota actual del terreno – Vía, Sin embargo, en algunos puntos del trazado se requerirá enterrarlas a 2,5 m.

#### D. Profundidad de desplante

Dadas las características del terreno y el tipo de estructura a construir, se recomienda que la base de los ductos se desplante a 1,30 metros de profundidad o mayor, cuando se requiera.

#### E. Cimentación cajas de empalme y de tiro

Bajo losa de cimentación apoyada sobre una capa de solado de 0,05 metros.

Losa de Cimentación. Las cajas de empalme y de tiro se apoyarán sobre una losa de concreto reforzado con un espesor sugerido entre 0,10 m y 0,15 m de espesor, el cual será chequeado y definido por el ingeniero estructural, la cual reposará sobre una capa de solado de 0,05 m de espesor.

Profundidad de Desplante. Dadas las características del terreno y el tipo de estructura a construir, se recomienda que la cimentación se desplante a una profundidad de 1,45 metros con respecto a la cota actual del terreno.

#### F. Capacidad portante modelo I

Para cimentación bajo losa, a una profundidad de 1,45 metros, el suelo presenta una capacidad de soporte admisible de 19,40 ton/m<sup>2</sup>. Se esperan asentamientos máximos en el orden de 2,28 cm. Para la cimentación recomendada, se deberá tener en cuenta un módulo de reacción  $K_s = 2,32 \text{ kg/cm}^3$ .

#### G. Capacidad portante modelo II

Para cimentación bajo losa, a una profundidad de 1,45 metros, el suelo presenta una capacidad de soporte admisible de 25,70 ton/m<sup>2</sup>. Se esperan asentamientos máximos en el orden de 1,57 cm. Para la cimentación recomendada, se deberá tener en cuenta un módulo de reacción  $K_s = 3,08 \text{ kg/cm}^3$ .

#### H. Entibados

Es importante aclarar que, de acuerdo con las características del suelo encontrado, se podrán ejecutar taludes verticales (90°), hasta 1,40 metros. Si se proyectan excavaciones mayores a 1,40 metros, el entibado escogido podrá ser metálico o de madera, pero capaz de soportar el valor máximo alcanzado por el esfuerzo total en la profundidad de la zanja. Siguiendo la teoría de Rankine, se presentan los coeficientes de presión de tierras para las condiciones de reposo ( $K_o$ ), activo ( $K_a$ ) y pasivo ( $K_p$ ), para la determinación de las presiones que ejercerá el suelo contra estructuras de contención.

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$$

Se tendrá en cuenta empujes de tierra con un coeficiente de presión de tierras activo y estático de  $K_a = 0,36$ , y empuje pasivo  $K_p = 2,77$ , y un peso unitario de  $\gamma_s = 1,90 \text{ ton/m}^3$ .

#### I. Procedimiento constructivo

Para las excavaciones que se requiere efectuar, se podrán realizar manualmente o con equipo mecánico, con taludes a 90°, hasta una profundidad de 1,40 metros, no se prevé utilizar sistemas de abatimiento de aguas.

El fondo de las excavaciones para las cimentaciones deberá ser nivelado antes de fundir el cemento.

Se aplicará un solado en concreto de 2.500 psi con espesores entre cinco y siete.

Los rellenos proyectados serán compactados en subcapas no mayores a 0,20 metros, hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima, obtenida del ensayo Proctor modificado.

#### **5.1.10.11 Recomendaciones geotécnicas líneas**

De acuerdo con la investigación geotécnica ejecutada, el perfil estratigráfico se determinó en suelos granulares, clasificados de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos, como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad, presentando compacidades relativas entre suelta y muy densa, correspondiente a números de golpes/pie, superiores a cinco, obtenidos del ensayo de penetración estándar SPT.

Cualquier tipo de excavación para la construcción de la cimentación, se podrá ejecutar a talud vertical (con taludes a 90°) hasta una altura crítica de 1,20 a 1,40 metros, debiéndose evitar su exposición a régimen de escorrentías superficiales, para los cuales se recomienda que no se mantengan abiertas por mucho tiempo. Cimentación banco de ductos.

Es importante tener en cuenta que, si se desean excavaciones mayores a la altura crítica de corte, se deberán tomar medidas por parte del constructor que estabilicen el corte, mediante la colocación de ademes, entibados o similar.

Dadas las características del terreno y el tipo de estructura a construir, se recomienda que la base de los ductos se desplante a 1,30 metros de profundidad o 2,50 metros cuando se requiera.

#### **5.1.10.12 Recomendaciones geotécnicas subestaciones**

##### **5.1.10.12.1 Subestación Estadio (S.E Estadio)**

De acuerdo con la investigación geotécnica ejecutada, el perfil estratigráfico se determinó que es típico del sector, la estratigrafía está definida en su totalidad por suelos granulares, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como arenas limosas, arenas arcillosas, arenas limo arcillosas, arenas limosas bien gradada y mal gradadas y limos arcillosos de baja plasticidad., presentando compacidades relativas entre suelta y muy densa, correspondiente a números de golpes/pie, superiores a cinco, obtenidos del ensayo de penetración estándar SPT.

Cualquier tipo de excavación para la construcción de la cimentación, se podrá ejecutar a talud vertical (con taludes a 90°) hasta una altura crítica de 1,40 metros, debiéndose evitar su exposición a régimen de escorrentías superficiales, para los cuales se recomienda que no se mantengan abiertas por mucho tiempo. De acuerdo con las características del suelo.

Es importante tener en cuenta que se desea realizar excavaciones mayores a la altura crítica de corte, se deberán tomar medidas por parte del constructor que estabilicen el corte, mediante la colocación de ademes, entibados o similar.

Como resultado de la ejecución de esta obra, se deben estudiar las variantes que puedan presentarse en cuanto a condiciones ambientales o afectación de obras adyacentes. De acuerdo con las necesidades del proyecto, la conveniencia del lugar cumple ampliamente con los requisitos geotécnicos para su ejecución.

## 5.1.11 Atmósfera

### 5.1.11.1 Meteorología

En este numeral se presenta el análisis climatológico del proyecto, para el cual se utilizó información de registros históricos a nivel diario y horario de las estaciones con influencia en la zona de interés. En la Tabla 5.153 se presentan las estaciones y variables utilizadas en este estudio y en la Figura 5.112 se presenta la localización de dichas estaciones.

Tabla 5.153 Variables climatológicas analizadas

Estación	Código	Variable	Periodo de registro
Las Flores	29045120	Temperatura media, máxima y mínima diaria (°C)	1980 - 2015
		Precipitación diaria total (mm)	1980 - 2015
		Humedad relativa mensual (%)	1980 - 2015
		Velocidad media del viento horario (m/s)	1990 - 2006
		Dirección del viento horario (grados)	1990 - 2006
Aeropuerto E Cortissoz	29045020	Temperatura media, máxima y mínima diaria (°C)	1978 - 2017
		Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C)	1951 - 2017
		Precipitación diaria total (mm)	1970 - 2019
		Velocidad media del viento horario (m/s)	2000 - 2018
		Dirección del viento horario (grados)	2000 - 2018
		Brillo solar mensual (horas)	1973 - 2017
Barranquilla Sede	29040450	Humedad relativa mensual (%)	1953 - 2017
		Precipitación diaria total (mm)	2007 - 2019

Fuente: Integral S.A., 2020

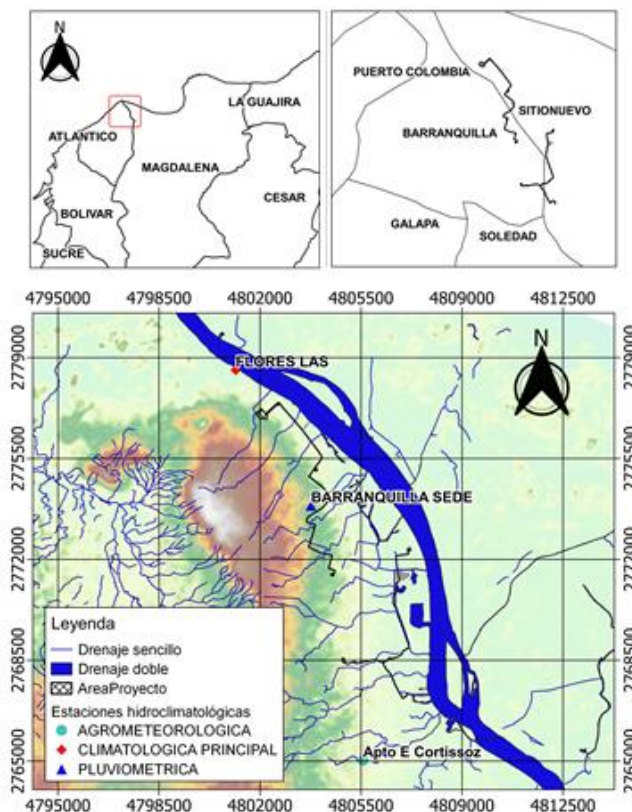


Figura 5.112 Localización general de estaciones meteorológicas en la zona de interés

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.11.1.1 Temperatura

La temperatura permite conocer el estado térmico del aire con respecto a su habilidad de transmitir calor a su alrededor. Esta variable climatológica está altamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, generándose usualmente un decrecimiento con la elevación.

El análisis de las tendencias de temperaturas medias, máximas y mínimas en la zona del proyecto se realizó a partir de dos estaciones climatológicas: Las Flores y Aeropuerto E. Cortissoz.

Los registros reportados por la estación Las Flores para la variable temperatura, comprenden un periodo de registros de 35 años con un valor máximo reportado de 36 °C entre los meses de abril y junio, y un valor mínimo de 20 °C en el mes de diciembre. Para la estación Aeropuerto E Cortissoz se presenta un periodo de 60 años de mediciones, con un valor máximo registrado de 39,8 °C en el mes de junio y un valor mínimo de 18 °C en el mes de enero. En la Figura 5.113 y Figura 5.116 se presentan las temperaturas medias multianuales para cada estación evaluada.



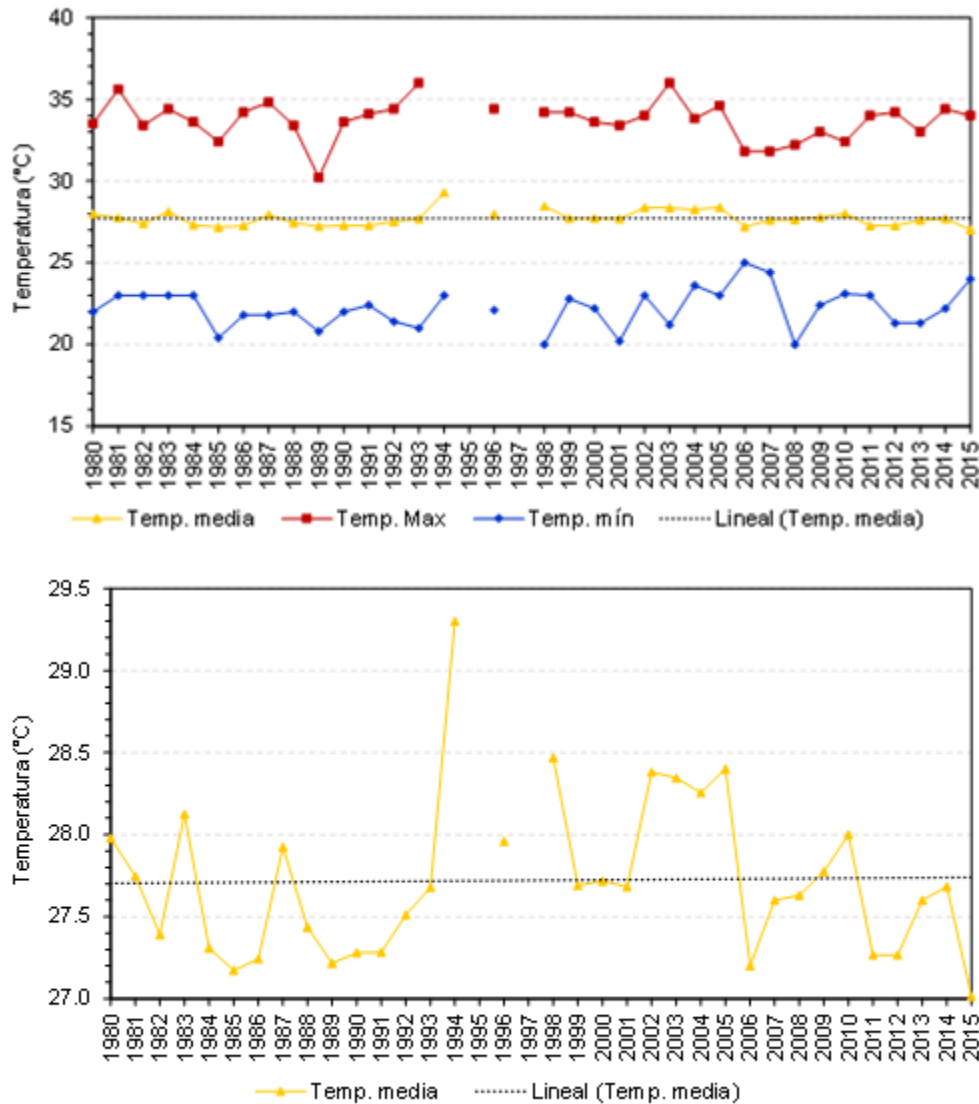


Figura 5.113 Temperatura media, máxima y mínima anual estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la Figura 5.113, la temperatura media anual en la estación Las Flores se presenta una leve tendencia creciente, lo cual indica que hay un aumento de la temperatura a lo largo del periodo de análisis, los valores medios multianuales oscilan entre 27,0 y 29,3 °C presentando un valor medio de 27,7 °C.

En la Tabla 5.154, al igual que en la Figura 5.114, se presenta un resumen de los valores mensuales de temperatura en la estación Las Flores para el periodo de tiempo registrado.

Tabla 5.154 Estación Las Flores - Temperatura mensual (°C)

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	26,7	26,6	26,9	27,5	28,1	28,4	28,2	28,2	28,2	28,0	28,0	27,3
Máximos	32,0	32,5	34,0	36,0	36,0	36,0	34,2	34,2	34,6	34,0	34,2	33,0
Mínimos	21,8	20,2	21,3	22,0	20,0	21,0	21,8	21,8	21,3	21,4	22,4	20,0

Fuente: Integral S.A., 2020

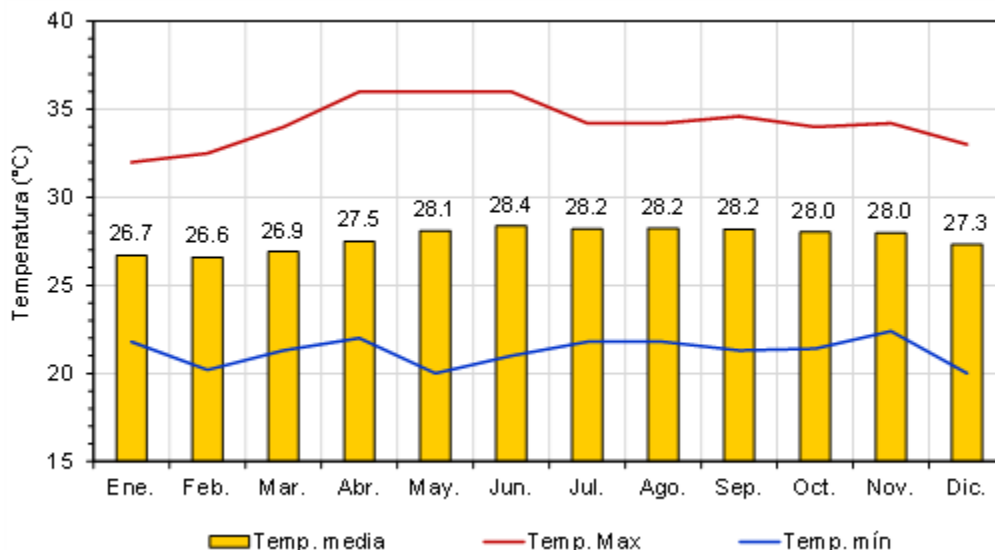


Figura 5.114 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la figura anterior los valores de temperatura media más altos se presentan entre los meses de mayo y noviembre, alcanzando un máximo de 28,4 °C en el mes de junio; por otro lado, las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de enero y marzo.

En la Figura 5.115 se muestran los registros diarios de temperatura máxima y mínima disponibles de la estación Las Flores, que corresponden al periodo de 1980 a 2015. El registro de temperatura máxima en el periodo de tiempo señalado es de 36 °C presentado en mayo y junio de 1993 y en abril del 2003, y el registro de temperatura mínima es de 20 °C que se presentó el 07 de mayo de 1998 y el 10 de diciembre de 2008.

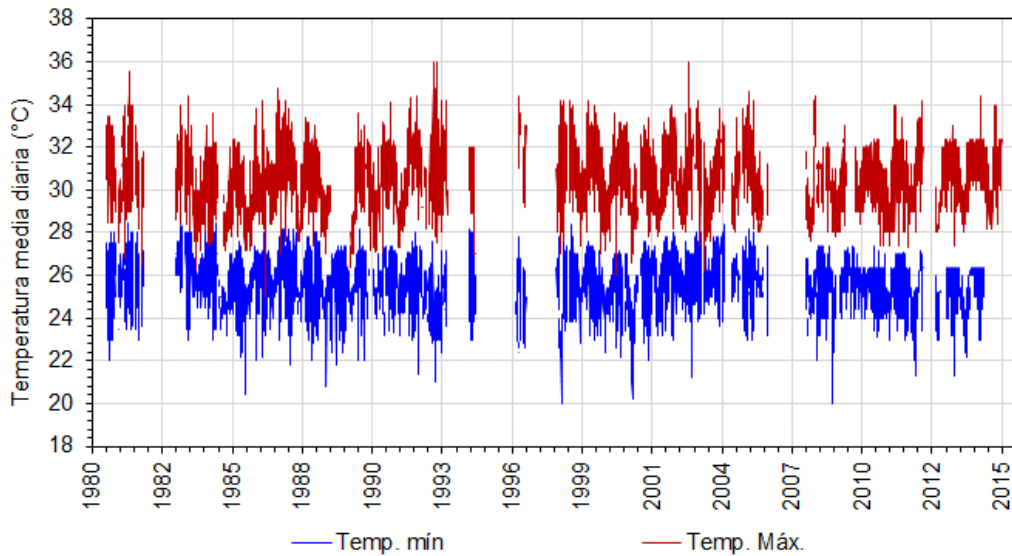
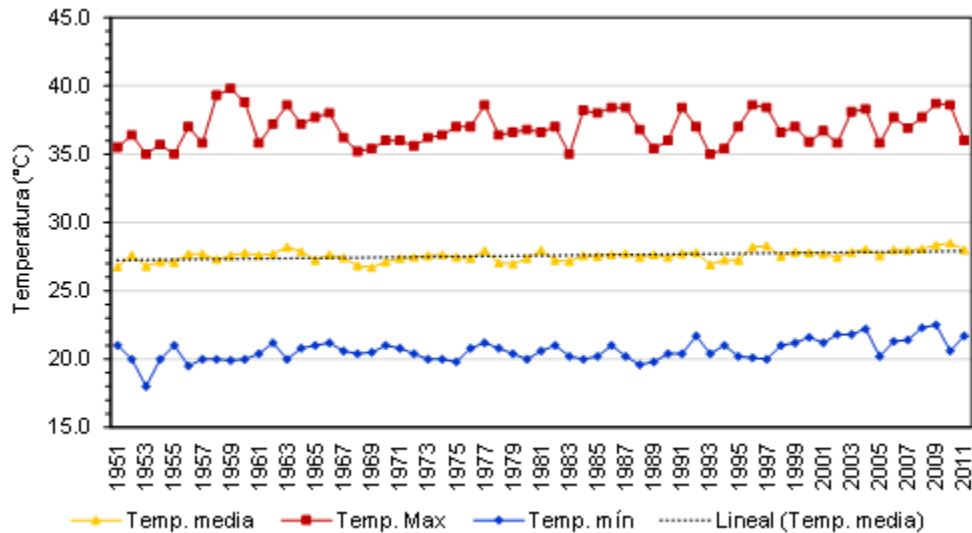


Figura 5.115 Temperatura máxima y mínima diaria (°C) - Estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Por otro lado, para la estación Aeropuerto E Cortissoz, con periodo de registros mensuales desde el año 1951 al 2017, se evidencia una tendencia positiva en la serie de tiempo (véase Figura 5.116), en la cual se tiene una temperatura media mensual entre 26,7 y 28,5 °C.



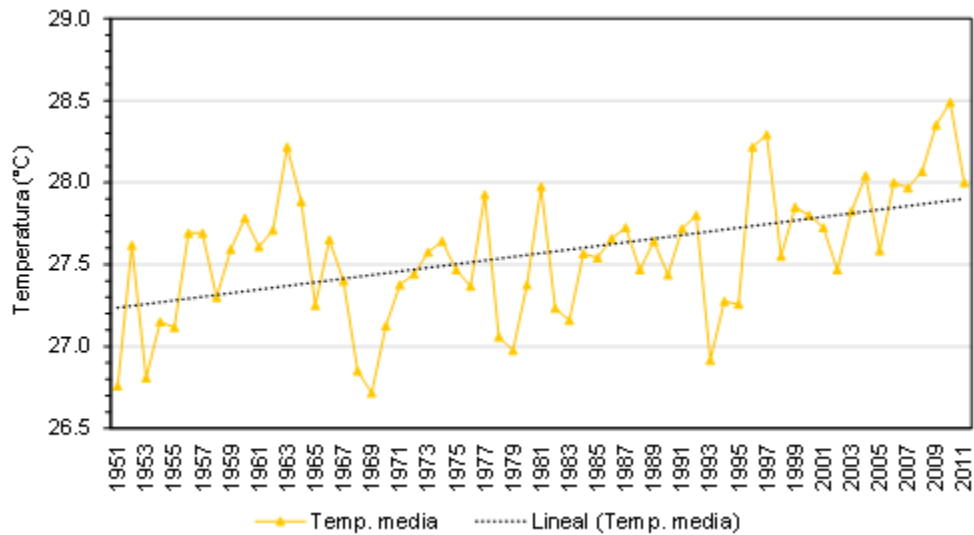


Figura 5.116 Temperatura media, máxima y mínima anual estación Aeropuerto E Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Tabla 5.155, al igual que en la Figura 5.117, se presenta un resumen de las temperaturas medias mensuales presentadas en la estación Aeropuerto E Cortissoz para el periodo de tiempo registrado.

Tabla 5.155 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Temperatura mensual (°C)

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	26,7	26,7	27,1	27,7	28,2	28,2	28,1	28,1	27,9	27,4	27,5	27,2
Máximos	38,2	37,6	38,3	38,4	39,3	39,8	38,6	38,8	38,4	38,6	38,4	37,2
Mínimos	18,0	20,0	20,0	18,8	20,2	20,5	21,0	20,4	20,0	20,0	19,8	19,5

Fuente: Integral S.A., 2020

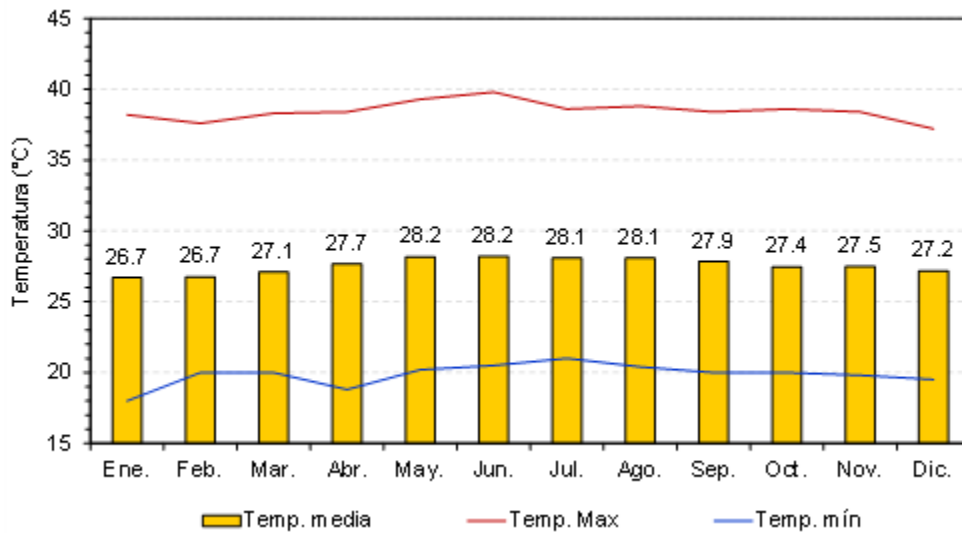


Figura 5.117 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) – Estación Aeropuerto E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.118 se presentan los registros diarios de temperatura de la estación Aeropuerto E Cortissoz en el periodo de 1978 al 2017, donde el registro de temperatura máxima fue de 38,70 °C presentado el 29 de agosto de 2015. La mínima temperatura diaria registrada en esta estación fue de 19,60 °C y se presentó en 2 ocasiones en el mes de enero de 1994.

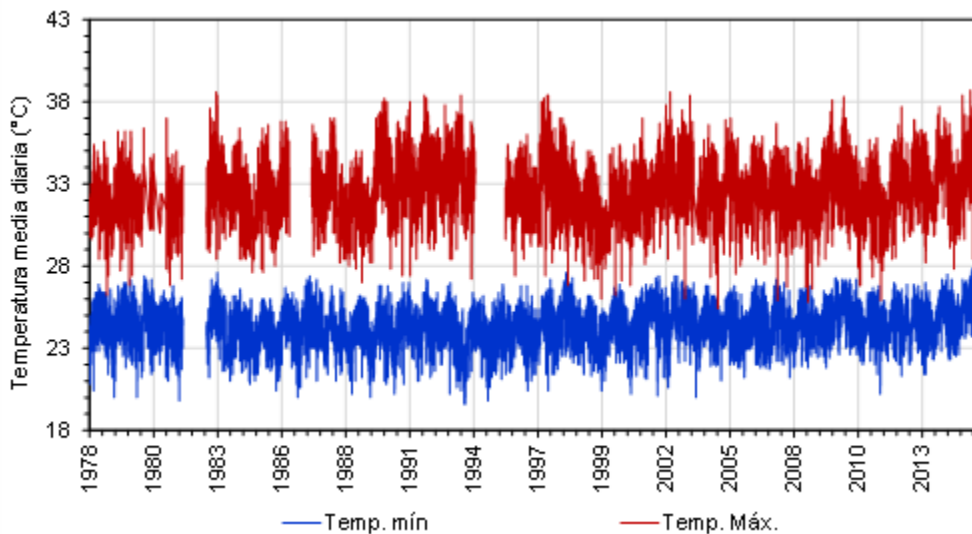


Figura 5.118 Temperatura máxima y mínima diaria (°C) - Estación Aeropuerto E. Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020



Con los resultados obtenidos es posible afirmar que el régimen de temperaturas de la zona es unimodal con variaciones entre 26,6 °C y 28,4 °C. Los valores máximos se presentan entre los meses de mayo y septiembre, mientras que las menores temperaturas se dan entre los meses de enero y marzo.

#### 5.1.11.1.2 Presión atmosférica

La presión atmosférica se define como el peso de la columna de aire de una superficie, presentándose mayores valores en aquellas zonas que se ubican al nivel del mar, y menor presión atmosférica en sitios con mayor elevación.

Dado que en las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio no hay mediciones de la presión atmosférica, fue necesario aplicar un modelo atmosférico terrestre denominado atmósfera estándar. Este modelo permite estudiar las capas más bajas de la atmósfera como un gas perfecto en reposo, añadiendo como condición la variación exponencial de la temperatura con la altura. El modelo se basa en condiciones promedio de latitudes medias y está definido por la siguiente ecuación:

$$P_i = P_o \left( \frac{T_o}{T_o + KZ_i} \right)^{\frac{g}{KR}}$$

Ecuación 5.4 Modelo atmósfera estándar

Dónde:

P<sub>i</sub>: presión atmosférica en el punto de interés (mBar)

P<sub>o</sub>: presión atmosférica de referencia (mBar)

T<sub>o</sub>: temperatura de referencia (°K) - °K = °C +273,16

K: gradiente térmico (°K/m)

Z<sub>i</sub>: altura del punto de interés (msnm)

g: aceleración de la gravedad (9,80 m/s<sup>2</sup>)

R: constante del gas (287 N\*m/kg\*k)

En la tropósfera, el modelo de la atmósfera estándar está gobernado por valores de referencia a nivel del mar, correspondientes a una presión de 1013,25 mBar, aceleración de la gravedad de 9,80 m/s<sup>2</sup> y un gradiente térmico constante de -0,0065 °K/m.

Tabla 5.156 Presión atmosférica en los sitios donde se encuentran ubicadas las estaciones analizadas

Estación	Código	Po (mbar)	T (°C)	To (°K)	Zi (m.s.n.m.)	Pi (mbar)
Las Flores	29045120	1013,25	36,0	309,2	4,0	1012,8
AECortissoz	29045020	1013,25	39,8	312,9	17,0	1011,4

Fuente: Integral S.A., 2020

A continuación, se presenta la presión promedio mensual estimada en las estaciones con registro de temperatura en el área de estudio, aplicando el modelo de atmósfera estándar y teniendo en cuenta la presión y la elevación presentadas en la Tabla 5.156.

En la Tabla 5.157 y Figura 5.119 se presentan los valores medios mensuales obtenidos en la estación Las Flores.

Tabla 5.157 Estación Las Flores – Presión media mensual (mBar)

<b>Presión</b>	<b>Media</b>	<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>
Ene.	1012,341	1012,349	1012,334
Feb.	1012,341	1012,350	1012,331
Mar.	1012,342	1012,352	1012,333
Abr.	1012,342	1012,355	1012,334
May.	1012,343	1012,355	1012,331
Jun.	1012,344	1012,355	1012,332
Jul.	1012,344	1012,353	1012,334
Ago.	1012,344	1012,353	1012,334
Sep.	1012,344	1012,353	1012,333
Oct.	1012,343	1012,352	1012,333
Nov.	1012,343	1012,353	1012,335
Dic.	1012,342	1012,351	1012,331

Fuente: Integral S.A., 2020

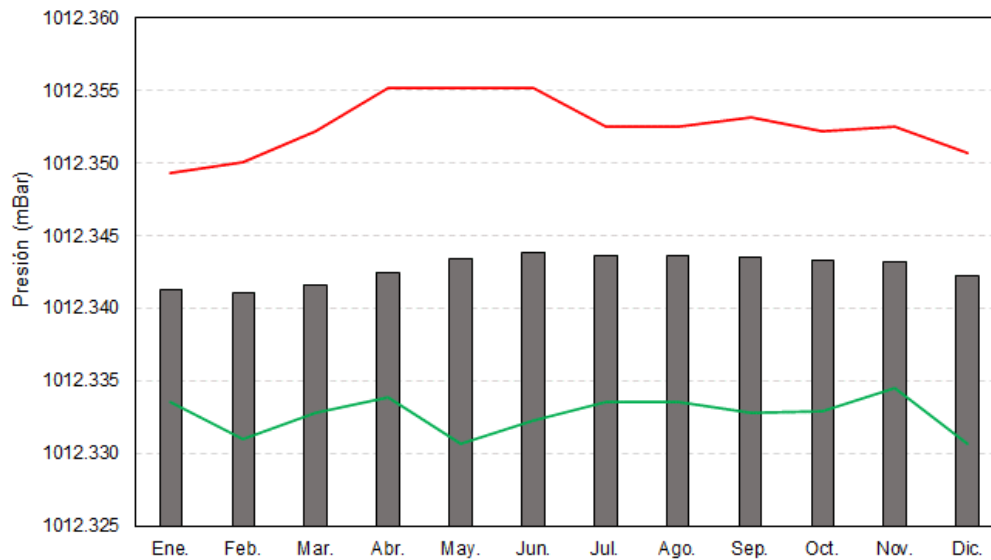


Figura 5.119 Estación Las Flores – Presión media mensual (mBar)

Fuente: Integral S.A., 2020

La presión máxima estimada es de 1012,355 mBar en los meses de abril, mayo y junio, mientras que el mínimo estimado es de 1012,331 mBar en el mes de febrero y diciembre.

Tabla 5.158 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Presión media mensual (mBar)

Presión	Media	Máxima	Mínima
Ene.	1009,417	1009,489	1009,359
Feb.	1009,417	1009,486	1009,372
Mar.	1009,420	1009,490	1009,372
Abr.	1009,423	1009,490	1009,364
May.	1009,426	1009,496	1009,374
Jun.	1009,427	1009,499	1009,376
Jul.	1009,426	1009,492	1009,379
Ago.	1009,426	1009,493	1009,375
Sep.	1009,425	1009,490	1009,372
Oct.	1009,422	1009,492	1009,372
Nov.	1009,422	1009,490	1009,371
Dic.	1009,420	1009,483	1009,369

Fuente: Integral S.A., 2020

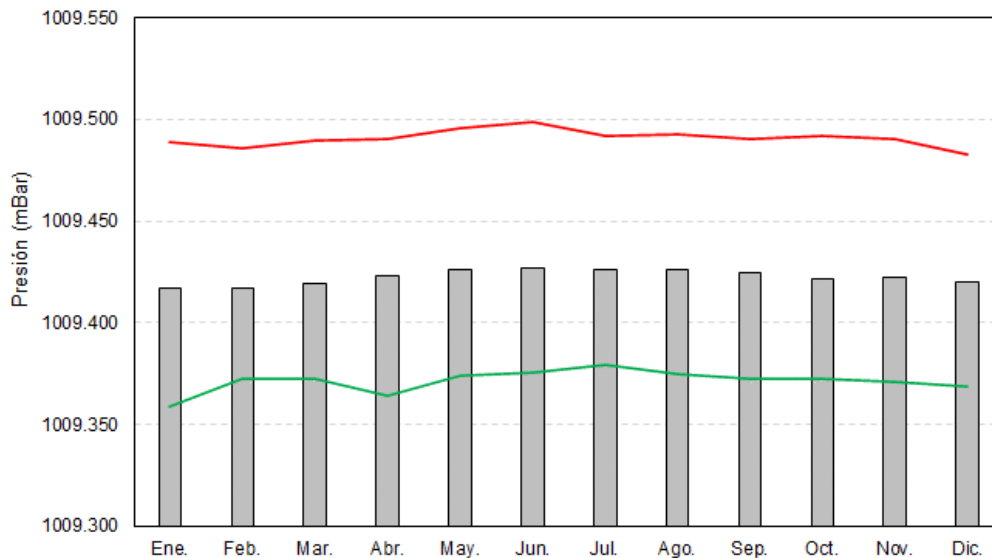


Figura 5.120 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Presión media mensual (mBar)

Fuente: Integral S.A., 2020

La presión máxima estimada es de 1009,499 mBar en el mes de junio, mientras que el mínimo estimado es de 1009,359 mBar en el mes de enero.

#### 5.1.11.1.3 Precipitación

Para caracterizar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en la zona de interés, se utilizó información de las estaciones presentadas en la Tabla 5.159 y de los promedios de variables climatológicas para el periodo 1981 – 2010, publicados por el IDEAM<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

Tabla 5.159 Estaciones de precipitación con influencia en la zona de estudio

Nombre Estación	Código Estación	Tipo de variable	Periodo de registro		Años de registro	Datos faltantes (%)
			Desde	Hasta		
Las Flores	29045120	Precipitación diaria total (mm)	1980	2015	35	26%
Aeropuerto E Cortissoz	29045020	Precipitación diaria total (mm)	1970	2019	49	1%
Barranquilla Sede	29040450	Precipitación diaria total (mm)	2007	2019	12	1%

Fuente: Integral S.A., 2020

Las estaciones analizadas presentan entre 10 y 49 años de registros de precipitaciones diarias. Como se presenta en la tabla anterior, los datos faltantes en las estaciones Aeropuerto E Cortissoz y Barranquilla Sede son menores al 5 %, por lo cual no se considera necesario el llenado de estas series. Sin embargo, para la estación Las Flores se obtuvo un porcentaje de datos faltantes de 26% por lo cual se realizó el llenado de esta serie de datos. En la Figura 5.121 se presentan las series de precipitaciones diarias de las estaciones mencionadas.

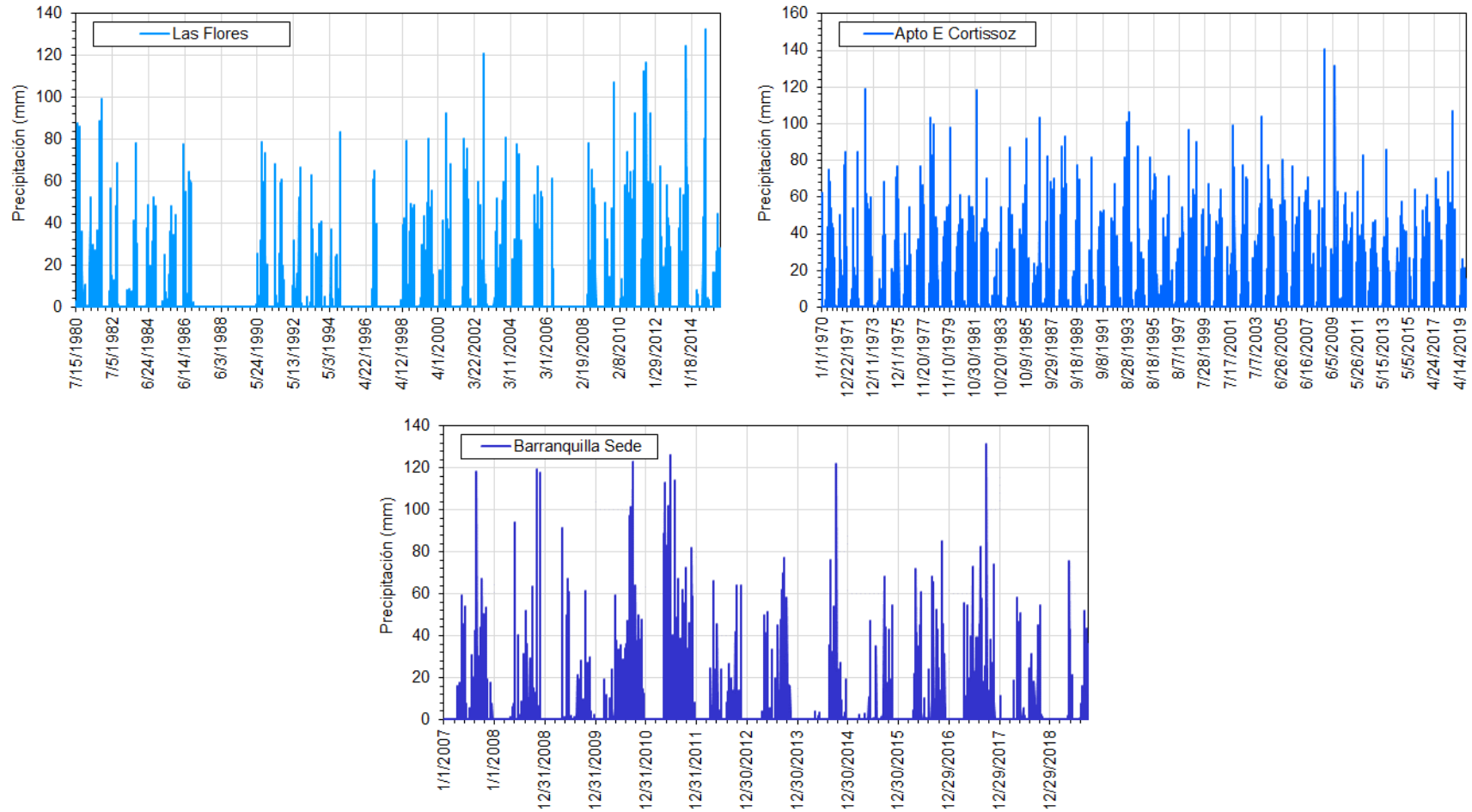


Figura 5.121 Precipitaciones diarias en las estaciones con influencia en la zona de estudio

Fuente: Integral S.A., 2020



Considerando la cantidad de datos faltantes en la serie de precipitaciones diarias de la estación Las Flores, se optó por completar la serie y se obtuvo como resultado los datos presentados en la Figura 5.122.

El llenado de los datos se realizó mediante la identificación de años pivote, los cuales fueron seleccionados de acuerdo con el comportamiento presentado ante fenómenos macro climáticos como el ENSO (El Niño Southern Oscillation); para esto se utilizó el índice MEI (Multivariate ENSO Index). También se tuvo en cuenta el hecho de que el comportamiento de la media y la desviación estándar inicial deberían ser similares a los de la serie completa. De acuerdo con este análisis se definieron como pivote los años 1991, 2002, 2010 y 2013, los cuales presentaban un comportamiento similar a los periodos de datos faltantes.

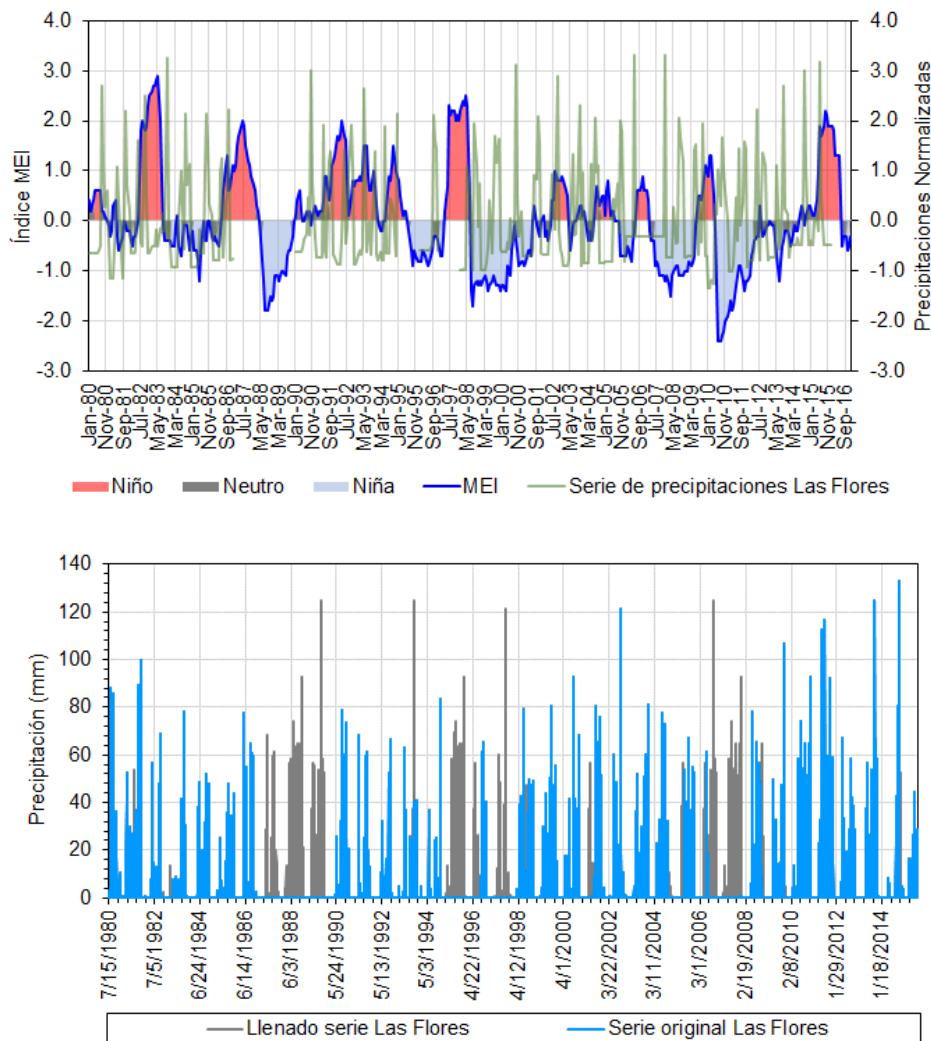


Figura 5.122 Llenado de serie de datos de la estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.123 se muestra el régimen mensual de precipitaciones para las estaciones con influencia en la zona de interés, en la cual se observa que en el año se presentan dos periodos lluviosos y dos periodos de menor precipitación. En otras palabras, el régimen de precipitaciones en la zona es bimodal.

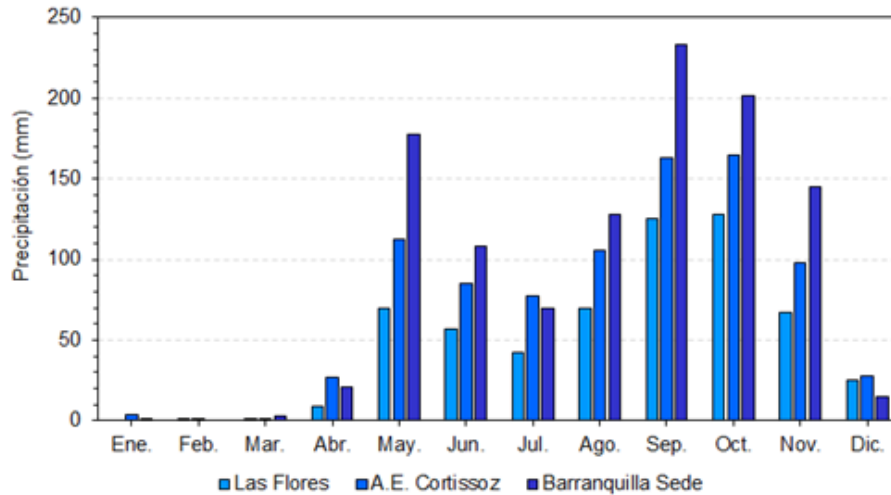


Figura 5.123 Precipitaciones totales mensuales multianuales en las estaciones con influencia en la zona de interés

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se observa en la figura anterior, los periodos de mayores lluvias se presentan en los meses de mayo, septiembre y octubre, con un periodo de verano entre los meses de enero y marzo, y un veranillo en el mes de julio.

En la Figura 5.124 se presentan las precipitaciones totales anuales para los periodos de registros de las estaciones Las Flores, Aeropuerto E Cortissoz y Barranquilla Sede.

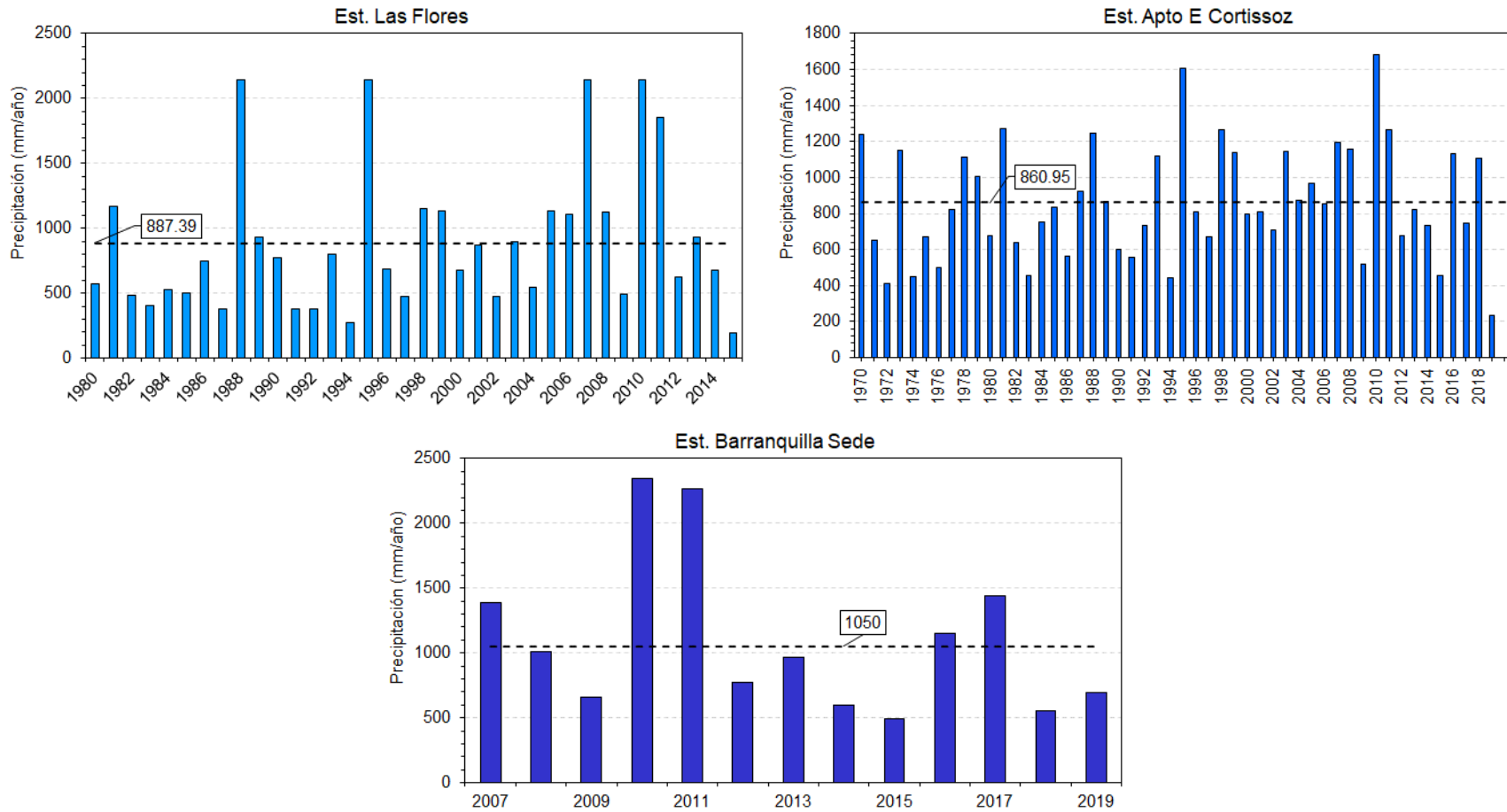


Figura 5.124 Precipitaciones totales anuales en las estaciones con influencia en la zona del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2020

5.1.11.1.4 Humedad relativa

La humedad relativa relaciona la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener, constituyéndose así en uno de los componentes más importantes de la atmósfera. A continuación se presenta el análisis de humedad relativa a partir de los registros de las estaciones Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz.

Los registros de humedad relativa de la estación Las Flores (véase Tabla 5.160 y Figura 5.125) oscilan entre 77 y 90 %, cuyos máximos valores se presentaron en agosto de 2008 y enero de 2009.

Tabla 5.160 Estación Las Flores- Humedad Relativa media mensual (%)

Humedad R.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	81,9	82,1	82,1	82,6	83,1	82,7	82,4	82,8	82,7	83,1	82,5	82,5
Máximos	90,0	89,0	86,0	87,0	87,0	89,0	89,0	90,0	89,0	86,0	87,0	86,0
Mínimos	77,0	77,0	78,0	77,0	79,0	79,0	77,0	77,0	78,0	77,0	79,0	77,0

Fuente: Integral S.A., 2020

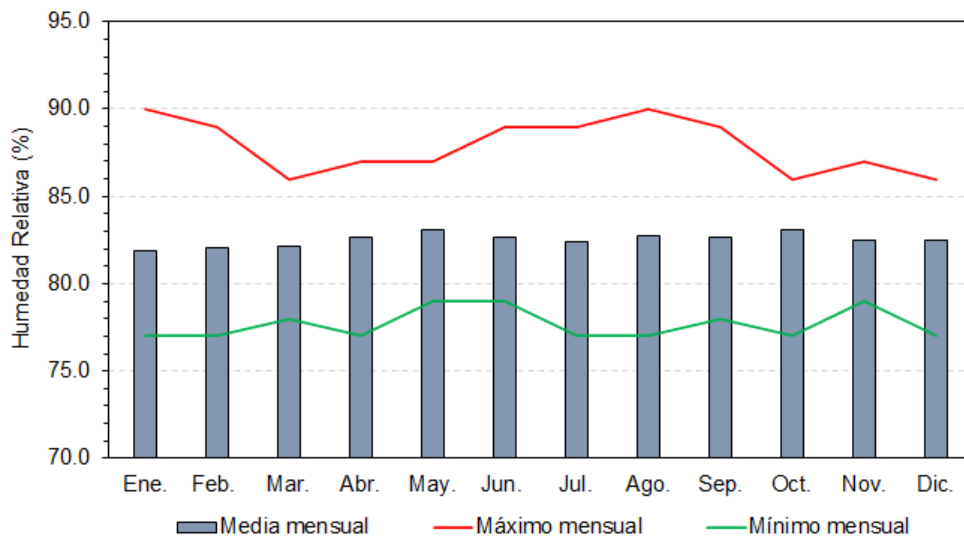


Figura 5.125 Estación Las Flores - Humedad Relativa media mensual (%)

Fuente: Integral S.A., 2020

Los registros de humedad relativa de la estación Aeropuerto E Cortissoz (véase Tabla 5.161 y Figura 5.126) oscilan entre un registro máximo de 93 % en el mes de septiembre y octubre, y un mínimo de 73 % en los meses de febrero y abril.

Tabla 5.161 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Humedad Relativa media mensual (%)

Humedad R.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	78,3	77,5	77,4	78,4	80,3	81,1	80,0	81,0	82,8	84,3	83,3	80,1
Máximos	88,0	86,0	87,0	87,0	91,0	90,0	88,0	89,0	93,0	93,0	90,0	91,0
Mínimos	74,0	73,0	74,0	73,0	75,0	76,0	75,0	74,0	78,0	79,0	77,0	76,0

Fuente: Integral S.A., 2020

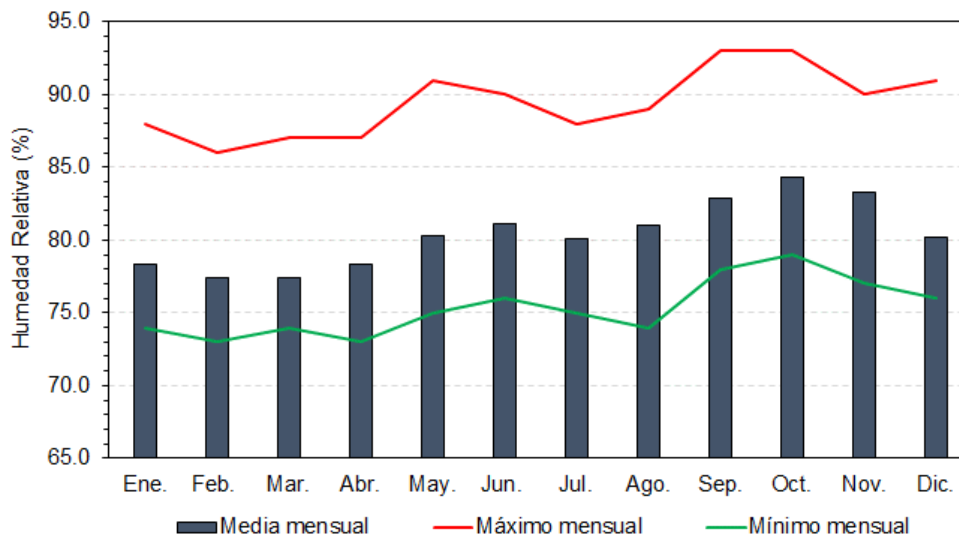


Figura 5.126 Estación Aeropuerto E Cortissoz - Humedad Relativa media mensual (%)

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.11.1.5 Vientos

El viento se define como el movimiento de aire en la atmósfera generado por la diferencia de presión. Para analizar el comportamiento de esta variable en la zona de interés se utilizó información del Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia (IDEAM, 2006), y rosas de vientos determinadas a partir de la información de la estación Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz.

Los vientos en las regiones planas de Colombia, como la llanura del Caribe, presentan circulaciones bastante definidas en el transcurso del año, influenciadas por el comportamiento típico de los vientos alisios (IDEAM, 2017). En la zona del proyecto, los vientos en superficie esperados oscilan entre 5,0 y 10,0 m/s según el mapa de velocidad media del viento en superficie del Atlas de viento y energía Eólica de Colombia (IDEAM, 2017) (véase Figura 5.127).



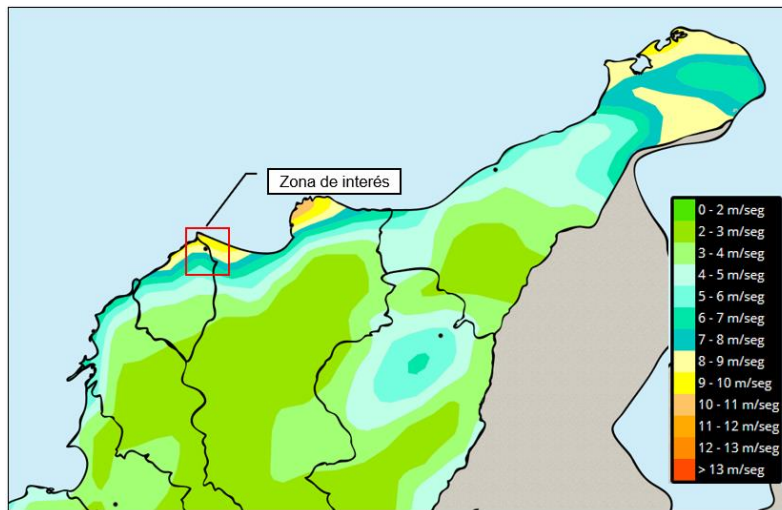


Figura 5.127 Velocidad media del Viento en superficie

Fuente: Modificado de Ideam 2015

Para la caracterización de los vientos se recurrió a la información de los registros de las estaciones climatológicas Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz propiedad del IDEAM. La estación Las Flores cuenta un periodo de registros horarios comprendido entre 1990 y 2006. En la Figura 5.128 se presenta la variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación analizada, donde los valores medios varían entre 2,9 m/s y 6,8 m/s, siendo marzo el mes donde se presenta el valor máximo y el menor valor se da en los meses de septiembre y octubre.

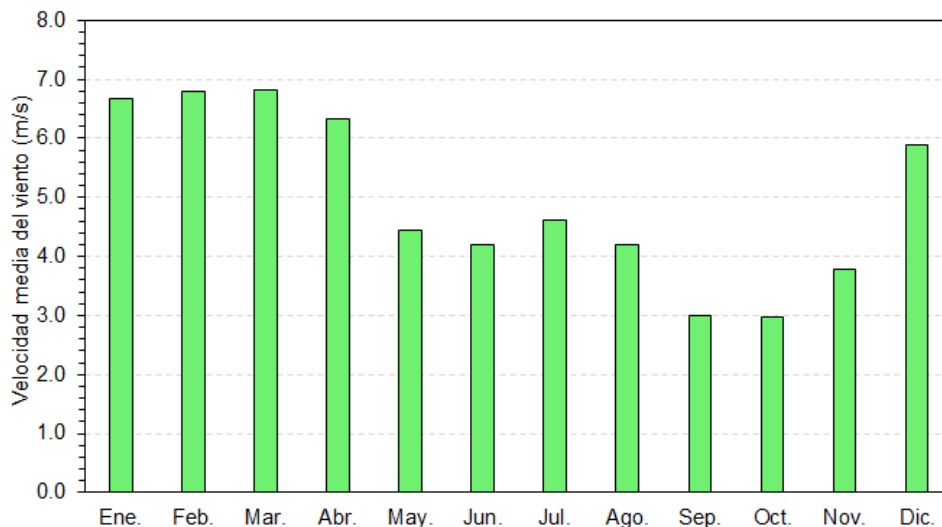


Figura 5.128 Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Las Flores

Fuente: Integral S.A., 2020

Para estación Aeropuerto E Cortissoz se tomó un periodo de registros horarios de 19 años comprendido entre el año 2000 y el 2018. En la Figura 5.129 se presenta la variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación mencionada, donde los valores medios varían entre 2,3 m/s y 4,9 m/s, siendo febrero el mes donde se presenta el valor máximo y el menor valor se da en los meses de septiembre y octubre.

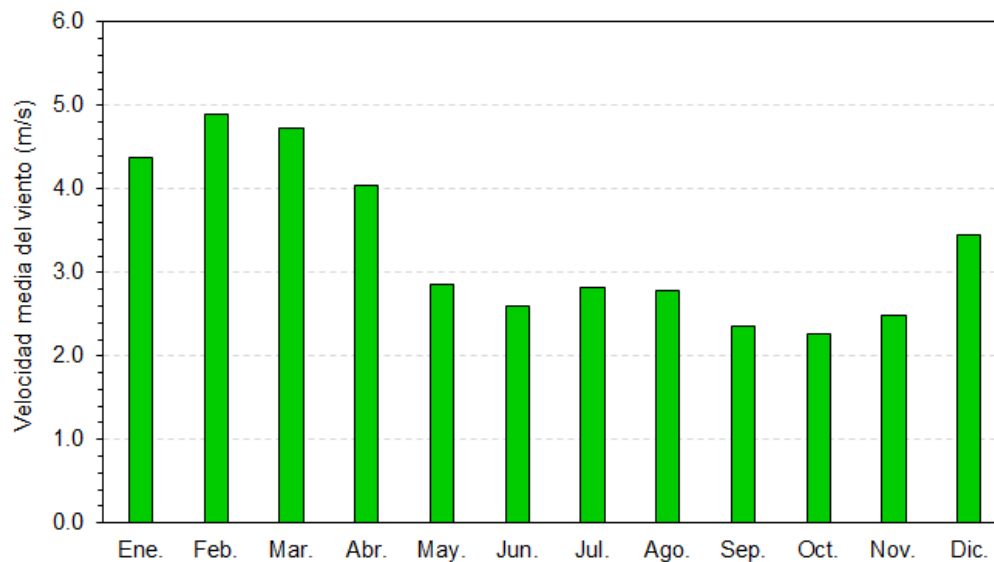


Figura 5.129 Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Aeropuerto E Cortissoz

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Figura 5.130 se presentan las rosas de viento anuales elaboradas a partir de los registros de las estaciones Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz.

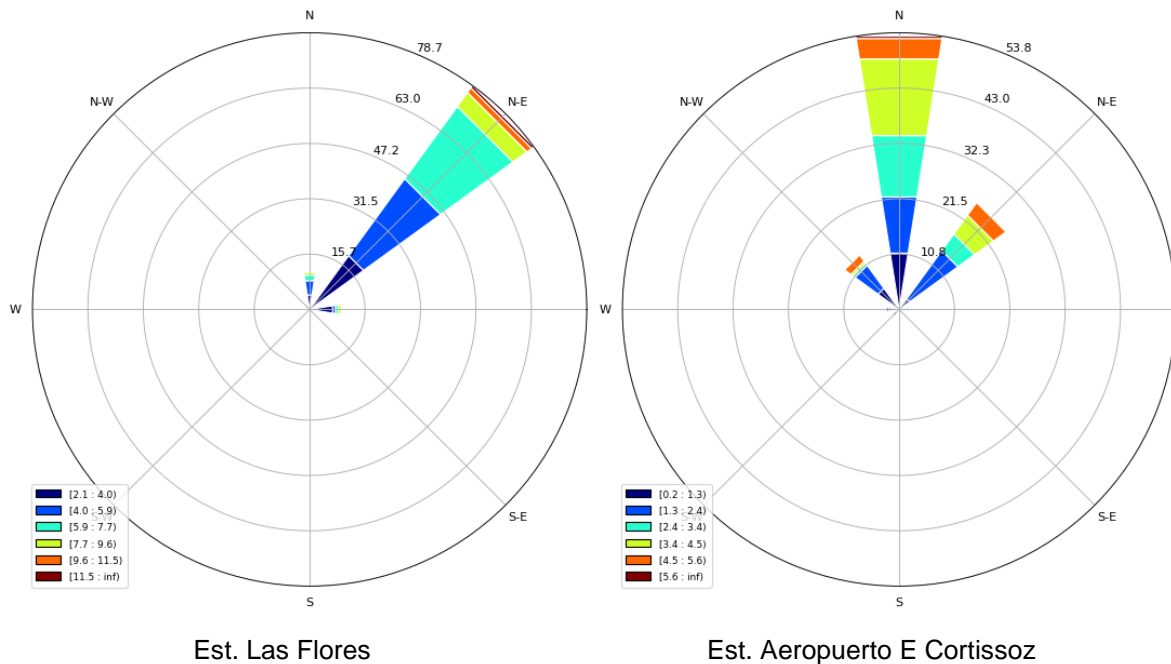


Figura 5.130 Rosas de viento anuales (m/s)

Fuente: Integral S.A., 2020

En la figura anterior se evidencia que los vientos tienen una dirección predominante del norte y noreste, cuyas velocidades tienen una magnitud promedio entre 0,2 y 11,5 m/s.

Para el análisis diario de los vientos en la zona del proyecto, se graficaron las rosas de viento para el promedio diario (6:00 a.m. – 5:00 p.m.) y el promedio nocturno (6:00 p.m. – 5:00 a.m.) usando los datos horarios de las estaciones Las Flores y Aeropuerto E Cortissoz. En la Figura 5.131 y Figura 5.132 se presentan las rosas de viento para cada estación.

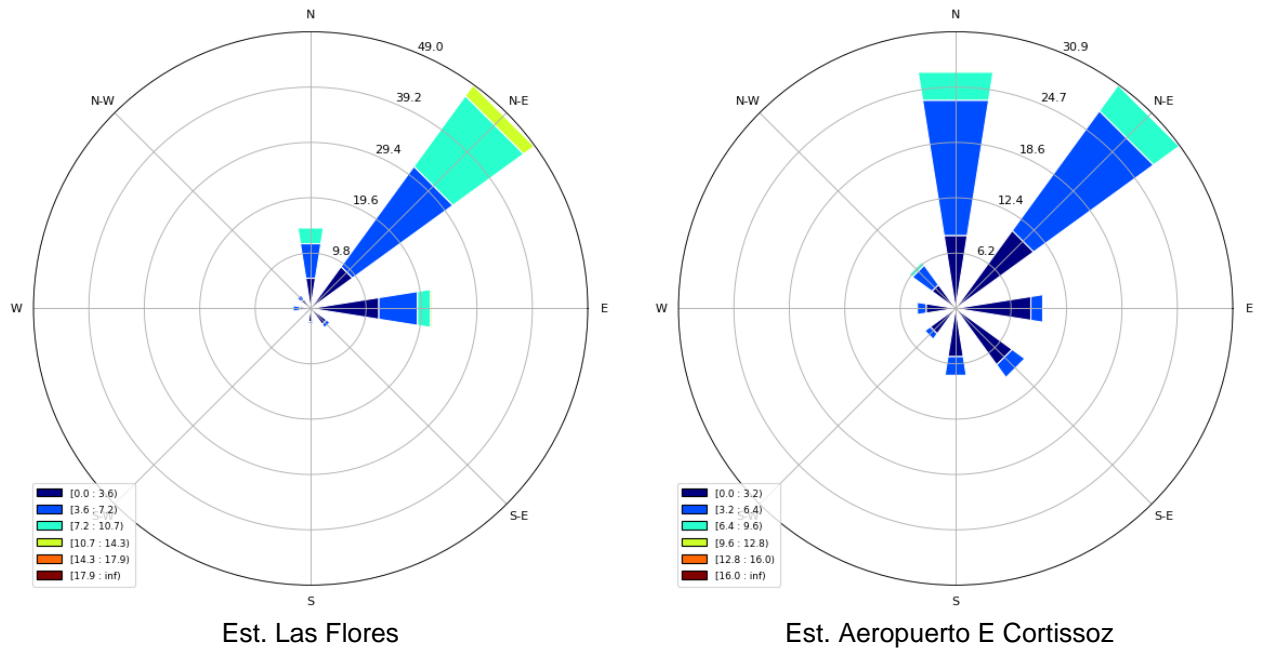


Figura 5.131 Rosas de viento diurnas

Fuente: Integral S.A., 2020

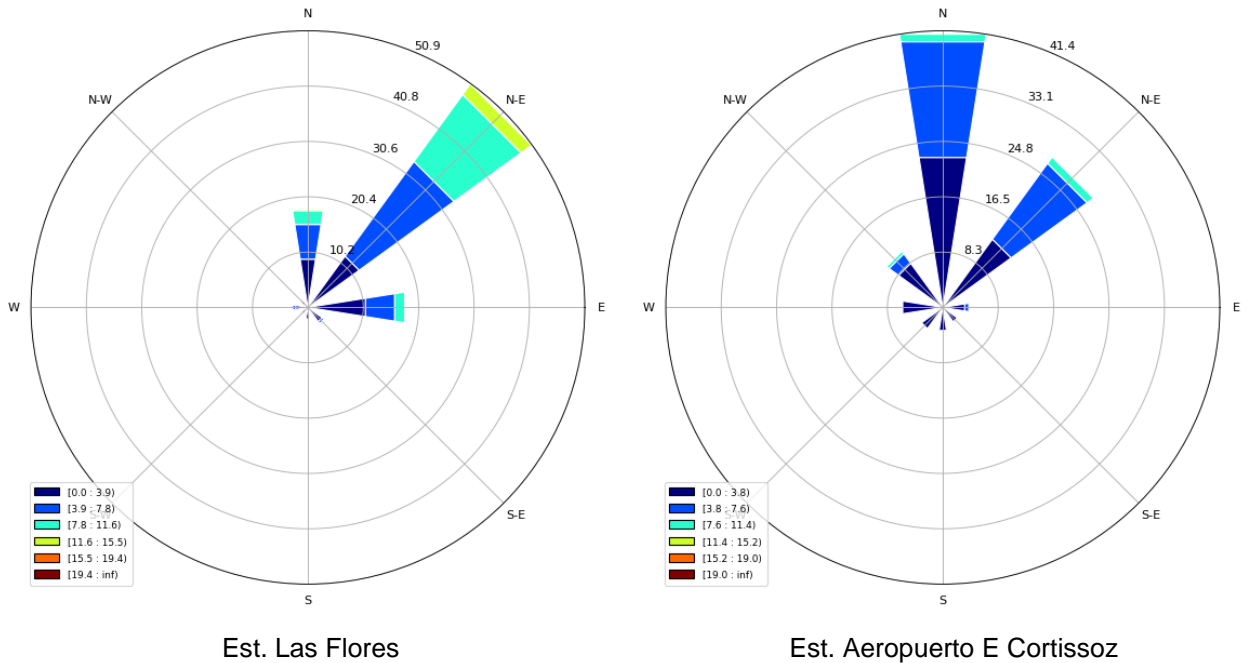
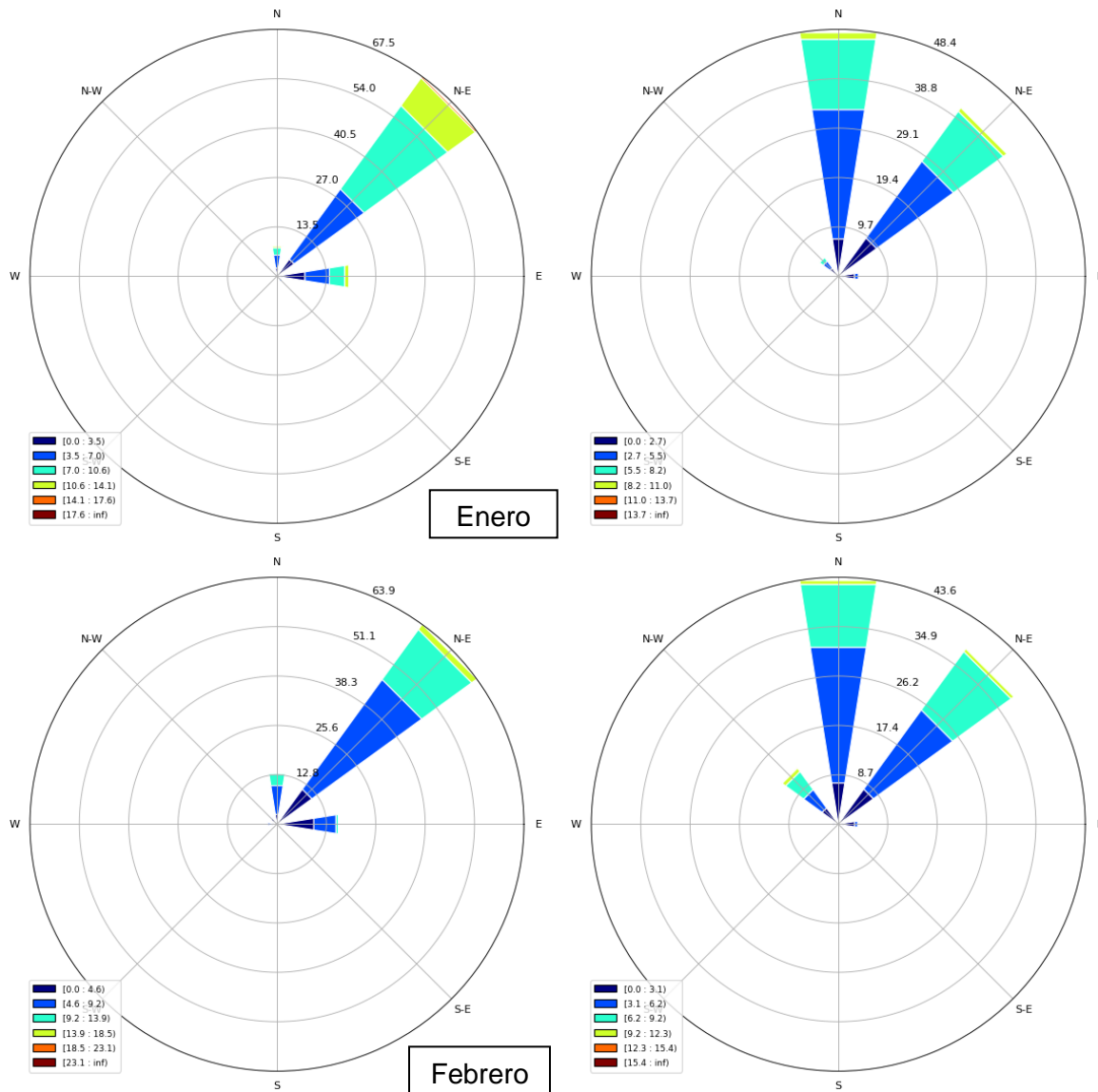


Figura 5.132 Rosas de viento nocturnas

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se muestra en las rosas diurnas y nocturnas, los vientos que predominan en la zona tienen direcciones norte y noreste, con velocidades entre 3 y 8 m/s. Por otro lado, no se observan grandes diferencias en cuanto a magnitudes y direcciones de vientos entre los horarios del día y la noche.

A continuación se presenta la variación mensual de la rosa de vientos en las estaciones analizadas.



Est. Las Flores

Est. Aeropuerto E Cortissoz

Figura 5.133 Rosas de viento mensual – enero y febrero



Fuente: Integral S.A., 2020

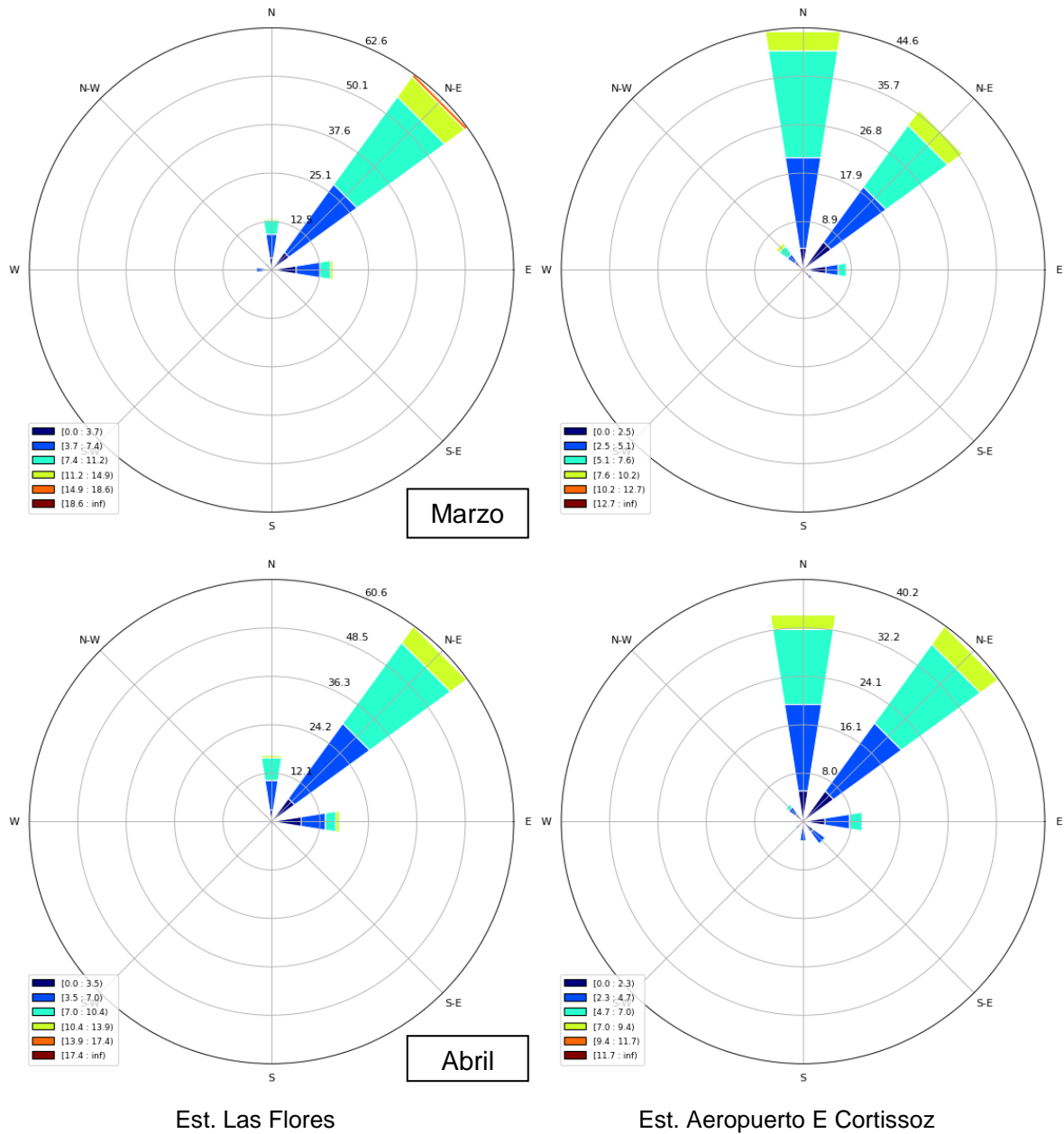


Figura 5.134 Rosas de viento mensual – marzo y abril

Fuente: Integral S.A., 2020

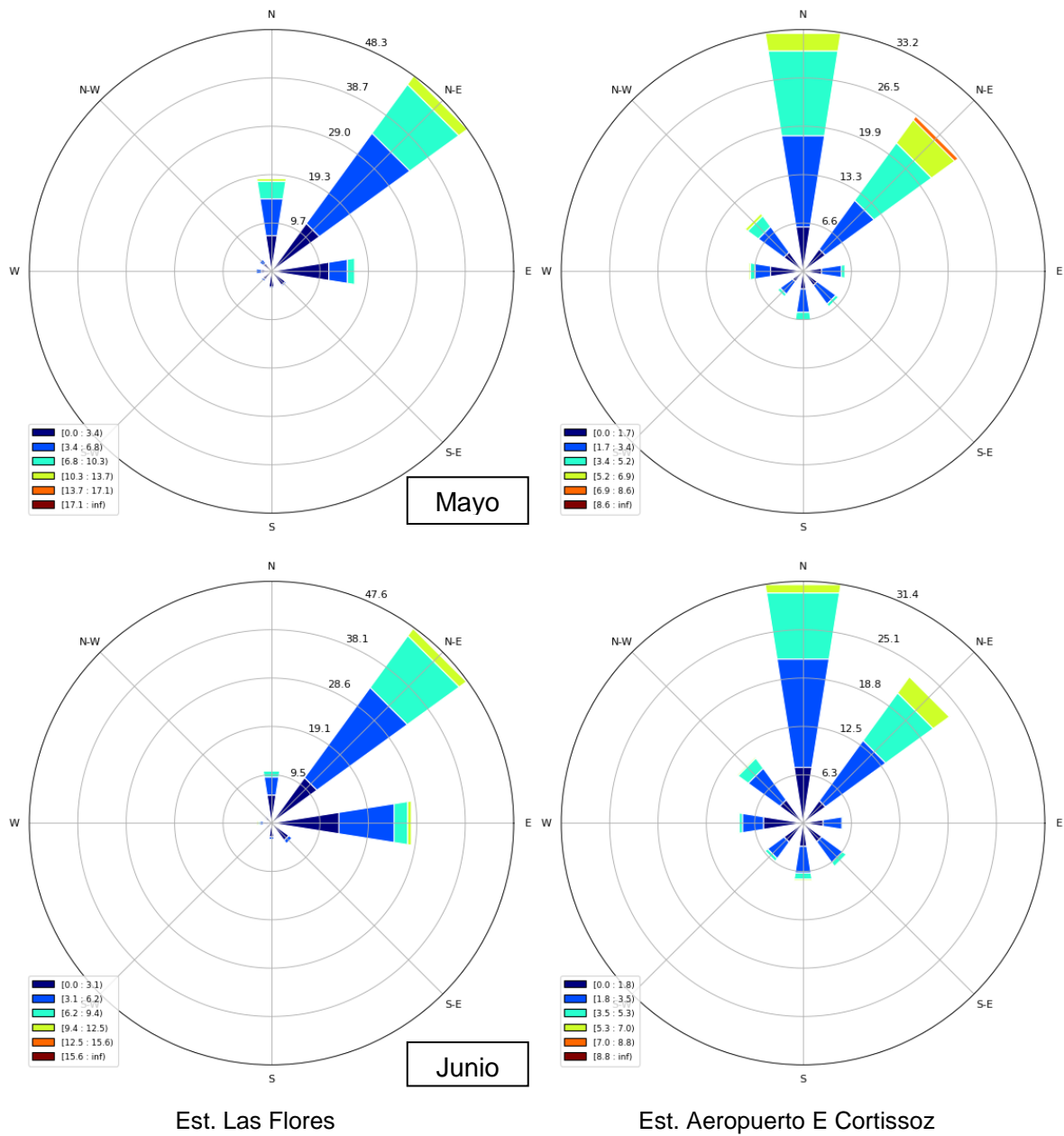


Figura 5.135 Rosas de viento mensual – mayo y junio

Fuente: Integral S.A., 2020

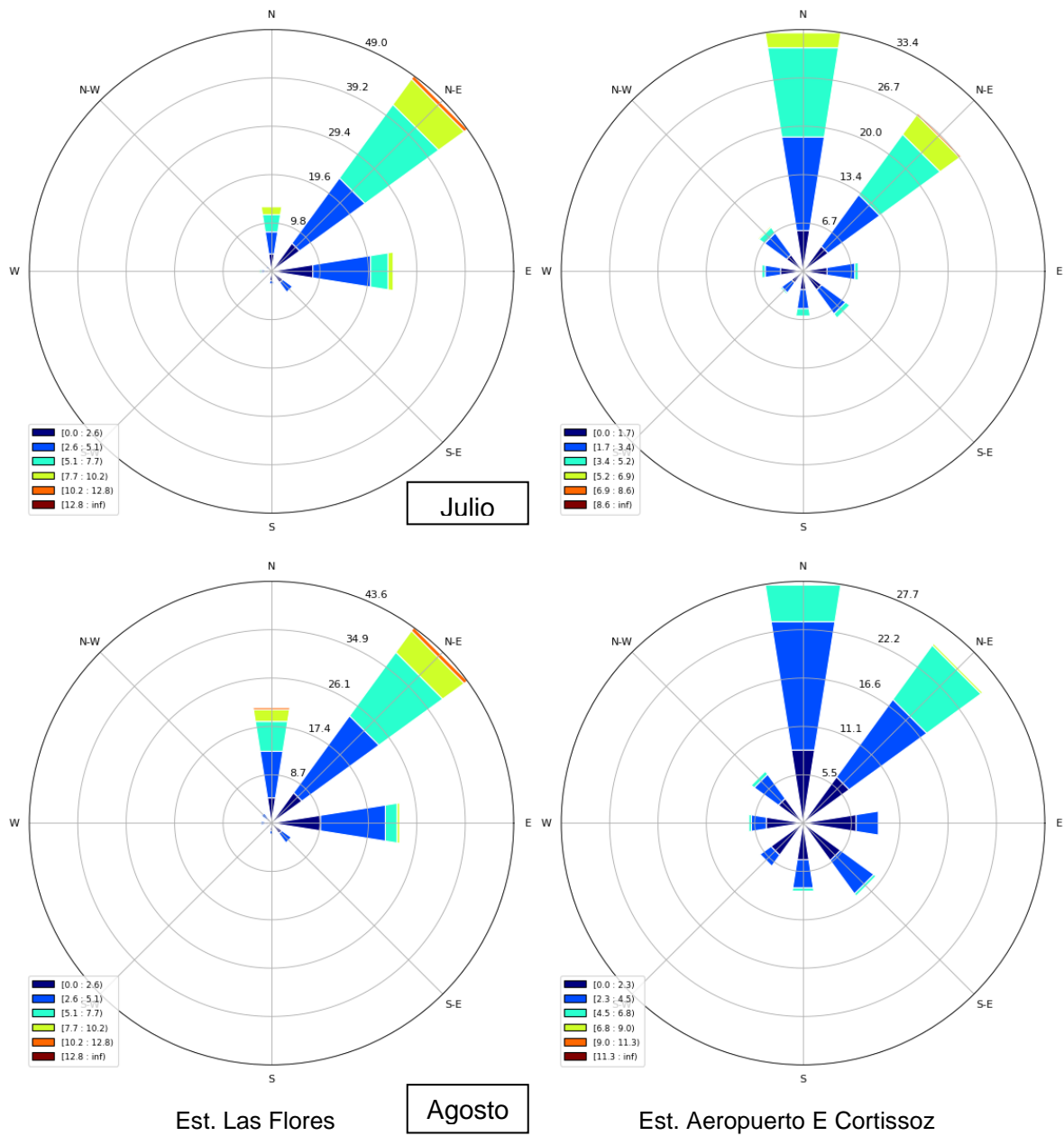


Figura 5.136 Rosas de viento mensual – julio y agosto

Fuente: Integral S.A., 2020

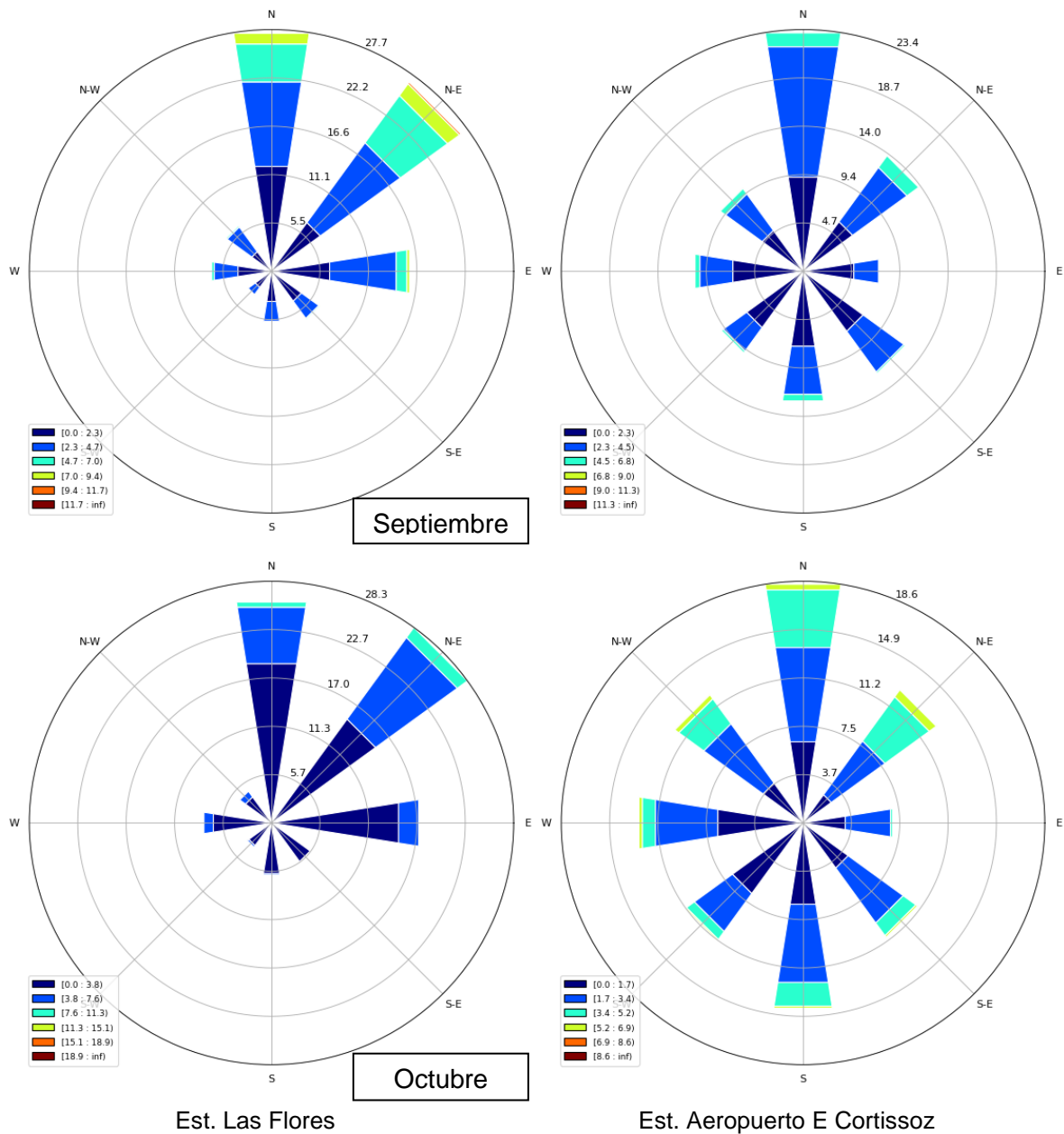


Figura 5.137 Rosas de viento mensual – septiembre y octubre

Fuente: Integral S.A., 2020

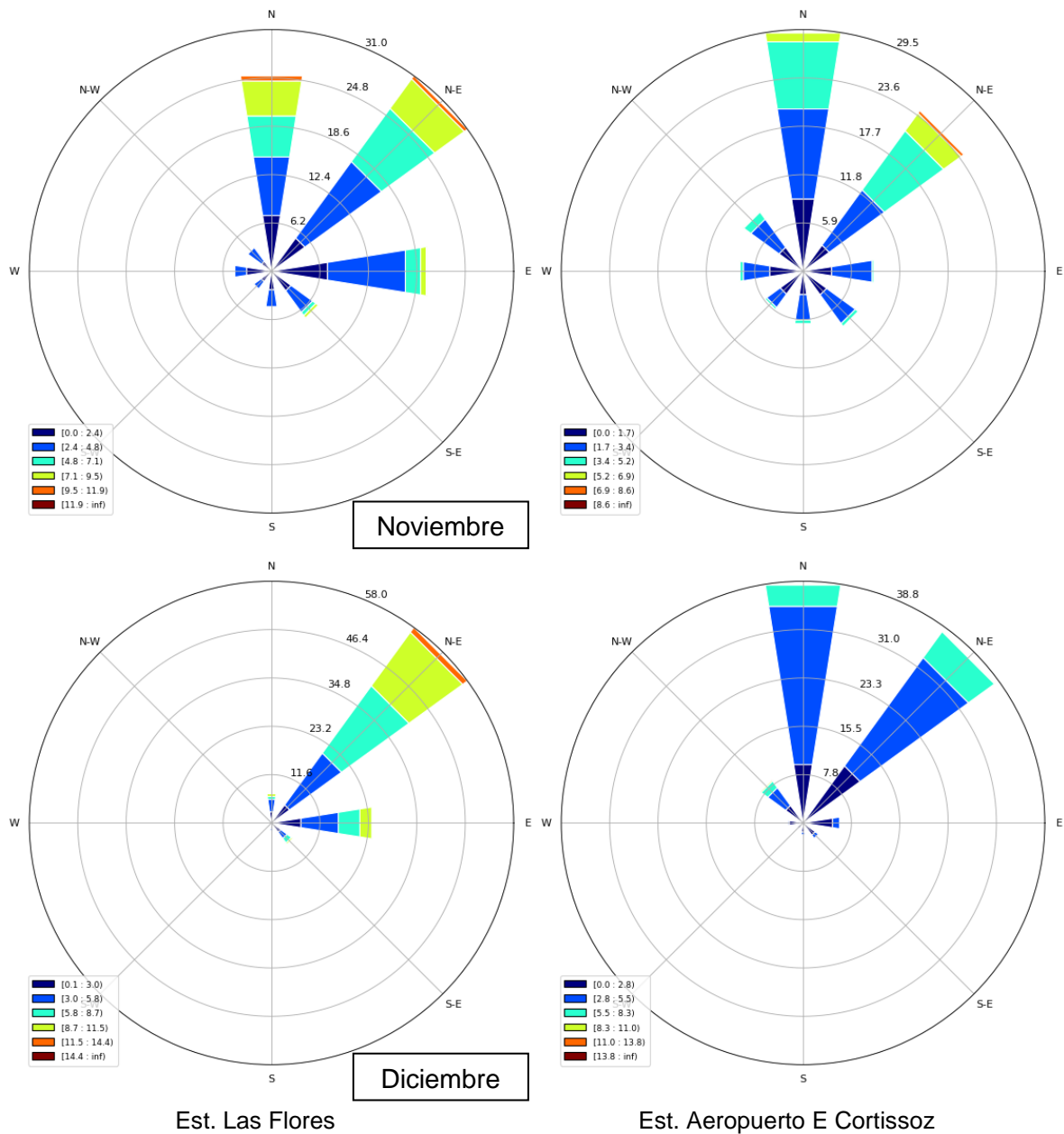


Figura 5.138 Rosas de viento mensual – noviembre y diciembre

Fuente: Integral S.A., 2020

En las figuras anteriores se puede observar que las direcciones predominantes de viento son desde el norte y noreste para todos los meses del año, siendo el norte la dirección predominante en la estación Aeropuerto E Cortissoz ubicada en el municipio de Soledad y el noreste para la estación Las Flores localizada en la ciudad de Barranquilla. Para los



meses de septiembre y octubre se observa una presencia importante de vientos que vienen del sur.

#### 5.1.11.1.6 Radiación solar

La radiación solar, definida como la energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y partículas, es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima<sup>12</sup>.

Según el Atlas Climatológico Nacional los niveles de radiación en la superficie dependen de varios factores como la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre. Debido a su posición geográfica la mayor parte del territorio colombiano recibe una radiación solar global promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> por día, lo cual indica una gran disponibilidad del recurso solar<sup>13</sup>.

Debido a que el IDEAM no generó reporte de radiación solar para las estaciones estudiadas, esta se calculó a partir de los valores de brillo solar registrados en la estación Aeropuerto E Cortissoz, cuya información se encontraba más completa y consistente. Para lo cual se utilizó la relación encontrada por Masson (Masson, 1966) entre la radiación solar sobre una superficie horizontal (en langleys por año - mes) y el número de horas de brillo solar (n), tal como se muestra en la Ecuación 5.5.

$$H = 60 + (1406,2n^2 + 7426,6n)^{1/2}$$

Ecuación 5.5 Relación Masson Radiación solar y número de horas de brillo solar

A partir de la ecuación anterior, se estimó la radiación solar anual para los registros de la estación Aeropuerto E Cortissoz (véase Figura 5.139), en la cual se evidencia una tendencia positiva de los datos.

<sup>12</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Atlas Climatológico Nacional. Segunda parte Bogotá, D.C. – Colombia, 1997. p. 51.

<sup>13</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá, D.C. – Colombia, 2005. p. 19.

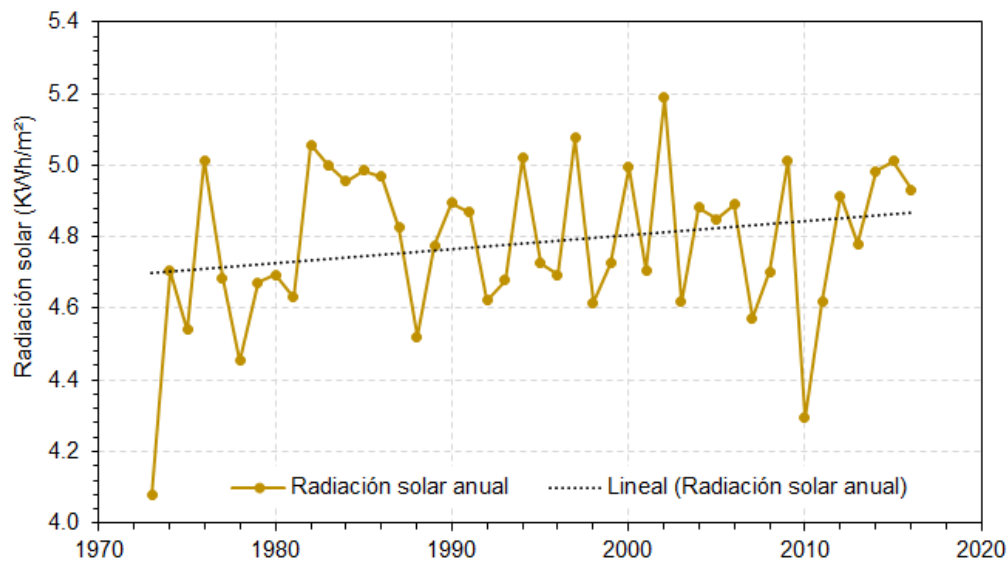


Figura 5.139 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar anual (kWh/m<sup>2</sup>)

Fuente: Integral S.A., 2020

En la Tabla 5.162 y en la Figura 5.139 se ilustra el comportamiento de los valores medios mensuales multianuales por día de radiación solar en la estación Aeropuerto E Cortissoz, para el periodo de registro comprendido entre 1973 y 2017.

Tabla 5.162 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar media mensual (kWh/m<sup>2</sup>)

Radiación Solar	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Medios	5.86	5.33	5.21	4.67	4.40	4.55	4.85	4.65	4.10	4.08	4.40	5.34
Máximos	6.12	5.73	5.77	5.61	5.38	5.16	5.70	5.53	4.64	4.50	5.30	5.91
Mínimos	5.16	4.62	4.54	2.80	3.29	3.84	3.73	3.71	3.33	3.58	3.60	4.15

Fuente: Integral S.A., 2020

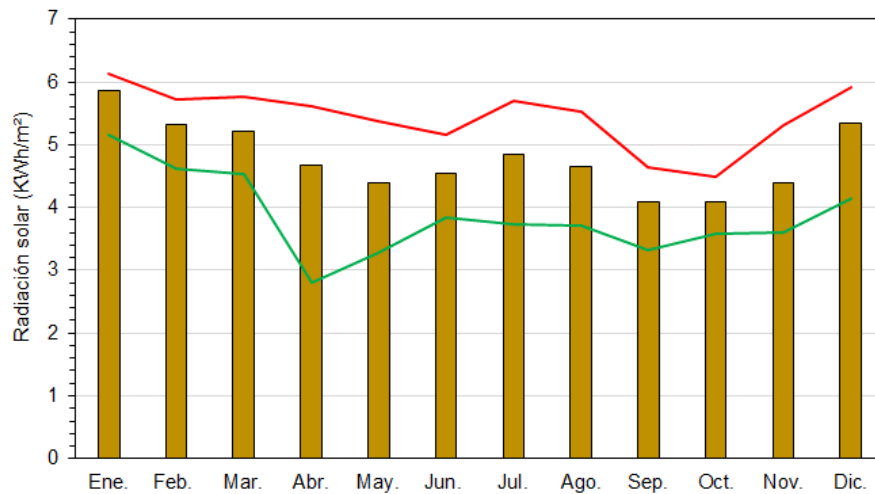


Figura 5.140 Estación Aeropuerto E Cortissoz – Radiación solar mensual total (kWh/m2)

Fuente: Integral S.A., 2020

Como se puede observar en la figura anterior, los valores estimados varían entre 4,08 kWh/m<sup>2</sup> y 5,86 kWh/m<sup>2</sup> por mes, siendo enero el mes donde se presenta el máximo valor y octubre el que presenta el menor valor.

### 5.1.11.2 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

La identificación de las fuentes de emisión de gases y partículas en el área de estudio se desarrolló a través de observaciones de campo realizadas a través del laboratorio Control de Contaminación Ltda. (véase 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_13\_INFORME LAB\_AIRE), donde se identificó que en la zona de estudio predominan las emisiones del tránsito vehicular (fuentes móviles) por lo cual a continuación se describe el aforo realizado.

#### 5.1.11.2.1 Aforo vehicular

El área de intervención del proyecto presenta intersección con varias vías de la ciudad de Barranquilla y el municipio de Soledad, tal como se evidencia en la Tabla 5.163.

Tabla 5.163 Vías presentes en el área de intervención del proyecto

Tramo	Pendiente	Vía	Material vía	Ancho calzada (m) y carriles
SE Las Flores – SE Oasis	1 – 7 %	Vía 40	PHD y concreto	15 (doble calzada), se interviene un solo carril
		Calle 75	Concreto	8 (doble sentido)
SE Oasis – SE Estadio	1 – 12 %	Calle 75	Concreto	8 (doble sentido)
		Carrera 65	Concreto	8 (doble sentido)
		Calle 68	Concreto	15 (doble carril con separador central)
		Carrera 64	Concreto	10 (doble sentido)
		Calle 65	Concreto	8 (un sentido)

Tramo	Pendiente	Vía	Material vía	Ancho calzada (m) y carriles
		Calle 64	Concreto	8 (un sentido)
		Carrera 47	Concreto	8 (un sentido)
		Calle 60	Concreto	8 (doble sentido)
SE Estadio – SE Centro	1 – 7 %	Calle 60	Concreto	8 (doble sentido)
		Carrera 41	Concreto	28 (doble carril con separador central)
		Calle 50	Concreto	8 (un sentido)
		Carrera 35	Concreto	6 (un sentido)
		Calle 47	Concreto	7 (un sentido)
SE El Río – SE Magdalena	0 – 7 %	Calle 4	Concreto	7 (un sentido)
		Carrera 43	Concreto	8 (doble sentido)
		Calle 6	Concreto	21 (doble carril con separador central)
		Calle 5	Concreto	18 (doble carril con separador central)
		Puente Pumarejo	Tramo contiguo al puente, sector sin pavimentar	-
		Carrera 9	Concreto	18 (doble sentido)
SE Unión a SE Tebsa	1 – 7 %	Carrera 9	Concreto	18 (doble sentido)
		Carreras 8 A	Concreto	9 (un sentido)
		Calle 17 en glorieta	Concreto	12 (un sentido)
		Carreras 8	Concreto	10 (un sentido)
		Calle 18 en glorieta	Concreto	10 (un sentido)
		Carrera 9	Concreto	9 (doble sentido)
		Calle 27 b	Concreto	8 (doble sentido)
		Carrera 10	Concreto	9 (doble sentido)
		Calle 30	Concreto	25 (doble carril con separador central)
		Carrera 11	Concreto	14 (doble sentido)
		Calle 17 hacia SE Tebsa	Concreto	11 (doble sentido)
		Calle 18 hacia SE Tebsa (Soledad)	Concreto	8 (doble sentido)

Fuente: Integral S.A., 2020

La Figura 5.141 muestra las vías (fuentes lineales) presentes en el área de intervención del Proyecto y los puntos donde se realizaron los aforos vehiculares (véase Tabla 5.164).

Tabla 5.164 Coordenadas de puntos de aforo vehicular

Punto	Coordenadas Magna origen único nacional	
	X	Y
Punto_1	4806693,9298	2767587,7443

Punto	Coordenadas Magna origen único nacional	
	X	Y
Punto_2	4805305,4059	2768850,0734
Punto_3	4804596,9467	2771605,8736
Punto_4	4803883,6931	2773077,1613
Punto_5	4804395,8154	2774269,2959
Punto_6	4804090,0345	2775711,7441

Fuente: Integral S.A., a partir de Control de Contaminación Ltda., 2020

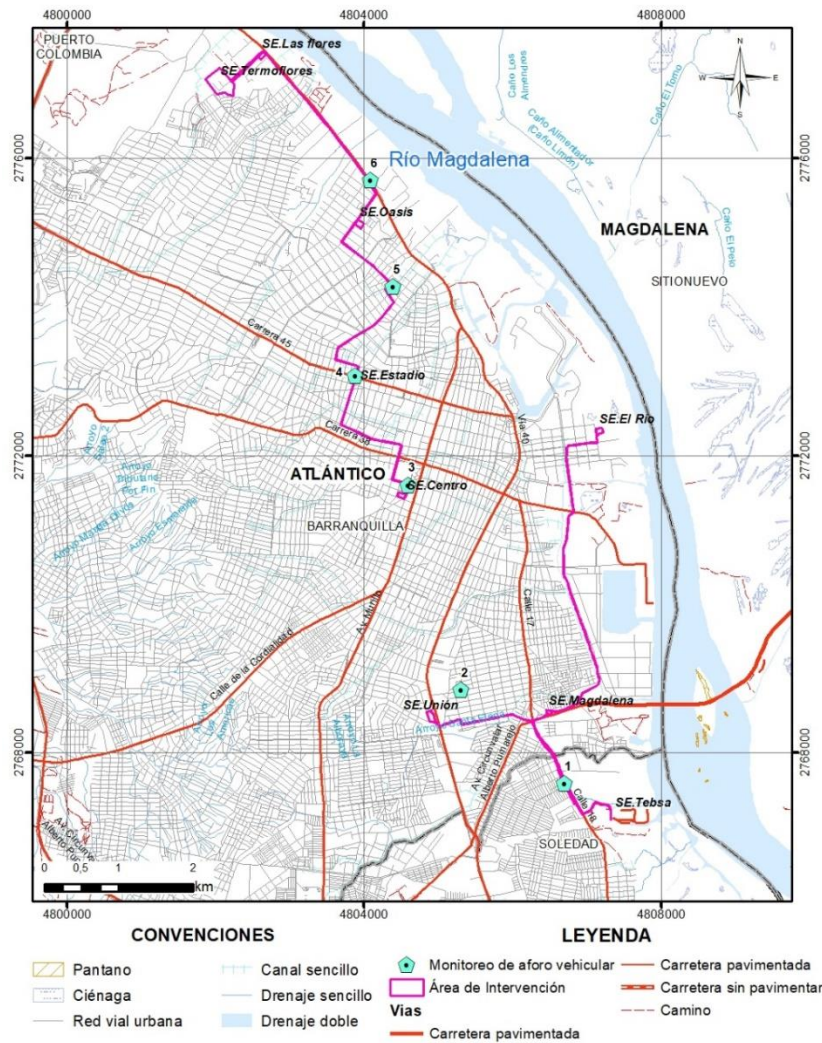


Figura 5.141 Fuentes lineales (corredores viales) y puntos de aforo vehicular

Fuente: Integral S.A., 2020



El monitoreo aforo vehicular lo llevó a cabo el laboratorio Control de Contaminación Ltda., se realizó en seis (6) puntos en jornada de 8:00 am a 8:00 pm para día hábil y para día no hábil, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 5.165 y Tabla 5.166, la información en detalle se puede apreciar en el 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_13\_INFORME LAB\_AIRE.

Tabla 5.165 Aforo vehicular según tipo de vehículo

Día 8:00 am a 8:00 pm	Punto	Taxis	Autos camperos camionetas	Buses	Busetas	C-1G	C-2G	C-3-4	C5	>C6	Motos motocarros
Hábil	Punto 1	3813	4798	1189	1751	392	406	42	29	32	5181
	Punto 2	2694	3894	74	727	451	318	52	29	58	5146
	Punto 3	670	1984	440	7	41	32	3	0	0	338
	Punto 4	315	557	22	73	20	24	3	11	9	164
	Punto 5	578	3122	915	176	99	52	38	8	0	1144
	Punto 6	1356	4265	27	1240	211	671	165	76	215	906
No hábil	Punto 1	3495	2248	206	1257	115	57	21	7	28	3749
	Punto 2	3066	3450	53	404	226	164	13	17	10	5208
	Punto 3	1048	1560	10	42	33	11	1	0	0	1548
	Punto 4	2092	2314	803	817	142	213	35	15	77	1081
	Punto 5	437	2228	280	122	21	11	2	0	0	778
	Punto 6	2798	3798	51	853	109	126	15	19	118	1666

Fuente: a partir de Control de Contaminación Ltda., 2020, Integral S.A., 2020

Tabla 5.166 Resultados de aforo vehicular según tipo de carga

Punto	Tipo de carga vehicular	Día hábil	Día no hábil
Punto_1	Pesados	257	138
	Livianos	741	717
	<b>Total</b>	<b>998</b>	<b>856</b>
Punto_2	Pesados	110	59
	Livianos	696	758
	<b>Total</b>	<b>806</b>	<b>818</b>
Punto_3	Pesados	43	5
	Livianos	199	262

Punto	Tipo de carga vehicular	Día hábil	Día no hábil
		<b>Total</b>	<b>242</b>
Punto_4	Pesados	5	114
	Livianos	32	233
	<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>347</b>
Punto_5	Pesados	104	34
	Livianos	354	214
	<b>Total</b>	<b>458</b>	<b>248</b>
Punto_6	Pesados	165	96
	Livianos	444	497
	<b>Total</b>	<b>608</b>	<b>593</b>

Fuente: Control de Contaminación Ltda., 2020

#### 5.1.11.2.2 Potenciales receptores de interés

Es de anotar que, el proyecto se ubica en la zona urbana de Barranquilla y Soledad, de tal manera que se encuentran varios potenciales receptores de interés en el área de influencia del componente atmosférico como *viviendas* asociadas al tejido urbano continuo, *infraestructura económica* asociada a zonas industriales o comerciales y zonas portuarias, *infraestructura cultural y/o recreativa* asociada a los parques y/o instalaciones recreativas e *infraestructura social* como son centros de salud, instalaciones religiosas, centros educativos y sedes comunales, la localización de estos se puede apreciar en la Figura 5.143 y Figura 5.143.

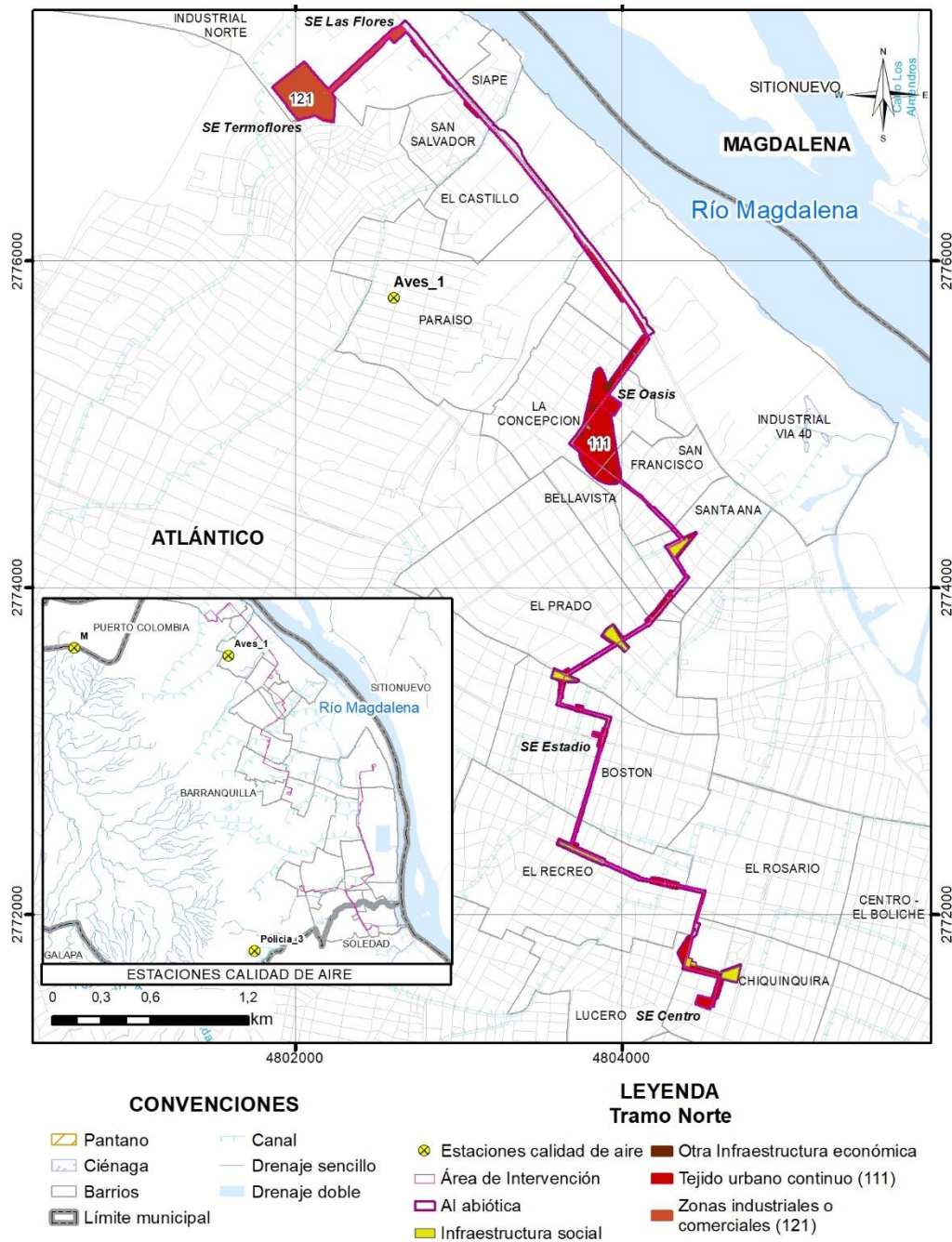


Figura 5.142 Localización de los potenciales receptores de interés – Tramo 1

Fuente: Integral S.A., 2020

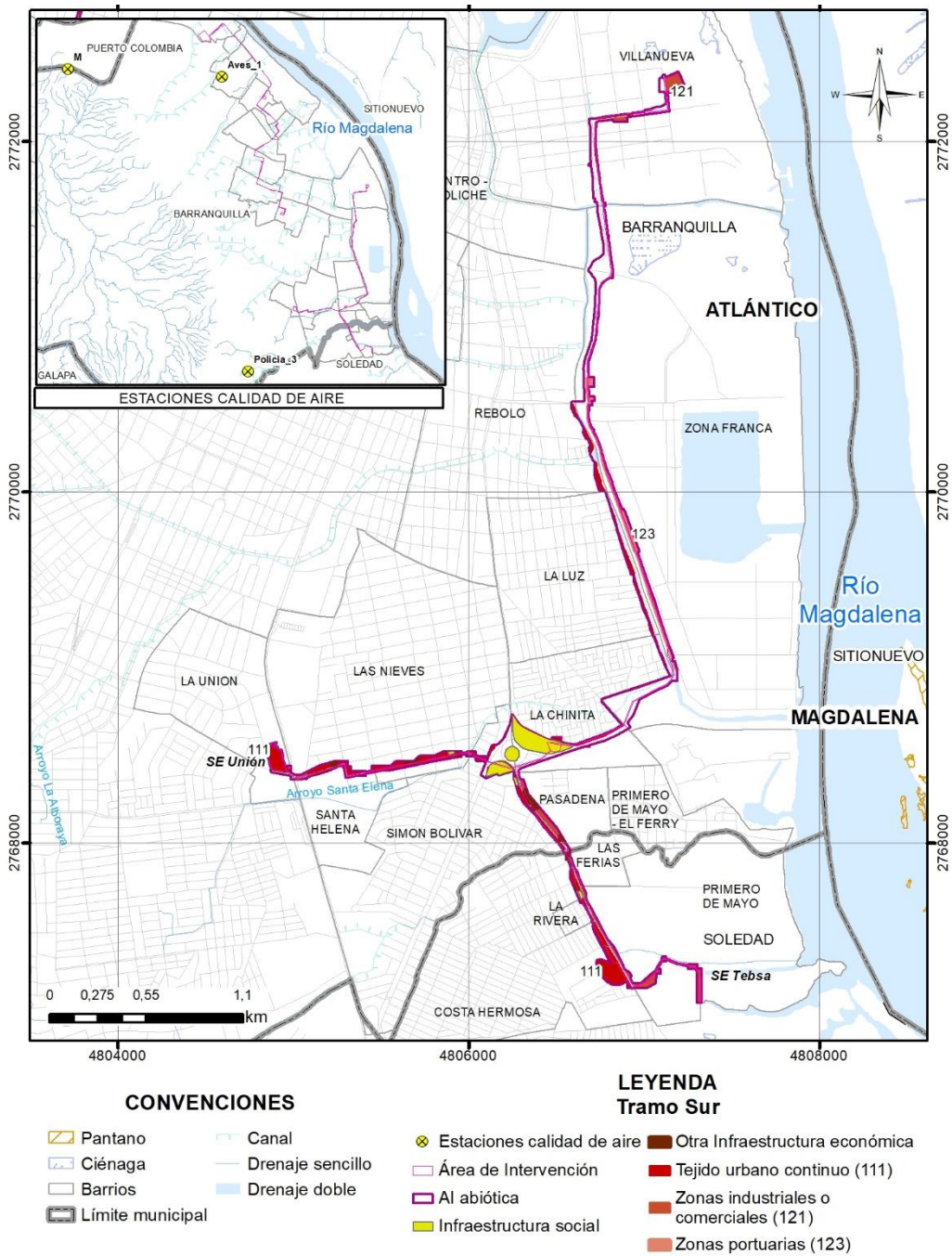


Figura 5.143 Localización de los potenciales receptores de interés – Tramo 2

Fuente: Integral S.A., 2020



**5.1.11.3 Calidad del aire (información de inmisión)**

El estado de la calidad del aire en concentración para gases y material particulado se analizó con base en la información de tres estaciones del Subsistema de Información sobre la Calidad de Aire -SISAIRE- del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- (véase Tabla 5.167 y Figura 5.144). El procesamiento de la información fue realizado por parte del laboratorio Control de Contaminación Ltda., los resultados y análisis en detalle se pueden apreciar en 33\_ANEXOS\_ABIOTICO\_13\_INFORME LAB\_AIRE.

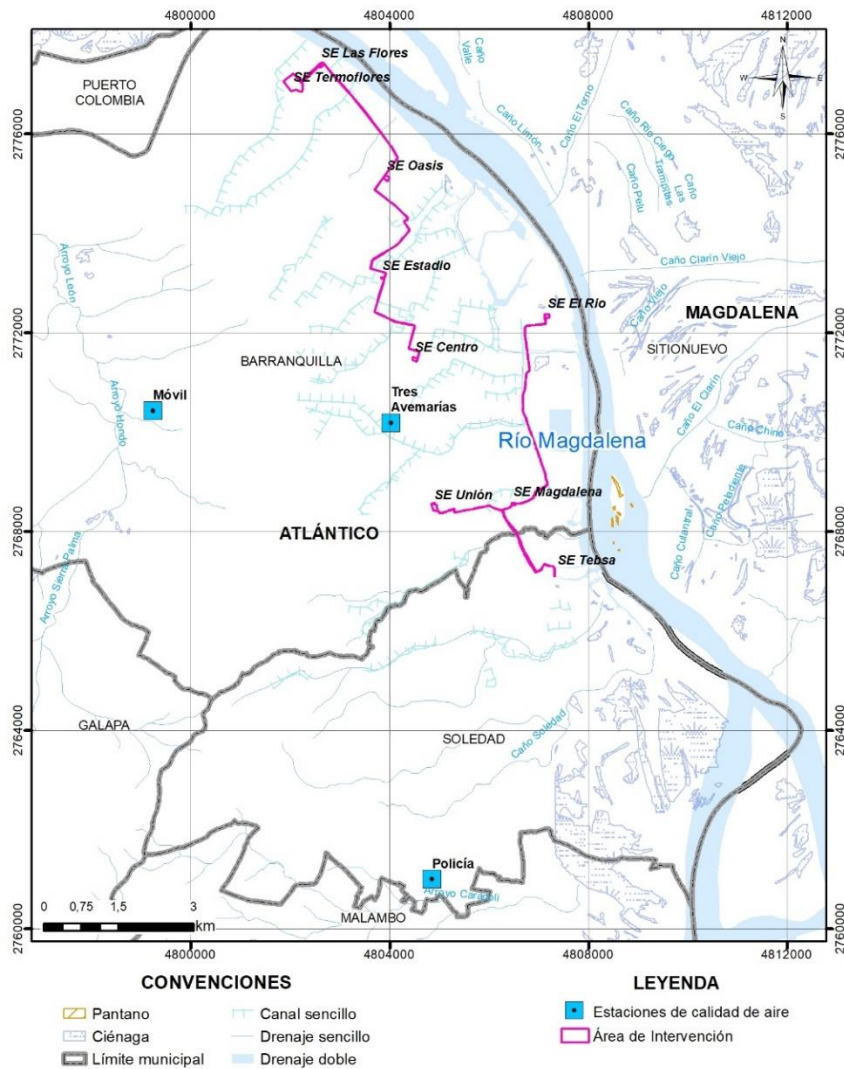


Figura 5.144 Localización estaciones de calidad de aire SVCA de SISAIRE

Fuente: Integral S.A., 2020



**Tabla 5.167 Localización estaciones de calidad de aire SVCA de SISAIRE**

Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA)	Coordenadas Magna origen único nacional	
	X	Y
Tres Avemarías	4804030,58	2770180,20
Móvil	4799237,27	2770423,66
Policía	4804852,79	2760991,81

Fuente: Control de Contaminación Ltda., 2020

**Tabla 5.168 Concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO de las SVCA de 2020**

Parámetro	Periodo	Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA)			Límite normativo Resolución 2254/2017 <sup>(8)</sup>
		Tres Avemarías	Móvil	Policía (ESANA)	
PM <sub>10</sub>	24 horas <sup>(1)</sup>	42,67	45,05	58,81*	50
	Anual <sup>(2)</sup>	35,63	37,01	48,96	100
PM <sub>2.5</sub>	24 horas <sup>(1)</sup>	21,46	18,45	16,69	25
	Anual <sup>(2)</sup>	15,91	14,23	13,88	50
SO <sub>2</sub>	1 hora <sup>(3)</sup>	3,30	1,19	2,20	50
	24 horas <sup>(4)</sup>	0,41	1,28	1,30	100
NO <sub>2</sub>	1 hora <sup>(5)</sup>	11,75	-	16,19	60
	Anual <sup>(6)</sup>	11,64	-	10,04	200
CO	1 hora <sup>(3)</sup>	328,99	311,27	383,15	5000
	8 horas <sup>(7)</sup>	327,41	311,24	386,56	35000

(1) Concentración estimada con el percentil 75 de los datos 24 horas del año 2020

(2) Concentración estimada con promedio aritmético de los datos 24 horas del año 2020

(3) Concentración estimada con el promedio de los datos 1 hora del año 2020

(4) Concentración estimada con promedio aritmético de los datos 24 horas del año 2020

(5) Concentración estimada con el percentil 75 de los datos 1 hora del año 2020

(6) Concentración estimada con promedio aritmético de los datos 1 hora del año 2020

(7) Concentración estimada con promedio aritmético de los datos 8 horas del año 2020

(8) Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (artículo 2)

\* Concentración que supera el límite normativo.

Fuente: a partir de Control de Contaminación Ltda., 2020, Integral S.A., 2020

A continuación, se presentan gráficamente los datos de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO por cada Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) analizado. Cabe mencionar que, solo en la SVCA Policía se presenta incumplimiento de PM<sub>10</sub> para 24 horas, tal como se aprecia en la Tabla 5.168 y la Figura 5.145.

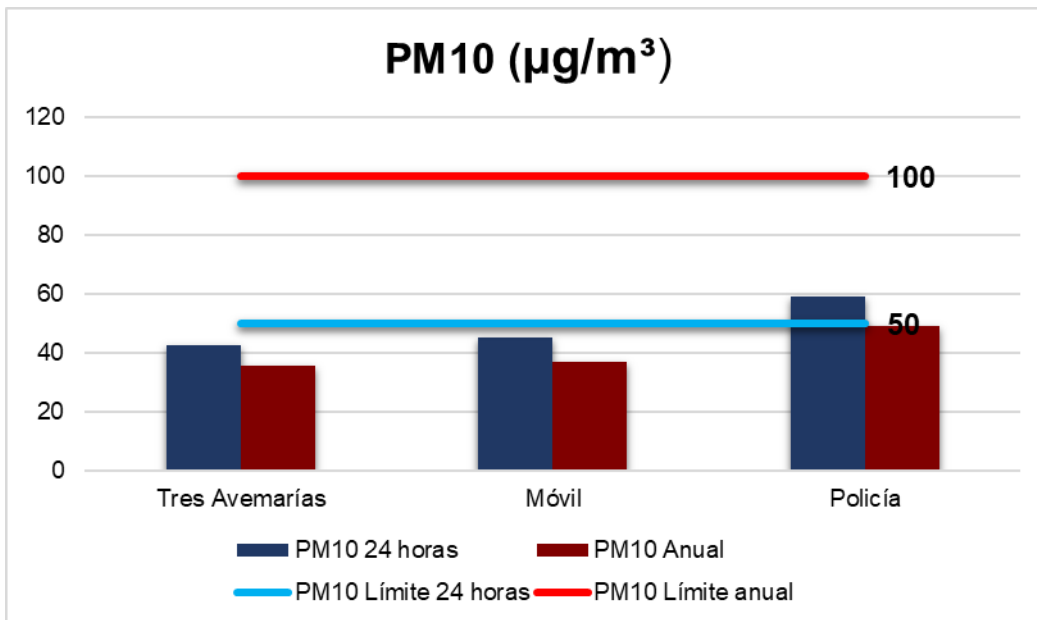


Figura 5.145 Comparativo de PM<sub>10</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017

Fuente: Integral S.A., 2020

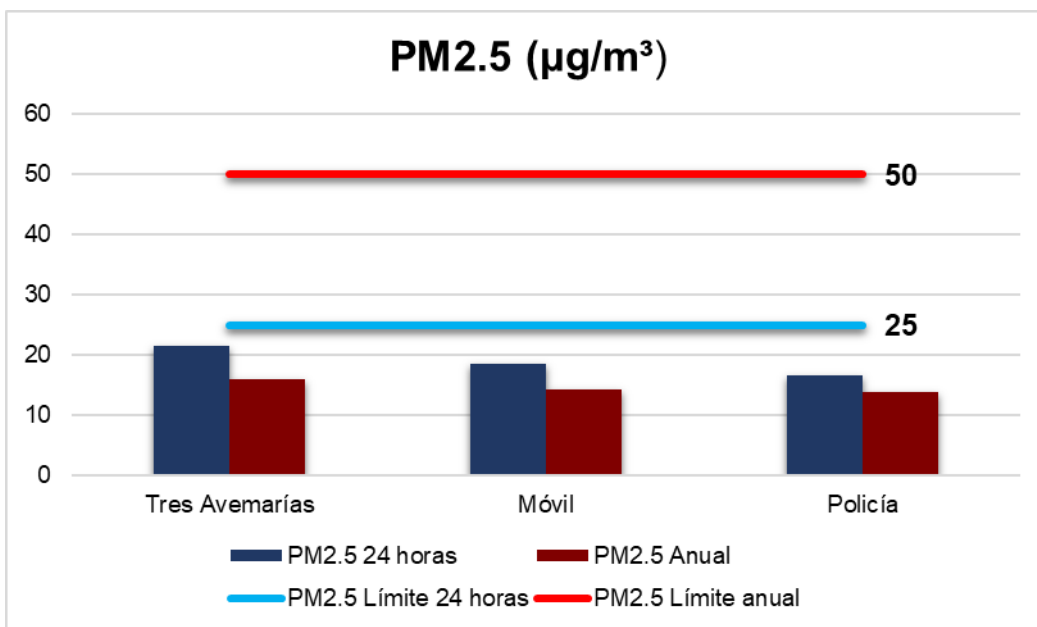


Figura 5.146 Comparativo de PM<sub>2.5</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017

Fuente: Integral S.A., 2020

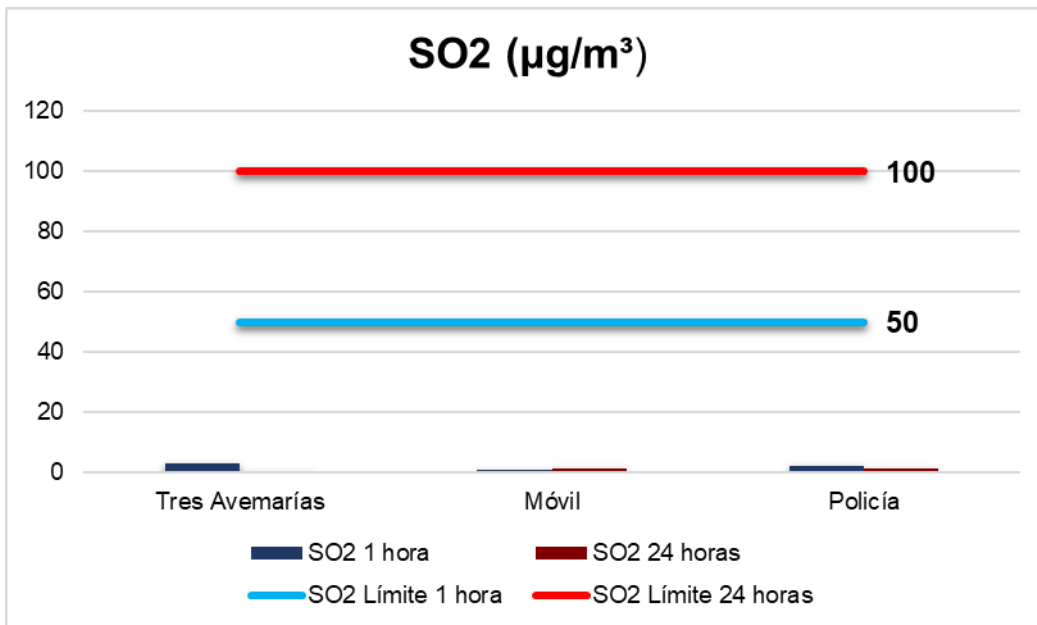


Figura 5.147 Comparativo de SO<sub>2</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017

Fuente: Integral S.A., 2020

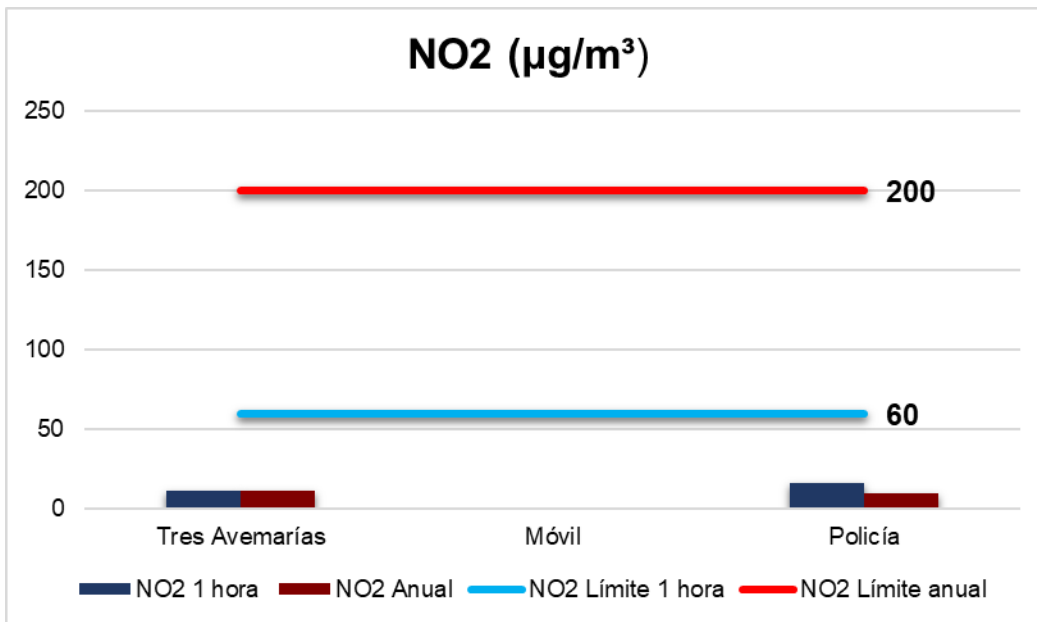


Figura 5.148 Comparativo de NO<sub>2</sub> con límite normativo Resolución 2254 de 2017

Fuente: Integral S.A., 2020

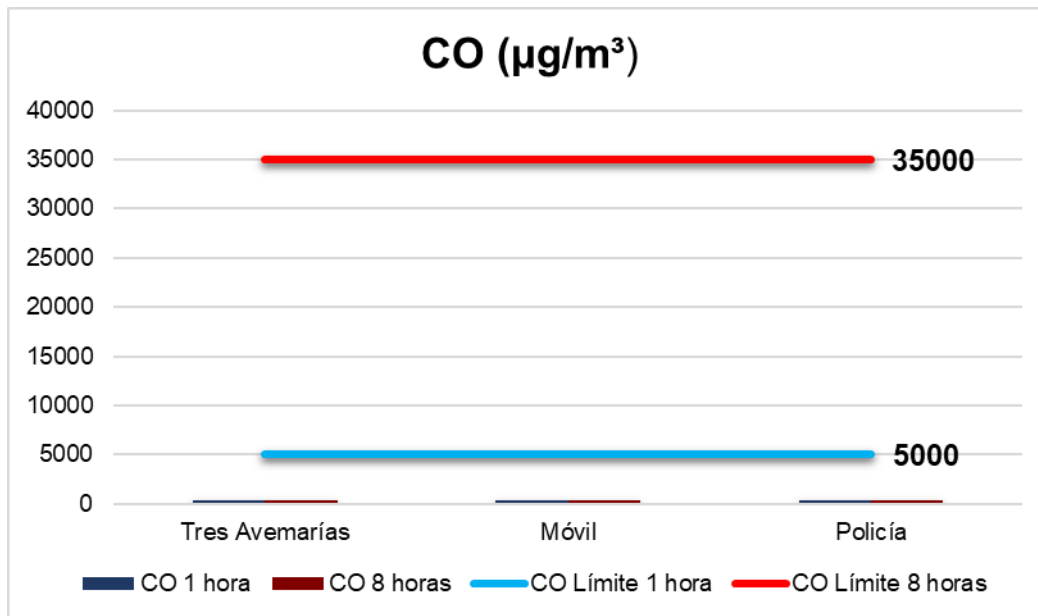


Figura 5.149 Comparativo de CO con límite normativo Resolución 2254 de 2017

Fuente: Integral S.A., 2020

Los resultados del Índice de calidad del aire -ICA- para los contaminantes evaluados se determinaron de acuerdo con lo estipulado en la Resolución 2254 del 2017. En las tablas 37 a la 39, se presentan los resultados ICA por contaminante y estación.

El ICA se determinó teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 20 de la Resolución 2254 del 2017 y se calculó bajo la siguiente fórmula, indicada en el artículo 21.

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{Bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} \times (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

En donde:

ICA<sub>p</sub>= índice de calidad del aire para el contaminante P.

C<sub>p</sub>= Concentración medida para el contaminante P.

PC<sub>alto</sub>= Punto de corte mayor o igual a C<sub>p</sub>

PC<sub>bajo</sub>= Punto de corte menor o igual a C<sub>p</sub>

I<sub>alto</sub>= Valor del ICA correspondiente al PC<sub>alto</sub>

I<sub>bajo</sub>= Valor del ICA correspondiente al PC<sub>bajo</sub>

Tabla 5.169 Punto de corte del ICA

Índice de calidad del aire			Punto de corte ICA				
ICA	Color	Categoría	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	CO µg/m <sup>3</sup> 8 horas	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora
0 - 50	Verde	Bueno	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100
51 - 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688	487 - 797	678 - 1221
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34862	798 - 1583	1222 - 2349
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853

Fuente: Resolución 2254 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017

A continuación, se presentan los resultados del Índice de calidad del aire -ICA- para cada Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) analizado.

Tabla 5.170 Índice de calidad del aire -ICA- de los SVCA analizados

Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA)	ICA				
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO
Tres Avemarías	39,51	68,27	0,22	5,88	3,21
	Bueno	Aceptable	Bueno	Bueno	Bueno
Móvil	41,71	62,13	0,69	-	3,05
	Bueno	Aceptable	Bueno	Bueno	Bueno
Policía (ESANA)	52,89	58,53	0,70	8,10	3,79
	Aceptable	Aceptable	Bueno	Bueno	Bueno

Fuente: Integral S.A., 2020

Según los resultados, los parámetros analizados en general presentan un estado bueno, el único que presenta estado aceptable es el PM<sub>2.5</sub>. En general los resultados indican que la calidad del aire en el área de estudio no representa un patrón de afectación a la salud bajo las condiciones actuales.

#### 5.1.11.4 Ruido

El monitoreo de ruido lo llevó a cabo el laboratorio Control de Contaminación Ltda., los días 13 y 15 de noviembre de 2020; los puntos monitoreados se relacionan en la Tabla 5.171 y Figura 5.150 (véase I-P-10507UPMESTR02-EIA-PRU-10), es de anotar que, los resultados y análisis en detalle, se pueden apreciar en 3\_ANEXOS\_ABIOTICO\_14\_ INFORME LAB\_RUIDO.



Tabla 5.171 Puntos de monitoreo de ruido

Punto	Coordenadas Magna origen único nacional	
	X	Y
Punto 1	4803857.960	2775116.918
Punto 2	4804522.046	2771412.804
Punto 3	4806426.903	2771318.593
Punto 4	4806902.574	2769626.086
Punto 5	4802968.596	2776851.320
Punto 6	4803892.075	2773057.760
Punto 7	4806565.784	2768561.284

Fuente: Integral S.A., 2020

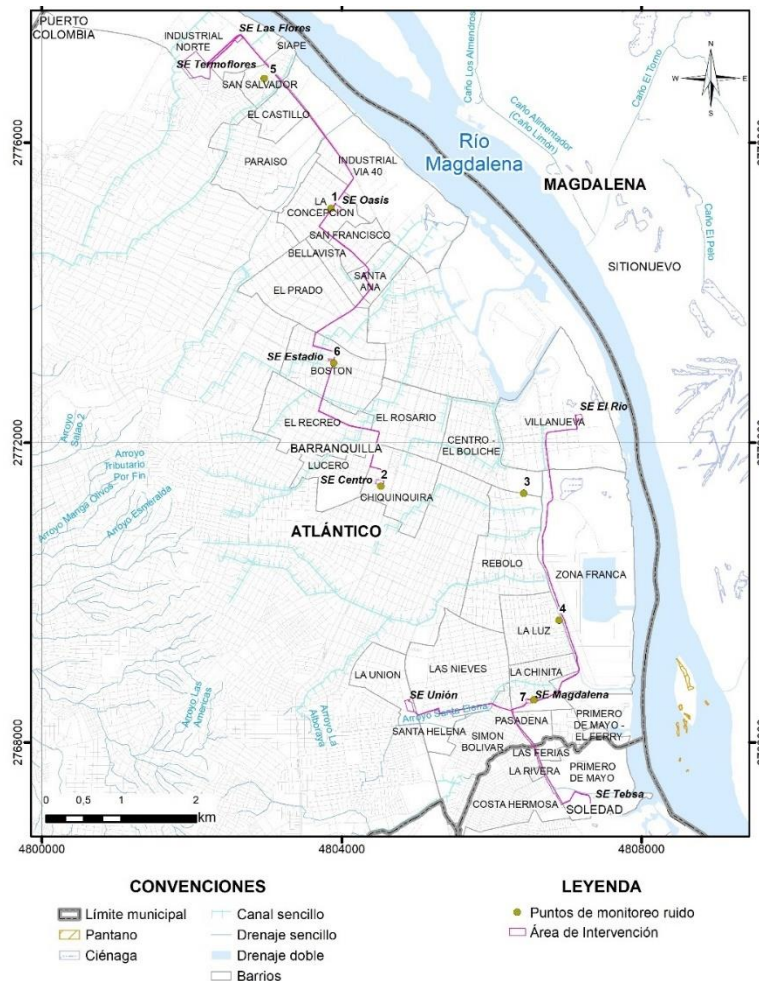


Figura 5.150 Localización de los puntos de monitoreo de ruido

Fuente: Integral S.A., 2020

#### 5.1.11.4.1 Fuentes de generación de ruido existentes

Las principales fuentes generadoras de ruido que se identificaron durante el periodo analizado en cada uno de los puntos para horario diurno y nocturno en día hábil y no hábil corresponden al tránsito vehicular de la zona, en la Tabla 5.172 se describen las actividades generadoras de ruido percibidas en cada punto de monitoreo de ruido ambiental durante el día hábil y día no hábil.

Tabla 5.172 Descripción de las fuentes de generación de ruido

Punto	Diurno	Nocturno
<b>Día hábil</b>		
Punto 1	Bocinas encendidas en tienda ubicada en la esquina, paso de montacargas, furgón frenando, carro grúa cargando con automóviles, paso de buses y motos a toda velocidad, camionetas pitando, camión a 300 metros produciendo ruido fuerte.	Paso de ambulancia con sirena encendida, circulación de buses, taxis, vehículos particulares, bicicleta eléctrica a velocidades altas.
Punto 2	Paso de motos, automóviles, buses, mixers, furgones, pitando constantemente, personas operando con una pulidora, paso de busetas y furgones a alta velocidad, ruido del paso de motos.	Paso de ambulancia, motos y taxis generando ruido con sus motores, carretillero perifoneando y sobrevuelo de avión.
Punto 3	Entrada y salida de tractomulas a empresas cercanas, paso de vehículos pesados emitiendo ruido con sus motores, parlante encendido en un parqueadero cercano.	Paso de taxis, bus, motos a velocidades altas, croar de sapos y ranas.
Punto 4	Ruido producido por el tránsito de vehículos en su mayoría transportes de carga, ruido producido por el freno de una tractomula, ruido de pitos de autos.	Ruido producido por el tránsito de vehículos de carga y tractomulas.
Punto 5	Ruido producido por equipos de sonidos en casas vecinas, ruido del tránsito de buses urbanos, ruido de pito de motos, ruido del ladrido de perros callejeros.	Ruido provocado por el ladrido de perros callejeros, por la llegada de ambulancia a un PASO y ruido de pito de moto.
Punto 6	Paso de carros de helados con bocina generando ruido fuerte, paso de transmetro, motos, taxis, vehículos particulares generando ruido con sus motores y frenos.	Sonido provocado por el funcionamiento de una cancha sintética, paso de motos, vehículos particulares, taxis de manera constante generando ruido con sus motores.
Punto 7	Ruido producido por el tránsito vehicular, sonido de cornetas, pitos y frenos de aire de los automotores que transitan en la vía cercana.	Ruido producido por el tránsito de automotores con sus motores, sonido de equipo de sonido encendido.
<b>Día no hábil</b>		
Punto 1	Paso de buses, taxis, vehículos particulares con sus motores, frenos y alarmas de reversa, parlantes encendidos.	Circulación de carretillero perifoneando, sonido de motos, taxis y vehículos particulares con sus motores.

Punto	Diurno	Nocturno
Punto 2	Paso de motos, vehículos particulares, taxis, buses generando ruido con sus motores, sonido de una pulidora encendida.	Paso de motos ocasionando ruido con mofle roto, tránsito de taxis, vehículos particulares, buses produciendo sonidos con sus motores, frenos.
Punto 3	Paso de todo tipo de vehículos livianos y pesados provocando ruido con sus motores.	Zumbido de grillos, croar de ranas, ladrido de perros.
Punto 4	Ruido proveniente del tráfico de tractomulas, vehículos particulares con sus motores y frenos.	Ruido constante del tránsito de vehículos y tractomulas producido con sus pitos, frenos de aire y motor.
Punto 5	Ruido constante de equipo de sonido encendido, sonido de motores y frenos de aire de buses, motos, vehículos particulares, ladrido de perros.	Ruido producido por el tránsito de autos con sus motores, ladrido de perros callejeros, vehículos particulares con sonidos a alto volumen.
Punto 6	Ruido constante de equipo de sonido encendido, sonido de motores, frenos y alarmas de reversa de automotores, sonido de pito en juego de fútbol.	Ruido producido por el tránsito de vehículos particulares y buses con sus motores y frenos de aire, sirena de ambulancia.
Punto 7	Tráfico constante de toda clase de vehículos produciendo ruido constante con sus motores, cornetas y frenos.	Ruido constante de equipos de sonidos encendidos, ruido producido por el tránsito de vehículos, tractomulas, motos con sus motores y frenos de aire.

Fuente: Control de Contaminación Ltda., 2020

#### 5.1.11.4.2 Resultados del monitoreo de ruido

Las mediciones de ruido ambiental y el análisis de datos se realizaron en cumplimiento con lo estipulado en la normativa colombiana vigente, Resolución 0627 del 7 de abril del 2006 del MAVDT, actual MADS; en especial los anexos 1, 2 y 3 de esta. En la tabla 2 de la citada norma se establecen los estándares de ruido ambiental expresados en decibeles.

Los resultados arrojados por el monitoreo se compararon con el Sector C “Ruido Intermedio Restringido”, específicamente con el subsector “zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales”. El estándar máximo permisible de Ruido Ambiental para día es de 80 dB(A) y noche 70 dB(A).

En la Tabla 5.173 se presentan los resultados de ruido ambiental para los 7 puntos monitoreados y la comparación con el límite normativo se presenta en la Figura 5.151 y Figura 5.152. Los resultados indican que los puntos 4, 5 y 7 superan la norma en horario nocturno en día hábil; es de anotar que, el incumplimiento se debe a que los puntos monitoreados se vieron influenciados de manera constante por el tránsito de automotores en las vías cercanas.

Tabla 5.173 Resultados de ruido ambiental

Punto	Diurno	Límite normativo diurno	Nocturno	Límite normativo nocturno
<b>Día hábil: Resultados de ruido ambiental para dB(A)</b>				
Punto 1	67,5	80	63,6	70
Punto 2	74,5		67,3	
Punto 3	74,6		64,2	
Punto 4	77,6		71,5*	
Punto 5	69,7		70,2*	
Punto 6	74,0		66,2	
Punto 7	76,3		73,7*	
<b>Día no hábil: Resultados de ruido ambiental para dB(A)</b>				
Punto 1	66,3	80	60,1	70
Punto 2	75,0		68,2	
Punto 3	73,5		66,3	
Punto 4	76,4		68,2	
Punto 5	73,3		66,5	
Punto 6	75,3		65,5	
Punto 7	74,6		68,7	

\* Concentración que supera el límite normativo.

Fuente: a partir de Control de Contaminación Ltda., 2020, Integral S.A., 2020

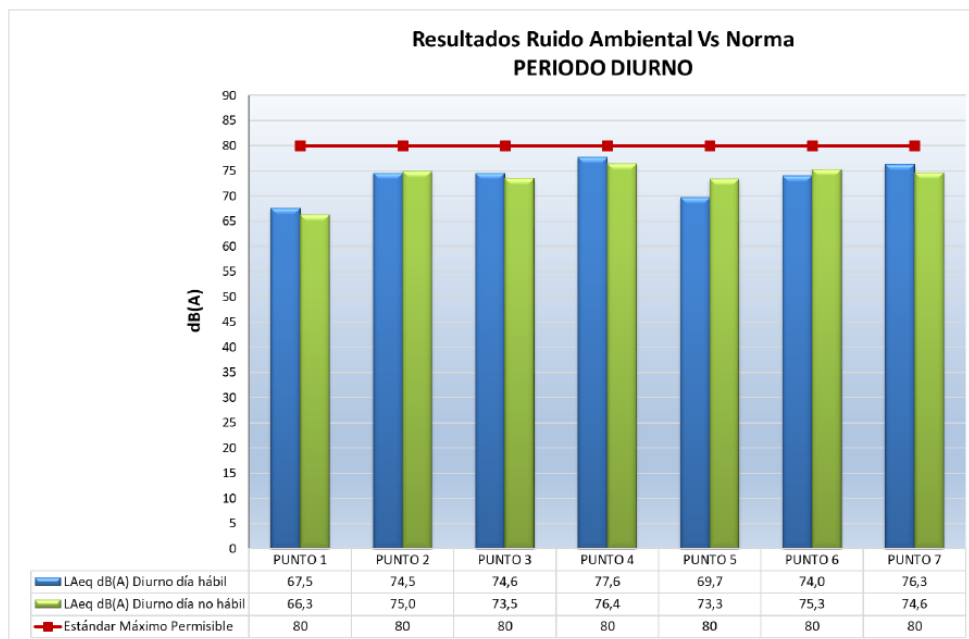


Figura 5.151 Resultados vs límite normativo para periodo diurno

Fuente: Control de Contaminación Ltda., 2020

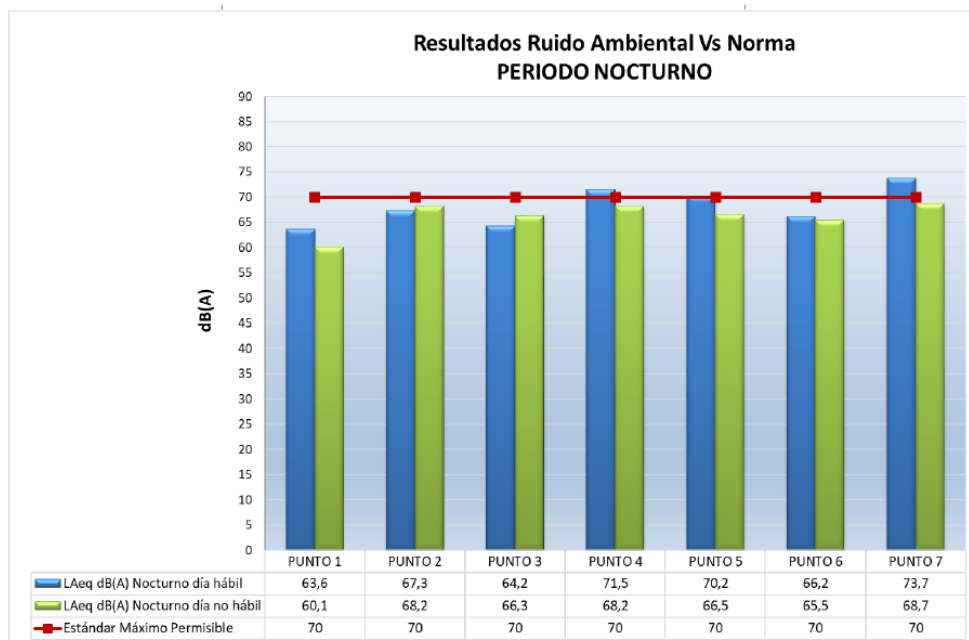


Figura 5.152 Resultados vs límite normativo para periodo nocturno

Fuente: Control de Contaminación Ltda., 2020



#### 5.1.11.4.3 Modelación del ruido

Las condiciones del ruido que se presenta actualmente en el área de influencia (escenario sin proyecto) y que eventualmente se presentarían durante la ejecución del Proyecto en la etapa de construcción (escenario con proyecto), se analizaron teniendo en cuenta los mapas de ruido mediante el modelamiento de las isófonas, los resultados de dicho análisis se presentan a continuación.

##### A. Escenario sin proyecto

El análisis de resultados para **horario diurno hábil** indica que entre los puntos 1 y 5 se presenta un nivel de presión sonora entre los 70 dB(A), este sector comprende principalmente la zona industrial asociada a la vía 40, que se traslapan con el tramo comprendido entre las subestaciones Termoflores, Las Flores y Oasis, por otro lado, se encuentran entre los puntos 4 y 7 una zona con mayor magnitud de ruido con valores entre los 75 dB(A), la cual se ubica entre los tramos comprendidos entre las subestaciones El Río, Magdalena, La Unión y Tebsa, lo que puede ser originado por la cercanía con la zona franca, el puente Pumarejo y la glorieta y/o Parque de Monumento a las Banderas y el área restante se ubica en una zona con promedio de 72,5 dB(A) (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ISHD-20).

Para el **horario diurno no hábil** indica que los puntos 4 y 6 son los que presentan un mayor nivel de ruido oscilando entre 75,1 a 80 dB(A), que se deben principalmente al tráfico vehicular y, se encuentran dentro del límite normativo (80 dB(A)), el punto 6 se localiza cerca a la subestación Estadio y el punto 4 por la zona Franca entre las subestaciones El Río, el área restante presenta en general niveles entre 70,1 y 75 dB(A) a excepción del sector del punto 1 que se ubica cerca a la subestación Oasis en el barrio La Concepción con nivel de ruido entre 65,1 y 70 dB(A) (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ISNHD-30).

Para el **horario nocturno hábil** indica que entre los puntos 4, 5 y 7 se presenta un nivel de presión sonora superior a los 70 dB(A), es decir, se incumple con el límite normativo, el punto 5 comprende la zona industrial cerca a la subestación Las Flores y los puntos 4 y 7 se encuentran cerca de la zona franca, el puente Pumarejo y la glorieta y/o Parque de Monumento a las Banderas, que a su vez, se traslapan con los tramos de las subestaciones El Río, Magdalena, La Unión y Tebsa, es de anotar que, durante los monitoreos se identificó que el incumplimiento se debió principalmente al tráfico vehicular, por su parte, los puntos 1 y 3 son en los que se presenta menor nivel de ruido, cerca de los 63 dB(A) y el área restante presenta un promedio de 66,5 dB(A) (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ISHN-40).

Para el **horario nocturno no hábil** indica que el punto 1 localizado cerca a la subestación Oasis en el barrio La Concepción presenta un nivel de presión sonora entre 60,1 a 65 dB(A) y los puntos restantes se encuentran entre 55,1 a 60 dB(A), es decir, cumplen con el límite normativo (70 dB(A)), (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-ISNHN-40).

**B. Escenario con proyecto**

La proyección de ruido para el escenario con proyecto se realizó solo para la etapa de construcción, ya que comprende un nivel de tensión de 110 kV. Así las cosas, tal como se aprecia en la Tabla 5.174, los niveles que se estima podría generar el proyecto en la etapa de construcción, en relación con la línea base obtenida por medición directa oscilan entre 65,3 dBA y 72,2 dBA; las estimaciones realizadas indican que los receptores discretos evaluados registrarían niveles de ruido por debajo de los registrados en la zona y que la operación de maquinaria y equipo y el tráfico vehicular del proyecto podrán ser perceptibles, sin embargo, no generarán mayores impactos, más aun cuando las actividades constructivas solo se realizarán en periodo diurno (véase mapa I-P-10507UPMESTR02-EIA-MRU-60).

Lo anterior indica que, durante el periodo diurno de la etapa de construcción del proyecto, no se esperan aportes significativos en los puntos receptores considerados. De igual manera, en lo que respecta al cumplimiento normativo, las proyecciones indican que no se superaran los niveles máximos permisibles 80 dB(A) para zonas de ruido intermedio restringido, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0627 de 2006 del MADS, para periodos diurnos (7 am a 9 pm).

Tabla 5.174 Proyección de nivel de ruido para la etapa de construcción

Receptor	Constructiva + Línea base proyectada dB(A)	Línea Base proyectada dB(A)	Fase Constructiva Niveles Proyectados dB(A)	Línea Base medida en campo (LRAeq,T)	Aportes Estimados
Punto 1	71,43	65,85	70,0	65,3	4,7
Punto 2	72,38	66,22	71,2	70,3	0,9
Punto 3	46,72	45,24	41,3	72,2	-30,9
Punto 4	56,48	54,30	52,4	71,7	-19,2
Punto 5	50,6	47,58	47,6	65,8	-18,2
Punto 6	64,14	58,53	62,7	71,3	-8,6
Punto 7	72,51	70,67	67,9	72,1	-4,2

**Nota:** Los niveles de ruido ambiental registrados por medición directa corresponden a niveles de presión sonora sin corregir, teniendo en cuenta que como se advierte en capítulos anteriores el presente estudio contempla emisiones de PWL y no análisis específicos asociados a ruido tonal, impulsivo o de baja frecuencia Tomado de - SoundPLAN 8.2

Fuente: a partir de Control de Contaminación Ltda., 2020