

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EIAS)

LÍNEA BASE – MEDIO ABIÓTICO

DOCUMENTO N° ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

JUNIO 2019



TABLA DE CONTENIDO

5.2.1	MEDIO ABIÓTICO	2
5.2.1.1	Componente Geosférico	2
5.2.1.2	Geología	2
5.2.1.3	Geomorfología.....	20
5.2.1.4	Morfogénesis.....	22
5.2.1.5	Morfografía	26
5.2.1.6	Procesos morfodinámicos en el área de influencia indirecta.....	28
5.2.1.7	Unidades geomorfológicas asociadas al trazado de la PLMB.....	28
5.2.1.8	Amenazas Naturales	29
5.2.1.9	Caracterización geotécnica.....	42
5.2.1.10	Suelos	90
5.2.1.11	Paisaje.....	103
5.2.1.12	Componente Hidrosférico	135
5.2.1.13	Hidrología	135
5.2.1.14	Calidad del agua superficial	154
5.2.1.15	Usos del agua	171
5.2.1.16	Hidrogeología	182
5.2.1.17	Componente atmosférico	252
5.2.1.18	Meteorología	252
5.2.1.19	Identificación de Fuentes de emisión.....	274
5.2.1.20	Calidad del Aire	279
5.2.1.21	Ruido	522
5.2.1.22	Vibraciones.....	611
5.2.1.23	ANEXOS	636

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.2.1-1 Unidades geomorfológicas	21
Tabla 5.2.1-2 Categorías de los rangos de pendientes para el área de influencia indirecta del Proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá	26
Tabla 5.2.1-3 Valores de aceleración A_s (g).....	35
Tabla 5.2.1-4 Descripción de las zonas de respuesta sísmica.....	36
Tabla 5.2.1-5 Zonas homogéneas del trazado del metro	44
Tabla 5.2.1-6. Estratigrafía del Ramal Técnico 1.....	47
Tabla 5.2.1-7 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	47
Tabla 5.2.1-8 Estratigrafía del Ramal Técnico 2.....	48
Tabla 5.2.1-9 Valores de S_u obtenidos por los 3 niveles estratigráficos del Ramal 2.....	48
Tabla 5.2.1-10 Resumen de parámetros de diseño de Ramal Técnico 2	48
Tabla 5.2.1-11 Estratigrafía del Tramo 1.1	49
Tabla 5.2.1-12 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	49
Tabla 5.2.1-13 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.1	50
Tabla 5.2.1-14 Estratigrafía del Tramo 1.2	50
Tabla 5.2.1-15 Resultados del análisis estadístico para el tramo 1.2.....	51
Tabla 5.2.1-16 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.2	51
Tabla 5.2.1-17 Estratigrafía del Tramo 1.3	52
Tabla 5.2.1-18 Valores de S_u obtenidos del análisis estadístico.	52
Tabla 5.2.1-19 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.3	53
Tabla 5.2.1-20 Estratigrafía del Tramo 1.4	54
Tabla 5.2.1-21 Resultados del análisis estadístico para el Tramo 1.4	54
Tabla 5.2.1-22 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.4	55
Tabla 5.2.1-23 Estratigrafía del Tramo 1.5	55
Tabla 5.2.1-24 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	56
Tabla 5.2.1-25 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.5	57
Tabla 5.2.1-26 Estratigrafía del Tramo 1.6	57
Tabla 5.2.1-27 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	58
Tabla 5.2.1-28 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.6	58
Tabla 5.2.1-29 Estratigrafía del Tramo 2.1	59
Tabla 5.2.1-30 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	60
Tabla 5.2.1-31 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.1	62
Tabla 5.2.1-32 Estratigrafía del Tramo 2.2	62
Tabla 5.2.1-33 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	63
Tabla 5.2.1-34 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.2	64
Tabla 5.2.1-35 Estratigrafía del Tramo 2.3	65
Tabla 5.2.1-36 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	66
Tabla 5.2.1-37 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.3	66
Tabla 5.2.1-38 Estratigrafía del Tramo 2.4	67
Tabla 5.2.1-39 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados	67
Tabla 5.2.1-40 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.4	69
Tabla 5.2.1-41 Estratigrafía del Tramo 2.5	69
Tabla 5.2.1-42 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	70
Tabla 5.2.1-43 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.5	71
Tabla 5.2.1-44 Estratigrafía del Tramo 3.1	72
Tabla 5.2.1-45 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del Tramo 3.1	72
Tabla 5.2.1-46 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.1	74
Tabla 5.2.1-47 Estratigrafía del Tramo 3.2.1	75
Tabla 5.2.1-48 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.....	75
Tabla 5.2.1-49 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.1	76

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-50 Estratigrafía del Tramo 3.2.2	77
Tabla 5.2.1-51 Resultados de los análisis estadísticos realizados en los estratos U1, U2, U3, y U4.	77
Tabla 5.2.1-52 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.2	78
Tabla 5.2.1-53 Estratigrafía del Tramo 3.2.3	78
Tabla 5.2.1-54 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del tramo 3.4.3	79
Tabla 5.2.1-55 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.3	80
Tabla 5.2.1-56 Estratigrafía del Tramo 3.3	80
Tabla 5.2.1-57 Valores de Su obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados	81
Tabla 5.2.1-58 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.3	82
Tabla 5.2.1-59 Estratigrafía del Tramo 3.4.1	83
Tabla 5.2.1-60 Resultado del análisis estadístico realizado en el tramo 3.4.1	83
Tabla 5.2.1-61 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.1	83
Tabla 5.2.1-62 Estratigrafía del Tramo 3.4.2	84
Tabla 5.2.1-63 Resultados del análisis estadístico en los estratos U1, U2 y U3 del tramo 3.4.2	84
Tabla 5.2.1-64 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.2	84
Tabla 5.2.1-65 Estratigrafía del Tramo 3.4.3	85
Tabla 5.2.1-66 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del tramo 3.4.3	85
Tabla 5.2.1-67 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.3	86
Tabla 5.2.1-68 Estratigrafía del Tramo 3.4.4	86
Tabla 5.2.1-69 Resultados de análisis estadístico para el estrato U1 del tramo 3.4.4	87
Tabla 5.2.1-70 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.4	87
Tabla 5.2.1-71 Estratigrafía del Tramo 3.5	87
Tabla 5.2.1-72 Resultados de Su obtenidos a partir del análisis estadístico.	88
Tabla 5.2.1-73 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.5	90
Tabla 5.2.1-74 Información Tomada del Perfil Descrito en Campo	92
Tabla 5.2.1-75: Uso Actual de los Suelos en el Área de estudio	95
Tabla 5.2.1-76 Conflictos de uso de los Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB	96
Tabla 5.2.1-77 Coordenadas Puntos de Monitoreo de Suelos	98
Tabla 5.2.1-78 parámetros analizados dentro del Monitoreo de Suelos	99
Tabla 5.2.1-79 Actividades económicas	102
Tabla 5.2.1-80 Valoración del contacto con la naturaleza	103
Tabla 5.2.1-81 Valoración de la preferencia estética.....	103
Tabla 5.2.1-82 Valoración de la presencia de espacios recreativos.....	104
Tabla 5.2.1-83 Valoración de la Integración social	104
Tabla 5.2.1-84 Valoración de la Participación ciudadana.....	104
Tabla 5.2.1-85 Valoración del sentido de pertenencia y la identidad comunitaria.....	104
Tabla 5.2.1-86 Pesos dados a cada una de las unidades de paisaje de acuerdo a la percepción local	105
Tabla 5.2.1-87 Clasificación de la calidad visual	105
Tabla 5.2.1-88 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona 4.	121
Tabla 5.2.1-89 Calidad visual Zona 4	122
Tabla 5.2.1-90 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona 5	126
Tabla 5.2.1-91 Calidad visual en la Zona 5.....	127
Tabla 5.2.1-92 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona	132
Tabla 5.2.1-93 Claridad visual Zona 6.	133
Tabla 5.2.1-94 Estructuras del sistema de alcantarillado que se cruzan con el trazado del proyecto	139
Tabla 5.2.1-95 Características de estaciones.....	140
Tabla 5.2.1-96 Caudales característicos (m ³ /s) estaciones base	143
Tabla 5.2.1-97 Verificación de criterios de diagnóstico estructuras.....	145

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-98 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno estructuras de canal	146
Tabla 5.2.1-99 Caudales máximos para periodos de retorno 10 años Colectores.....	146
Tabla 5.2.1-100 Niveles diarios estación Gibraltar 2008 – 2015 para diferentes probabilidades de excedencia	152
Tabla 5.2.1-101 Niveles de ascenso y descenso Estación Elevadora Gibraltar	153
Tabla 5.2.1-102 Cotas de operación estación de bombeo	153
Tabla 5.2.1-103 Georeferenciación puntos de monitoreo.....	156
Tabla 5.2.1-104 Registros meteorológicos	159
Tabla 5.2.1-105 Parámetros evaluados, métodos y referencia	161
Tabla 5.2.1-106 Especificaciones de recipientes y preservación utilizada por parámetro fisicoquímico.....	162
Tabla 5.2.1-107 Resultados monitoreo fisicoquímico del Agua.....	163
Tabla 5.2.1-108 Calidad del agua de acuerdo con las concentraciones de DBO ₅ y DQO.....	164
Tabla 5.2.1-109 clasificaciones de cada uno de los cuerpos hídricos.....	165
Tabla 5.2.1-110 Clasificación del agua según conductividad	166
Tabla 5.2.1-111 Grado de Mineralización del Agua.....	166
Tabla 5.2.1-112. Conflictos del uso del agua para Bogotá D.C.....	171
Tabla 5.2.1-113 Relación del agua subterránea concedida Vs extraída del acuífero	172
Tabla 5.2.1-114 Volumen agua subterránea consumida (m ³ /año)	172
Tabla 5.2.1-115 Consumo residencial de agua por habitante	173
Tabla 5.2.1-116: Inventario de puntos de agua subterránea en Bogotá.....	173
Tabla 5.2.1-117 Red de monitoreo de agua subterránea CAR	178
Tabla 5.2.1-118: Inventario de puntos de agua subterránea	181
Tabla 5.2.1-119 Localización de sondeos eléctricos verticales (SEV's) en la Sabana de Bogotá (Sistema de referencia Gauss Kruger, con origen en el Observatorio de Bogotá).....	192
Tabla 5.2.1-120 Resultados de la interpretación Geoeléctrica	193
Tabla 5.2.1-121 Resumen de resultados del modelo de dos capas para puntos medidos en las estaciones	194
Tabla 5.2.1-122 Relación de perforaciones ejecutadas en el proyecto, donde fue alcanzado el basamento del depósito cuaternario de la Sabana.....	197
Tabla 5.2.1-123 Parámetros hidráulicos	200
Tabla 5.2.1-124 Clasificación geoquímica de los puntos de agua.....	204
Tabla 5.2.1-125 Relación de Altitud de Recarga con Deuterio.....	220
Tabla 5.2.1-126 Piezómetros	223
Tabla 5.2.1-127 Clasificación del agua en términos de la conductividad	225
Tabla 5.2.1-128 Clasificación de la calidad del agua subterránea	226
Tabla 5.2.1-129 Mediciones del nivel freático en los piezómetros instalados en algunas de las perforaciones del trazado de la PLMB	226
Tabla 5.2.1-130 Factor de valoración de la variable profundidad.....	230
Tabla 5.2.1-131 Factor de valoración de la variable recarga potencial	230
Tabla 5.2.1-132 Factor de valoración de la variable litología del acuífero	231
Tabla 5.2.1-133 Factor de valoración de la variable tipo de suelo	231
Tabla 5.2.1-134 Factor de valoración de la variable tipo de suelo	232
Tabla 5.2.1-135 Factor de valoración de la variable naturaleza de la zona no saturada	232
Tabla 5.2.1-136 Factor de valoración de la variable conductividad hidráulica	233
Tabla 5.2.1-137 Factores de ponderación para el método DRASTIC	233
Tabla 5.2.1-138 Estadísticas de la variable profundidad por temporada de precipitación	233
Tabla 5.2.1-139: Grados de Vulnerabilidad – Método DRASTIC	234
Tabla 5.2.1-140 Georeferenciación puntos de monitoreo - aguas subterráneas	239
Tabla 5.2.1-141 Parámetros evaluados, métodos y referencia	242
Tabla 5.2.1-142 Escala de conductividad	244
Tabla 5.2.1-143 Resultados in situ aguas subterráneas área de influencia proyecto construcción Metro de Bogotá.....	246
Tabla 5.2.1-144 Clasificación de la calidad del agua subterránea	248

Tabla 5.2.1-145 Resultados de análisis laboratorio de las aguas subterráneas área de influencia del proyecto.....	251
Tabla 5.2.1-146 Resultados físico-químicos (Patio-Taller)	252
Tabla 5.2.1-147 Caracterización de estaciones.....	253
Tabla 5.2.1-148 Periodo común parámetros estaciones IDEAM - ACUEDUCTO.....	255
Tabla 5.2.1-149 Estaciones base para isoyetas totales anuales (mm)	273
Tabla 5.2.1-150 Identificación Fuentes de Emisión – Zona de Estudio.....	274
Tabla 5.2.1-151 Características de las Fuentes de Emisión – Zona de estudio	277
Tabla 5.2.1-152 Descripción Estaciones de Monitoreo	281
Tabla 5.2.1-153 Ubicación de las estaciones meteorológicas	287
Tabla 5.2.1-154 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación Villa Blanca	289
Tabla 5.2.1-155 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación RMCAB	289
Tabla 5.2.1-156 Información de la balanza utilizada en laboratorio	297
Tabla 5.2.1-157 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio	302
Tabla 5.2.1-158 Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Inmisión, Expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.	304
Tabla 5.2.1-159 Concentraciones diarias de PM_{10} vs. Norma diaria	306
Tabla 5.2.1-160 Consolidado de resultados de PM_{10}	316
Tabla 5.2.1-161 Concentraciones diarias de $\text{PM}_{2,5}$ vs. Norma diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	318
Tabla 5.2.1-162 Consolidado de resultados de $\text{PM}_{2,5}$	328
Tabla 5.2.1-163 Concentraciones diarias de NO_2 vs. Norma diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	330
Tabla 5.2.1-164 Concentraciones diarias de SO_2 vs. Norma diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	341
Tabla 5.2.1-165 Consolidado resultados BTX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	354
Tabla 5.2.1-166 Convenciones Índice de Calidad del Aire	357
Tabla 5.2.1-167 Puntos de corte del ICA	357
Tabla 5.2.1-168 Comparación entre modelos de dispersión	361
Tabla 5.2.1-169 Inventario de emisiones - Proyecto.....	366
Tabla 5.2.1-170 Grilla utilizadas para el estudio de gases	368
Tabla 5.2.1-171 Georeferenciación de receptores discretos	371
Tabla 5.2.1-172 Parametrización AERMET	374
Tabla 5.2.1-173 Valores de Albedo, Bowen y Rugosidad	375
Tabla 5.2.1-174. Escala de Precipitación.....	378
Tabla 5.2.1-175. Distribución de la frecuencia de vientos	380
Tabla 5.2.1-176. Escala de velocidad del viento Beaufort.....	380
Tabla 5.2.1-177. Factores de emisión para PM_{10} Escenario Línea Base y Operación	386
Tabla 5.2.1-178. Factores de emisión para PM_{10} Escenario construcción	386
Tabla 5.2.1-179. Factores de emisión para $\text{PM}_{2,5}$ Escenario Línea Base y Operación.....	388
Tabla 5.2.1-180. Factores de emisión para $\text{PM}_{2,5}$ Escenario Construcción.....	388
Tabla 5.2.1-181. Factores de emisión relacionados a otras actividades	389
Tabla 5.2.1-182 Descripción tramos línea base y operación	390
Tabla 5.2.1-183 Resultados aforo vehicular	392
Tabla 5.2.1-184 Proyección de tránsito – Escenario Operación.....	394
Tabla 5.2.1-185 Características de la flota vehicular	395
Tabla 5.2.1-186 Actividades constructivas y maquinaria asociada – Escenario de Construcción .	396
Tabla 5.2.1-187 Equipos principales para la construcción	397
Tabla 5.2.1-188 Características Flota vehicular construcción	397
Tabla 5.2.1-189 Parámetros en vías de acceso en el transporte de materiales	399
Tabla 5.2.1-190 Volúmenes de materiales por año (m^3).....	399
Tabla 5.2.1-191 Porcentaje (%) de material por fuente	399
Tabla 5.2.1-192 Volúmenes Patio-Taller [m^3].....	399
Tabla 5.2.1-193 Áreas de las fuentes evaluadas.....	400
Tabla 5.2.1-194 Proyección tráfico promedio diario – Escenario Construcción	400
Tabla 5.2.1-195 Parámetros para el cálculo de emisiones.....	402

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-196. Estrategias de Control de Emisiones.....	402
Tabla 5.2.1-197 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM ₁₀	403
Tabla 5.2.1-198 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM _{2,5}	403
Tabla 5.2.1-199 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos).....	404
Tabla 5.2.1-200 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con la reducción del 70% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM ₁₀	407
Tabla 5.2.1-201 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con el 100% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM ₁₀	408
Tabla 5.2.1-202 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con la reducción del 70% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM _{2,5}	408
Tabla 5.2.1-203 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con el 100% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM _{2,5}	409
Tabla 5.2.1-204 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos).....	410
Tabla 5.2.1-205. Emisiones estimadas Operación.....	412
Tabla 5.2.1-206 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM ₁₀	412
Tabla 5.2.1-207 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM _{2,5}	412
Tabla 5.2.1-208 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos).....	413
Tabla 5.2.1-209 Se presentan las emisiones estimadas con control de emisión – Fuentes del proyecto.....	416
Tabla 5.2.1-210. Emisiones estimadas flota vehicular.....	417
Tabla 5.2.1-211. Resultados PM ₁₀ - PM _{2,5} 24 horas - Escenario Línea Base.....	419
Tabla 5.2.1-212 Concentraciones PM ₁₀ yPM _{2,5} anual - Escenario Línea base.....	421
Tabla 5.2.1-213 Resultados NO ₂ 24 horas y anual. Escenario 1.....	435
Tabla 5.2.1-214 Aportes NO ₂ anual. Escenario 1.....	435
Tabla 5.2.1-215 ResultadosSO ₂ 24 horas y anual. Escenario 1.....	438
Tabla 5.2.1-216 Aportes SO ₂ anual. Escenario 1.....	438
Tabla 5.2.1-217 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 1.....	442
Tabla 5.2.1-218 Aportes CO8 horas. Escenario 1.....	442
Tabla 5.2.1-219 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 1.....	446
Tabla 5.2.1-220 Resultados PM ₁₀ - PM _{2,5} 24 horas y anual. Escenario 2.....	449
Tabla 5.2.1-221 Resultados NO ₂ 24 horas y anual. Escenario 2.....	454
Tabla 5.2.1-222 ResultadosSO ₂ 24 horas y anual. Escenario 2.....	457
Tabla 5.2.1-223 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 2.....	460
Tabla 5.2.1-224 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 2.....	463
Tabla 5.2.1-225 Resultados PM ₁₀ - PM _{2,5} 24 horas y anual. Escenario 3 sin concentración de fondo con el 70% de reducción sobre la Av.Caracas.....	466
Tabla 5.2.1-226 Porcentaje de incrementoPM ₁₀ y PM _{2,5} anual. Escenario 3.....	467
Tabla 5.2.1-227 Resultados NO ₂ 24 horas y anual. Escenario 3.....	471
Tabla 5.2.1-228 Porcentaje de incremento NO ₂ anual. Escenario 3.....	472
Tabla 5.2.1-229 Aportes SO ₂ 24 horas y anual. Escenario 3.....	475
Tabla 5.2.1-230 Porcentaje incremento SO ₂ 24 horas y anual. Escenario 3.....	475
Tabla 5.2.1-231 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 3.....	478
Tabla 5.2.1-232 Porcentaje incremento CO8 Horas. Escenario 3.....	478
Tabla 5.2.1-233 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 3.....	482
Tabla 5.2.1-234 Porcentaje incremento VOC24 anual. Escenario 3.....	482
Tabla 5.2.1-235 Concentraciones de fondo 24 Hr.	485
Tabla 5.2.1-236 Aportes resultantes escenario de construcción y operación - PM ₁₀ 24 Horas.....	486
Tabla 5.2.1-237 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – PM _{2,5} 24 Horas.....	487
Tabla 5.2.1-238 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – SO ₂ Horas.....	488
Tabla 5.2.1-239 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – NO ₂ 24 Horas.....	489
Tabla 5.2.1-240 Concentraciones de fondo anual.....	490
Tabla 5.2.1-241 Aportes resultantes escenario de construcción y operación - PM ₁₀ Anual.....	491
Tabla 5.2.1-242 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – PM _{2,5} Anual.....	492
Tabla 5.2.1-243 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – SO ₂ Anual.....	493

LINEA BASE

REV.4,04-06-2019

ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-244 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – NO ₂ Anual	494
Tabla 5.2.1-245 Resultado de modelación – Aporte de PM ₁₀ Escenario Operación ANUAL.....	519
Tabla 5.2.1-246 Resultado de modelación – Aporte de PM ₁₀ Escenario Operación 24 HORAS ...	520
Tabla 5.2.1-247 Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental	524
Tabla 5.2.1-248 Codificación de fuentes de ruido.....	535
Tabla 5.2.1-249 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006	537
Tabla 5.2.1-250 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental	537
Tabla 5.2.1-251 Clasificación por sectores de cada uno de los puntos de monitoreo	538
Tabla 5.2.1-252 Clasificación sectores de los puntos con mayor sensibilidad	538
Tabla 5.2.1-253 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector B	539
Tabla 5.2.1-254 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector C	541
Tabla 5.2.1-255 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector D	542
Tabla 5.2.1-256 Resultados mediciones de ruido ambiental respecto el Sector A	543
Tabla 5.2.1-257 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical Sector B	544
Tabla 5.2.1-258 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical Sector C	546
Tabla 5.2.1-259 Resultados mediciones de ruido ambiental respecto el Sector A	547
Tabla 5.2.1-260 Comparación entre software para modelos de dispersión	549
Tabla 5.2.1-261. Variables meteorológicas.....	556
Tabla 5.2.1-262 Maquinaria que se usará en Patio-Taller	563
Tabla 5.2.1-263 Maquinaria que se usará en la sección 1 del tramo 1	563
Tabla 5.2.1-264 Maquinaria que se usará en la sección 2 del tramo 1	564
Tabla 5.2.1-265 Maquinaria que se usará en la sección 3 del tramo 1	564
Tabla 5.2.1-266 Maquinaria que se usará en la sección 4 del tramo 1	565
Tabla 5.2.1-267 Maquinaria que se usará en la sección 1 del tramo 2	566
Tabla 5.2.1-268 Maquinaria que se usará en la sección 2 del tramo 2	566
Tabla 5.2.1-269 Parámetros acústicos de los equipos idealizados	568
Tabla 5.2.1-270 Especificaciones de equipo	569
Tabla 5.2.1-271 Niveles de potencia sonora y espectros de frecuencia	569
Tabla 5.2.1-272 Aportes modelación línea base (LAeqd).....	573
Tabla 5.2.1-273 Aportes modelación línea base LAeqn	576
Tabla 5.2.1-274 Aportes modelación escenario construcción LAeqd.....	579
Tabla 5.2.1-275 Aportes modelación escenario construcción LAeqd.....	581
Tabla 5.2.1-276 Aportes modelación escenario construcción + línea base LAeqn	584
Tabla 5.2.1-277 Aportes modelación escenario construcción + línea base LAeqd	587
Tabla 5.2.1-278 Aportes modelación escenario operación LAeqn	590
Tabla 5.2.1-279 Aportes modelación escenario operación LAeqn	593
Tabla 5.2.1-280 Aportes modelo operación LAeqd.....	593
Tabla 5.2.1-281 Aportes modelación escenario operación + línea base (LAeqn)	597
Tabla 5.2.1-282 Comparativo escenario línea base y construcción	604
Tabla 5.2.1-283 Comparativo escenario línea base y operación.....	605
Tabla 5.2.1-284 Comparación Escenario Construcción respecto estándares normativo	606
Tabla 5.2.1-285 Comparación Escenario Operación respecto estándares normativo	606
Tabla 5.2.1-286 Comparación entre los valores medidos y los resultados del modelo.....	609
Tabla 5.2.1-287 Localización de los puntos de medición de vibraciones en la zona de influencia del proyecto.....	619
Tabla 5.2.1-288 Localización de los puntos de medición de vibraciones en la zona de influencia del proyecto.....	627

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.2.1-1 Geología de los sectores central y sur de la ciudad de Bogotá	3
Figura 5.2.1-2 Geología general del Área de Influencia Indirecta del proyecto.....	8
Figura 5.2.1-3 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección AA (Escala 1:25000)	11
Figura 5.2.1-4 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección B-B' (Escala 1:25000)	11
Figura 5.2.1-5 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección C-C' (Escala 1:25000)	12
Figura 5.2.1-6 Diseño Funcional Patio-Taller PLMB.....	19
Figura 5.2.1-7 Geomorfología del área de influencia indirecta del proyecto PLMB	25
Figura 5.2.1-8 Mapa de pendientes del área de influencia indirecta del proyecto PLMB.....	27
Figura 5.2.1-9 Mapa de Amenaza por Procesos de Remoción en Masa	31
Figura 5.2.1-10 Amenazas por remoción en masa e inundación por desbordamiento	34
Figura 5.2.1-11 Mapa de zonificación sísmica de Colombia	35
Figura 5.2.1-12 Mapa de microzonificación sísmica de Bogotá	37
Figura 5.2.1-13 Zonas de respuesta sísmica que atraviesa el corredor de la PLMB	41
Figura 5.2.1-14 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-VIBLA	53
Figura 5.2.1-15 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-AV68-2	60
Figura 5.2.1-16 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-AV68-1	61
Figura 5.2.1-17 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-AV68-1	61
Figura 5.2.1-18 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-ROS-1	63
Figura 5.2.1-19 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-ROS-1	64
Figura 5.2.1-20 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-NQS.....	68
Figura 5.2.1-21 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-NQS-01	68
Figura 5.2.1-22 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-SAN	70
Figura 5.2.1-23 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-SAN-01	71
Figura 5.2.1-24 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-HOS.....	73
Figura 5.2.1-25 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-HOS-1	73
Figura 5.2.1-26 Velocidad de onda V_s (m/s) de ensayo Bender Element	74
Figura 5.2.1-27 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL10	76
Figura 5.2.1-28 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-CII10-01.....	76
Figura 5.2.1-29 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL26.....	78
Figura 5.2.1-30 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-PLMB-VDT-06.....	79
Figura 5.2.1-31 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL45.....	81
Figura 5.2.1-32 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-CLL45-03 y PT-PLMB-VDT-08.....	82
Figura 5.2.1-33 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL63.....	85
Figura 5.2.1-34 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL76.....	88
Figura 5.2.1-35 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL72.....	89
Figura 5.2.1-36 Curva de V_s obtenida del ensayo Down-Hole PT-PLMB-VDT-13	89
Figura 5.2.1-37 Usos del suelo urbano y de expansión en el Área de influencia del proyecto PLMB	94
Figura 5.2.1-38 Uso Actual de Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB	95
Figura 5.2.1-39 Conflictos de uso de los Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB	97
Figura 5.2.1-40 Puntos de Monitoreo de Suelos en el AI del proyecto.....	99
Figura 5.2.1-41 Consideraciones Generales para Interpretar Análisis Químicos de Suelos	100
Figura 5.2.1-42 Zonas del AIPLMB	106
Figura 5.2.1-43 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual	109
Figura 5.2.1-44 Distribución de la calidad visual para la zona 1 en superficie (ha).....	110

Figura 5.2.1-45 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual. Zona 2.....	113
Figura 5.2.1-46 Distribución de la calidad visual para la zona 1 en superficie (ha).....	114
Figura 5.2.1-47 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual. Zona 3.....	117
Figura 5.2.1-48 Distribución de la calidad visual para la zona 3 en superficie (ha).....	118
Figura 5.2.1-49 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona4	122
Figura 5.2.1-50 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona5.	127
Figura 5.2.1-51 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona 6	133
Figura 5.2.1-52 Distribución de la calidad visual para el AIIPLMB	134
Figura 5.2.1-53 División del Bogotá por sub - cuencas de alcantarillado pluvial.....	137
Figura 5.2.1-54 Localización estaciones hidrométricas	140
Figura 5.2.1-55 Curva de doble masa caudal medio. Estación Ventana Captación y caudal medio Acumulada Promedio (Período 1991 – 2013)	141
Figura 5.2.1-56 Curva de doble masa caudal medio. Estación Parque Nacional y caudal medio Acumulada Promedio (Período 1991 – 2013).....	141
Figura 5.2.1-57 Distribución temporal de caudales medios diarios de la estación limnigráfica Ventana-Captación 1991-2013	142
Figura 5.2.1-58 Distribución temporal de caudales medios diarios de la estación limnigráfica Parque Nacional 1991-2013.....	143
Figura 5.2.1-59 Curva de Duración de Caudales estación Parque Nacional	143
Figura 5.2.1-60 Curva de Duración de Caudales estación Ventana Captación	144
Figura 5.2.1-61 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Inem Kennedy.....	147
Figura 5.2.1-62 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Universidad Nacional	147
Figura 5.2.1-63 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Venado de Oro Vivero	148
Figura 5.2.1-64 Localización estación Gibraltar Kennedy.	149
Figura 5.2.1-65 Distribución temporal de niveles medios mensuales de la estación telemétrica Gibraltar 2008-2015	149
Figura 5.2.1-66 Sección batimétrica estación Gibraltar	150
Figura 5.2.1-67 Curva de duración de niveles diarios estación Gibraltar 2008 – 2015.....	151
Figura 5.2.1-68 Esquema Estación Elevadora Gibraltar.....	153
Figura 5.2.1-69 Configuración topológica del modelo SewerGems.....	154
Figura 5.2.1-70 Identificación cuerpos hídricos objeto de estudio.....	155
Figura 5.2.1-71 Localización Puntos de Monitoreo Calidad del Agua Superficial	156
Figura 5.2.1-72 Condiciones meteorológicas – periodo de muestreo aguas superficiales	160
Figura 5.2.1-73 Resultados DBO ₅ , DQO y Oxígeno Disuelto	164
Figura 5.2.1-74 Resultados Sólidos y Conductividad	165
Figura 5.2.1-75 Resultados Nitrógeno Total y Fosforo	167
Figura 5.2.1-76 Resultados Grasas y Aceites, Tenso activos e Hidrocarburos Totales.....	167
Figura 5.2.1-77 Localización de pozos en el AII	180
Figura 5.2.1-78 Mapa hidrogeológico del área de influencia indirecta	185
Figura 5.2.1-79 Mapa de recarga potencial promedio anual en el Distrito Capital.....	187
Figura 5.2.1-80 Mapa de isopiezas en temporadas de baja precipitación durante el periodo 1999-2010.....	189
Figura 5.2.1-81 Mapa de isopiezas en temporadas de alta precipitación durante el periodo 1999-2010.....	190
Figura 5.2.1-82 Mapa de isopiezas total durante el periodo 1999-2010.....	191
Figura 5.2.1-83 Mapa de anomalía residual	198
Figura 5.2.1-84 Grafica de bombeo a caudal constante usando el método Cooper & Jacob. Pozo Clara Fey-1.....	201
Figura 5.2.1-85 Grafica de bombeo a caudal constante usando el método Theis. Pozo Clara Fey-1.	201

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Figura 5.2.1-86 Grafica de recuperación de niveles usando el método de Theis & Jacob, Pozo Clara Fey-1.....	202
Figura 5.2.1-87 Gráfica de bombeo a caudal constante usando el método Cooper & Jacob. Pozo Clara Fey-2.....	202
Figura 5.2.1-88 Grafica de recuperación de niveles usando el método de Theis & Jacob. Pozo Clara Fey-2.....	203
Figura 5.2.1-89 Pozo de observación Clara Fey-1.	203
Figura 5.2.1-90 Diagrama Piper mostrando la clasificación geoquímica de las muestras de agua (en verde) tomadas en la Formación Guaduas.....	206
Figura 5.2.1-91 Diagrama de Piper mostrando la clasificación geoquímica de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Llanura de Inundación.	207
Figura 5.2.1-92 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Coluvión y el Complejo de Conos.	208
Figura 5.2.1-93 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en niveles de arcillas y arenas finas de la Formación Sabana.	209
Figura 5.2.1-94 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en niveles de arenas, arcillas y turba de la Formación Sabana	210
Figura 5.2.1-95 Diagrama de Piper fuentes superficiales.....	211
Figura 5.2.1-96 Distribución espacial de pH.	212
Figura 5.2.1-97 Secuencia de Chevotarev.....	213
Figura 5.2.1-98 Distribución espacial de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$).	214
Figura 5.2.1-99 Distribución espacial de temperatura.	215
Figura 5.2.1-100 Distribución espacial del Sodio.....	216
Figura 5.2.1-101 Distribución espacial de Cloruros.	217
Figura 5.2.1-102 Diagrama de cajas de los iones de las unidades geológicas en el Distrito Capital.	218
Figura 5.2.1-103 Línea meteórica.	219
Figura 5.2.1-104 Localización de piezómetros	224
Figura 5.2.1-105 Vulnerabilidad de acuíferos en temporada de alta precipitación.....	235
Figura 5.2.1-106 Vulnerabilidad de acuíferos en temporada de baja precipitación.....	237
Figura 5.2.1-107 Concentraciones de pH. En Aguas Subterráneas.....	243
Figura 5.2.1-108 Oxígeno disuelto en aguas subterráneas.....	244
Figura 5.2.1-109 Temperatura y conductividad de agua subterránea.....	245
Figura 5.2.1-110 Concentraciones de Fósforo y Nitrógeno Total.....	247
Figura 5.2.1-111 Concentraciones de grasas y aceites.....	248
Figura 5.2.1-112 Concentraciones de sólidos disueltos.....	249
Figura 5.2.1-113 Concentraciones de sólidos suspendidos.....	249
Figura 5.2.1-114 Concentraciones de Coliformes fecales.....	250
Figura 5.2.1-115 Concentraciones de Coliformes Totales.....	250
Figura 5.2.1-116 Localización estaciones.....	254
Figura 5.2.1-117 Distribución temporal del brillo solar.....	256
Figura 5.2.1-118 Distribución temporal de la evaporación.....	257
Figura 5.2.1-119 Distribución temporal de humedad relativa.....	258
Figura 5.2.1-120 Distribución temporal de nubosidad.....	259
Figura 5.2.1-121 Distribución temporal de precipitación número de días.....	260
Figura 5.2.1-122 Distribución temporal de presión.....	261
Figura 5.2.1-123 Distribución temporal de precipitación total.....	262
Figura 5.2.1-124 Distribución temporal de precipitación total máxima.....	263
Figura 5.2.1-125 Distribución temporal de punto de rocío.....	264
Figura 5.2.1-126 Distribución temporal de tensión de vapor.....	265
Figura 5.2.1-127 Distribución temporal de temperatura máxima.....	266
Figura 5.2.1-128 Distribución temporal de temperatura media.....	267
Figura 5.2.1-129 Distribución temporal de temperatura mínima.....	268
Figura 5.2.1-130 Distribución temporal de radiación solar.....	269

Figura 5.2.1-131 Distribución temporal de velocidad del viento	270
Figura 5.2.1-132 Rosa de los vientos - Estación Carvajal	270
Figura 5.2.1-133 Rosa de los vientos - Estación Kennedy	271
Figura 5.2.1-134 Rosa de los vientos – San Cristóbal.....	271
Figura 5.2.1-135 Rosa de los vientos – Tunal	272
Figura 5.2.1-136 Isoyetas de precipitación zona de proyecto	273
Figura 5.2.1-137 Localización Fuentes de Emisión en la Zona de Estudio	278
Figura 5.2.1-138 Potenciales receptores de emisiones atmosféricas	279
Figura 5.2.1-139 Localización puntos de monitoreos calidad de aire	287
Figura 5.2.1-140 Temperatura promedio diaria Estación Villa Blanca.....	291
Figura 5.2.1-141 Temperatura promedio diaria Estación RMCAB	291
Figura 5.2.1-142 Precipitación acumulada diaria Estación Villa Blanca	292
Figura 5.2.1-143 Precipitación acumulada diaria Estación RMCAB.....	292
Figura 5.2.1-144 Presión barométrica promedio diaria Estación Villa Blanca	293
Figura 5.2.1-145 Presión barométrica promedio diaria Estación RMCAB.....	293
Figura 5.2.1-146 Velocidad del viento promedio estación Villa Blanca.	294
Figura 5.2.1-147 Velocidad del viento promedio estación RMCAB	294
Figura 5.2.1-148 Rosa de vientos – Estaciones Meteorológicas.....	295
Figura 5.2.1-149 Muestreador Hi-Vol de PM ₁₀	296
Figura 5.2.1-150 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow	296
Figura 5.2.1-151 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO	297
Figura 5.2.1-152 Muestreadores Low-Vol PM _{2.5}	298
Figura 5.2.1-153 Equipamiento que conforma el kit de calibración Deltacal	299
Figura 5.2.1-154 Muestreador de Gases tipo RAC.....	300
Figura 5.2.1-155 Montaje del calibrador de burbuja	301
Figura 5.2.1-156 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron.....	302
Figura 5.2.1-157 Analizador automático de CO.....	303
Figura 5.2.1-158 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments	304
Figura 5.2.1-159 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Patio-Taller	307
Figura 5.2.1-160 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Portal Américas	307
Figura 5.2.1-161 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Villa Blanca	308
Figura 5.2.1-162 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Kennedy	308
Figura 5.2.1-163 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Palenque	309
Figura 5.2.1-164 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Avenida Boyacá	309
Figura 5.2.1-165 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Avenida 68	310
Figura 5.2.1-166 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Rosario.....	310
Figura 5.2.1-167 Concentraciones de PM ₁₀ Estación NQS	311
Figura 5.2.1-168 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Santander.....	311
Figura 5.2.1-169 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Hospitales	312
Figura 5.2.1-170 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 10 -11.....	312
Figura 5.2.1-171 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 26.....	313
Figura 5.2.1-172 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 45.....	313
Figura 5.2.1-173 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 52.....	314
Figura 5.2.1-174 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 63.....	314
Figura 5.2.1-175 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 72.....	315
Figura 5.2.1-176 Concentraciones de PM ₁₀ Calle 76.....	315
Figura 5.2.1-177 Concentraciones promedio PM ₁₀ vs Norma anual	317
Figura 5.2.1-178 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Patio-Taller.....	319
Figura 5.2.1-179 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Portal Américas.....	319
Figura 5.2.1-180 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Villa Blanca	320
Figura 5.2.1-181 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Kennedy	320
Figura 5.2.1-182 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Palenque	321
Figura 5.2.1-183 Concentraciones de PM _{2.5} Estación Avenida Boyacá	321

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Figura 5.2.1-184 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Avenida 68	322
Figura 5.2.1-185 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Rosario	322
Figura 5.2.1-186 Concentraciones de PM _{2,5} Estación NQS	323
Figura 5.2.1-187 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Santander.....	323
Figura 5.2.1-188 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Hospitales	324
Figura 5.2.1-189 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 10 -11	324
Figura 5.2.1-190 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 26	325
Figura 5.2.1-191 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 45	325
Figura 5.2.1-192 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 52	326
Figura 5.2.1-193 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 63	326
Figura 5.2.1-194 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 72	327
Figura 5.2.1-195 Concentraciones de PM _{2,5} Estación Calle 76	327
Figura 5.2.1-196 Concentraciones promedio PM _{2,5} vs Norma anual.....	329
Figura 5.2.1-197 Concentraciones de NO ₂ Estación Patio-Taller.....	331
Figura 5.2.1-198 Concentraciones de NO ₂ Estación Portal Américas.....	331
Figura 5.2.1-199 Concentraciones de NO ₂ Villa Blanca	332
Figura 5.2.1-200 Concentraciones de NO ₂ Estación Kennedy	332
Figura 5.2.1-201 Concentraciones de NO ₂ Estación Palenque.....	333
Figura 5.2.1-202 Concentraciones de NO ₂ Estación Avenida Boyacá	333
Figura 5.2.1-203 Concentraciones de NO ₂ Estación Avenida 68	334
Figura 5.2.1-204 Concentraciones de NO ₂ Estación Rosario.....	334
Figura 5.2.1-205 Concentraciones de NO ₂ Estación NQS	335
Figura 5.2.1-206 Concentraciones de NO ₂ Estación Santander	335
Figura 5.2.1-207 Concentraciones de NO ₂ Estación Hospitales	336
Figura 5.2.1-208 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 10 -11.....	336
Figura 5.2.1-209 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 26	337
Figura 5.2.1-210 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 45	337
Figura 5.2.1-211 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 52	338
Figura 5.2.1-212 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 63	338
Figura 5.2.1-213 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 72	339
Figura 5.2.1-214 Concentraciones de NO ₂ Estación Calle 76	339
Figura 5.2.1-215 Concentraciones de SO ₂ Estación Patio-Taller	342
Figura 5.2.1-216 Concentraciones de SO ₂ Estación Portal Américas	342
Figura 5.2.1-217 Concentraciones de SO ₂ Estación Villa Blanca	343
Figura 5.2.1-218 Concentraciones de SO ₂ Estación Kennedy	343
Figura 5.2.1-219 Concentraciones de SO ₂ Estación Palenque	344
Figura 5.2.1-220 Concentraciones de SO ₂ Estación Avenida Boyacá	344
Figura 5.2.1-221 Concentraciones de SO ₂ Estación Avenida 68	345
Figura 5.2.1-222 Concentraciones de SO ₂ Estación Rosario	345
Figura 5.2.1-223 Concentraciones de SO ₂ Estación NQS.....	346
Figura 5.2.1-224 Concentraciones de SO ₂ Estación Santander.....	346
Figura 5.2.1-225 Concentraciones de SO ₂ Estación Hospitales	347
Figura 5.2.1-226 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 10 -11	347
Figura 5.2.1-227 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 26	348
Figura 5.2.1-228 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 45	348
Figura 5.2.1-229 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 52	349
Figura 5.2.1-230 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 63	349
Figura 5.2.1-231 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 72	350
Figura 5.2.1-232 Concentraciones de SO ₂ Estación Calle 76	350
Figura 5.2.1-233 Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma.....	352
Figura 5.2.1-234 Media móvil octahoraria vs. Norma	353
Figura 5.2.1-235 Resultados COV expresados como BTX	355
Figura 5.2.1-236 Comparación indicativa de Benceno y Tolueno con la normatividad.....	355
Figura 5.2.1-237 Concentración de Benceno Vs Norma anual	356

LÍNEA BASE

REV.4,04-06-2019

ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

Figura 5.2.1-238 Concentración de Tolueno Vs Norma semanal	356
Figura 5.2.1-239 Ilustración 40. Índice de Calidad de Aire	359
Figura 5.2.1-240. Esquema del sistema de modelación AERMOD	364
Figura 5.2.1-241 Duración fases del proyecto	365
Figura 5.2.1-242 Grillas utilizadas.....	368
Figura 5.2.1-243 Dominios de modelación – (Esc. 1 y 3) y (Esc 2).....	369
Figura 5.2.1-244 Procedimiento de calibración del modelo.....	370
Figura 5.2.1-245 Localización receptores discretos.....	372
Figura 5.2.1-246 Topografía de la zona	373
Figura 5.2.1-247. Información meteorológica sectorial WRF.....	374
Figura 5.2.1-248. Climograma de Gaussen	375
Figura 5.2.1-249. Temperatura promedio mensual.....	376
Figura 5.2.1-250. Perfil horario de temperaturas	376
Figura 5.2.1-251. Representación cualitativa de variación de temperatura – perfil horario	377
Figura 5.2.1-252. Precipitación acumulada mensual.....	377
Figura 5.2.1-253. Perfil horario de precipitaciones	378
Figura 5.2.1-254. Representación de la tendencia de ocurrencia de precipitaciones- perfil horario	378
Figura 5.2.1-255. Rosa de Vientos Bogotá 2017	379
Figura 5.2.1-256. Velocidad del viento promedio mensual.....	381
Figura 5.2.1-257. Perfil horario de velocidades	381
Figura 5.2.1-258. Representación cualitativa de variación de velocidad del viento- perfil horario. 382	
Figura 5.2.1-259. Nubosidad promedio mensual	382
Figura 5.2.1-260. Perfil horario de Nubosidad	383
Figura 5.2.1-261. Humedad relativa promedio mensual	383
Figura 5.2.1-262. Perfil horario de humedad relativa.....	384
Figura 5.2.1-263. Representación cualitativa de variación de la humedad relativa- perfil horario. 384	
Figura 5.2.1-264. Presión promedio mensual	385
Figura 5.2.1-265. Perfil horario de presión.....	385
Figura 5.2.1-266. Altura de mezcla mensual	386
Figura 5.2.1-267 Fase constructiva del proyecto – Tramos y secciones	398
Figura 5.2.1-268 Emisiones NO ₂ por actividades	417
Figura 5.2.1-269 Emisiones SO ₂ por actividades	417
Figura 5.2.1-270 Emisiones CO por actividades.....	418
Figura 5.2.1-271 Emisiones VOC por actividades	418
Figura 5.2.1-272 Concentraciones de PM ₁₀ 24horas - Escenario Línea base	420
Figura 5.2.1-273 Concentraciones de PM _{2,5} 24horas - Escenario Línea base.....	420
Figura 5.2.1-274 Isopleta anual PM ₁₀ proyecto PLMB. Escenario 1.....	423
Figura 5.2.1-275 Isopleta diario PM ₁₀ proyecto PLMB. Escenario 1.....	425
Figura 5.2.1-276 Isopleta Anual PM _{2,5} proyecto PLMB. Escenario 1.....	427
Figura 5.2.1-277 Isopleta diario PM _{2,5} proyecto PLMB. Escenario 1	429
Figura 5.2.1-278 Aportes anuales PM ₁₀ . Escenario 3.2 Operación sin proyecto (100% de la flota vehicular).....	432
Figura 5.2.1-279 Aportes 24 Horas PM ₁₀ . Escenario 3.2 Operación sin proyecto (100% de la flota vehicular).....	434
Figura 5.2.1-280 Aportes anuales NO ₂ . Escenario 1	436
Figura 5.2.1-281 Isopleta anual NO ₂ proyecto PLMB. Escenario 1	437
Figura 5.2.1-282. Aportes anuales SO ₂ . Escenario 1.....	439
Figura 5.2.1-283 Isopleta anual SO ₂ proyecto PLMB. Escenario 1	441
Figura 5.2.1-284 Aportes 8 horas CO Escenario 1	443
Figura 5.2.1-285 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB Escenario 1	445
Figura 5.2.1-286 Aportes anuales VOC. Escenario 1	447
Figura 5.2.1-287 Isopleta anual VOC proyecto PLMB. Escenario 1	448

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Figura 5.2.1-288 Aportes anuales PM ₁₀ – Escenario Construcción.....	450
Figura 5.2.1-289 Aportes anuales PM _{2,5} – Escenario Construcción.....	450
Figura 5.2.1-290 Isopleta anual PM ₁₀ proyecto PLMB. – Escenario Construcción	452
Figura 5.2.1-291 Isopleta anual PM _{2,5} proyecto PLMB.- Escenario Construcción.....	453
Figura 5.2.1-292 Aportes anuales NO ₂ . Escenario 2	455
Figura 5.2.1-293 Isopleta anual NO ₂ proyecto PLMB. Escenario 2.....	456
Figura 5.2.1-294 Aportes anuales SO ₂ . Escenario2.....	458
Figura 5.2.1-295 Isopleta anual SO ₂ proyecto PLMB. Escenario 2	459
Figura 5.2.1-296 Aportes 8 horas CO. Escenario 2.....	461
Figura 5.2.1-297 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB. Escenario 2.....	462
Figura 5.2.1-298 Aportes anuales VOC. Escenario 2.....	464
Figura 5.2.1-299 Isopleta anual VOC proyecto PLMB. Escenario2.....	465
Figura 5.2.1-300 Aportes anualesPM ₁₀ . Escenario 3.....	468
Figura 5.2.1-301 Aportes anuales PM _{2,5} . Escenario 3	468
Figura 5.2.1-302 Isopleta anual PM ₁₀ proyecto PLMB. Escenario 3.....	469
Figura 5.2.1-303 Isopleta anual PM _{2,5} proyecto PLMB. Escenario 3.....	470
Figura 5.2.1-304 Aportes anualesNO ₂ . Escenario 3.....	473
Figura 5.2.1-305 Isopleta anual NO ₂ proyecto PLMB. Escenario 3.....	474
Figura 5.2.1-306 Aportes anuales SO ₂ . Escenario 3	476
Figura 5.2.1-307 Isopleta anual SO ₂ proyecto PLMB. Escenario 3	477
Figura 5.2.1-308.Aportes 8 horas CO. Escenario 3.....	480
Figura 5.2.1-309 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB. Escenario 3.....	481
Figura 5.2.1-310 Aportes anuales VOC. Escenario 3.....	483
Figura 5.2.1-311 Isopleta anual VOC proyecto PLMB. Escenario 3.....	484
Figura 5.2.1-312 Aportes de PM10 Escenarios de construcción y operación respecto la norma ..	487
Figura 5.2.1-313 Aportes de PM10 Escenarios de construcción y operación respecto la norma ..	488
Figura 5.2.1-314 Aportes de SO ₂ Escenarios de construcción y operación respecto la norma	489
Figura 5.2.1-315 Aportes de NO ₂ 24 horas Escenarios de construcción y operación respecto la norma	490
Figura 5.2.1-316 Aportes de PM ₁₀ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma	492
Figura 5.2.1-317 Aportes de PM _{2,5} Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma	493
Figura 5.2.1-318 Aportes de SO ₂ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma	494
Figura 5.2.1-319 Aportes de NO ₂ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma	495
Figura 5.2.1-320 Isopleta anual PM ₁₀ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos	496
Figura 5.2.1-321 Isopleta 24Horas PM ₁₀ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos..	497
Figura 5.2.1-322 Isopleta anual PM _{2,5} proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos	498
Figura 5.2.1-323 Isopleta 24 horas PM _{2,5} proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos.....	499
Figura 5.2.1-324 Isopleta anual NO ₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos.....	501
Figura 5.2.1-325 Isopleta 24horas NO ₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos....	502
Figura 5.2.1-326 Isopleta anual SO ₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos	504
Figura 5.2.1-327 Isopleta 24 horas SO ₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos...	505
Figura 5.2.1-328 Isopletas PM ₁₀ anual por tramos Escenario Operación	508
Figura 5.2.1-329 Isopletas PM ₁₀ 24Horas por tramos Escenario Operación	510
Figura 5.2.1-330 Isopletas PM _{2,5} Anual Escenario Operación en todo el trazado	511
Figura 5.2.1-331 Isopletas PM _{2,5} 24Horas Escenario Operación en todo el trazado.....	512
Figura 5.2.1-332 Isopleta24 horasNO ₂ proyecto PLMB Escenario operación más Fondos. Escenario 3.....	514
Figura 5.2.1-333 Isopleta anual NO ₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3.....	515
Figura 5.2.1-334 Isopleta24 horasSO ₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3.....	517
Figura 5.2.1-335 Isopleta anual SO ₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3.....	518

LÍNEA BASE

REV.4,04-06-2019

ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Figura 5.2.1-336 Sectores por nivel de presión sonora permitido – Trazado PLMB	523
Figura 5.2.1-337 Puntos de Monitoreo de Ruido Ambiental	533
Figura 5.2.1-338 Resultados de niveles sonoros Sector B universidades, colegios, escuelas– Ordinario.....	539
Figura 5.2.1-339 Resultados de niveles sonoros Sector B parques en zonas urbanas – Ordinario	540
Figura 5.2.1-340 Resultados de niveles sonoros Sector B zonas residenciales – Ordinario	540
Figura 5.2.1-341 Resultados de niveles sonoros Sector C zona comercial – Ordinario	541
Figura 5.2.1-342 Resultados de niveles sonoros Sector C zona con uso institucional– Ordinario	542
Figura 5.2.1-343 Resultados de niveles sonoros Sector D Residencial suburbano – Ordinario	542
Figura 5.2.1-344 Resultados de niveles sonoros Sector A – Ordinario	543
Figura 5.2.1-345 Resultados de niveles sonoros Sector B parques en zonas urbanas – Dominical	544
Figura 5.2.1-346 Resultados de niveles sonoros Sector B universidades, colegios, escuelas – Dominical.....	545
Figura 5.2.1-347 Resultados de niveles sonoros Sector B Zonas residenciales – Dominical.....	545
Figura 5.2.1-348 Resultados de niveles sonoros Sector C Zonas con usos permitidos comerciales – Dominical.....	546
Figura 5.2.1-349 Resultados de niveles sonoros Sector C Zonas con uso Institucional– Dominical	547
Figura 5.2.1-350 Resultados de niveles sonoros Sector D Zonas residencial Urbana – Dominical	547
Figura 5.2.1-351 Resultados de niveles sonoros Sector A – Dominical.....	548
Figura 5.2.1-352. Características del modelo de emisión en su versión simplificada	551
Figura 5.2.1-353 Estándares.....	552
Figura 5.2.1-354 Configuración General.....	552
Figura 5.2.1-355 Períodos de referencia	553
Figura 5.2.1-356 Parámetros a evaluar	553
Figura 5.2.1-357 Modelo Digital del Terreno con base en las curvas de nivel del IDECA	555
Figura 5.2.1-358 Estaciones de monitoreo de ruido ambiental (receptores sensibles).....	556
Figura 5.2.1-359 Edificaciones.....	558
Figura 5.2.1-360 Aforo vehicular	559
Figura 5.2.1-361 Perfil horario de flujo vehicular	559
Figura 5.2.1-362 Fuente fijas	560
Figura 5.2.1-363 Montaje escenario de construcción	561
Figura 5.2.1-364 Esquema construcción de la PLMB.....	562
Figura 5.2.1-365 Estaciones de monitoreo de ruido ambiental (receptores sensibles).....	570
Figura 5.2.1-366 Isófona diurna escenario línea base.....	572
Figura 5.2.1-367 Isófona nocturna escenario línea base.....	575
Figura 5.2.1-368 Isófona diurna escenario construcción proyecto	578
Figura 5.2.1-369 Isófona nocturna escenario construcción proyecto	581
Figura 5.2.1-370 Isófona diurna escenario construcción proyecto + línea base	584
Figura 5.2.1-371 Isófona nocturna escenario construcción proyecto + línea base	586
Figura 5.2.1-372 Isófona diurna escenario operación del metro	589
Figura 5.2.1-373 Isófona nocturna escenario operación del metro	592
Figura 5.2.1-374 Isófona diurna escenario operación del metro + línea base.....	596
Figura 5.2.1-375 Isófona nocturna escenario operación del metro + línea base.....	599
Figura 5.2.1-376 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de construcción) – periodo diurno.	600
Figura 5.2.1-377 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de operación) – periodo diurno	601
Figura 5.2.1-378 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de operación) – periodo nocturno.	601

Figura 5.2.1-379 Isófona diurna considerando el conflicto y uso del suelo - escenario construcción	602
Figura 5.2.1-380 Isófona nocturna considerando el conflicto y uso del suelo - escenario operación	603
Figura 5.2.1-381 Acelerómetro Sísmico WR modelo 731A y amplificador de señal modelo P31 ..	612
Figura 5.2.1-382 Esquema de medición de vibraciones para las ventanas de registro en horas pico y horas valle	613
Figura 5.2.1-383 Esquema de medición de vibraciones para las tres componentes de movimiento de manera simultánea	614
Figura 5.2.1-384 Registros de aceleración para puntos localizados a diferentes distancias desde el eje principal	615
Figura 5.2.1-385 Ventanas de análisis de señales Degtra A4	616
Figura 5.2.1-386 Umbrales de comportamiento ante vibraciones.	618
Figura 5.2.1-387 Localización de los puntos de registro de vibraciones	620
Figura 5.2.1-388 Localización punto de registro de vibraciones 01 (Patio-Taller).....	621
Figura 5.2.1-389 Localización punto de registro de vibraciones 02 (Portal de las Américas).....	621
Figura 5.2.1-390 Localización punto de registro de vibraciones 03 (Villa Blanca)	621
Figura 5.2.1-391 Localización punto de registro de vibraciones 04 (Palenque).....	622
Figura 5.2.1-392 Localización punto de registro de vibraciones 05 (Kennedy)	622
Figura 5.2.1-393 Localización punto de registro de vibraciones 06 (Av. Boyacá).....	622
Figura 5.2.1-394 Localización punto de registro de vibraciones 07 (Av. 68).....	623
Figura 5.2.1-395 Localización punto de registro de vibraciones 08 (Av. Rosario)	623
Figura 5.2.1-396 Localización punto de registro de vibraciones 09 (NQS)	623
Figura 5.2.1-397 Localización punto de registro de vibraciones 10 (Santander)	624
Figura 5.2.1-398 Localización punto de registro de vibraciones 11 (Hospitales)	624
Figura 5.2.1-399 Localización punto de registro de vibraciones 12 (Centro Histórico)	624
Figura 5.2.1-400 Localización punto de registro de vibraciones 13 (Calle 26).....	625
Figura 5.2.1-401 Localización punto de registro de vibraciones 14 (Calle 45).....	625
Figura 5.2.1-402 Localización punto de registro de vibraciones 15 (SDA).....	625
Figura 5.2.1-403 Localización punto de registro de vibraciones 16 (Calle 63).....	626
Figura 5.2.1-404 Localización punto de registro de vibraciones 17 (Calle 72).....	626
Figura 5.2.1-405 Localización punto de registro de vibraciones 18 (Calle 76).....	626
Figura 5.2.1-406 Valores de PGV_{Max}	628
Figura 5.2.1-407 Valores de $f_{Nakamura}$	628
Figura 5.2.1-408 Comparación de registros de vibraciones con umbrales de movimiento para el punto 12 (Centro Histórico)	629
Figura 5.2.1-409 Comparación de registros de vibraciones con umbrales de movimiento para el punto 1 (Patio-Taller).....	630
Figura 5.2.1-410 Comparación estimación periodo mediante el método de Nakamura contra los periodos fundamentales del depósito presentados en FOPAE (2010).....	631
Figura 5.2.1-411 Valores de velocidad de partícula (PGV) para los tres canales de registro	632
Figura 5.2.1-412 Efecto de vibraciones adicionales de con PGV de 1 mm/s durante construcción.	633
Figura 5.2.1-413 Niveles de vibración esperados a pie de pila del Metro.	634
Figura 5.2.1-414 Comparación espectros de respuesta	635

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 5.2.1-1 Depósito de bloques y gravas en matriz areno-arcillosa de la zona proximal del cono del Tunjuelo 6

Fotografía 5.2.1-2: Perfil en Patio-Taller. Suelo de relleno antrópico en Clima frío, seco 91

Fotografía 5.2.1-3 Zonas con pastos y árboles ubicadas en el Tramo 1 del AII PLMB..... 107

Fotografía 5.2.1-4 Construcciones y Superficies naturales con presencia de residuos sólidos en la Zona 1 del AII PLMB 107

Fotografía 5.2.1-5 Zonas recreativas del Tramo 1 108

Fotografía 5.2.1-6 Equipamientos culturales y educativos 109

Fotografía 5.2.1-7 Zonas con individuos arbóreas ubicadas en el Tramo 2 del AII PLMB 111

Fotografía 5.2.1-8 Construcciones y zonas verdes en la Zona 2 del AII PLMB 112

Fotografía 5.2.1-9 Zonas recreativas del Zona 2 112

Fotografía 5.2.1-10 Equipamientos culturales y educativos 113

Fotografía 5.2.1-11 Zonas verdes en el Tramo 3 del AII PLMB 115

Fotografía 5.2.1-12 Construcciones y zonas verdes en la Zona 3 del AII PLMB 115

Fotografía 5.2.1-13 Áreas recreativas del Zona 3..... 116

Fotografía 5.2.1-14 Equipamientos culturales y educativos 117

Fotografía 5.2.1-15 Presencia de parques locales 119

Fotografía 5.2.1-16 Calles con pocos individuos arbóreos dentro de la zona 4 120

Fotografía 5.2.1-17 Instituciones educativas presentes en la Zona4 121

Fotografía 5.2.1-18 Parques y zonas verdes disponibles en la Zona5 124

Fotografía 5.2.1-19 Referentes sociales, culturales y arquitectónicos de la Zona5 125

Fotografía 5.2.1-20 Parques disponibles en la Zona 6 128

Fotografía 5.2.1-21 Lugares de interés cultural, arquitectónico e histórico en la Zona 6. 129

Fotografía 5.2.1-22 Referentes sociales, culturales y educativos de la Zona6. 131

“Este documento fue realizado por la Financiera de Desarrollo Nacional en el marco del Convenio 1880 de 2014 cumpliendo con lo exigido en los estándares internacionales de las salvaguardias, políticas, estándares y guías ambientales y sociales de la Banca Multilateral para la etapa de factibilidad de la Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB”

5.2.1 MEDIO ABIÓTICO

5.2.1.1 Componente Geosférico

5.2.1.2 Geología

La ciudad de Bogotá se localiza en el extremo suroriental de la región de la Sabana de Bogotá, la cual comprende además de la superficie plana de la Sabana (o sencillamente Sabana de Bogotá), los cerros que la bordean. La Sabana de Bogotá tiene una altitud de unos 2600 m.s.n.m., cuenta con una extensión del orden de los de 4500 km² y se localiza en la parte central de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

Desde el punto de vista geológico, la Sabana de Bogotá es una extensa cuenca intramontana formada de manera contemporánea con el ascenso de la Cordillera Oriental, desde inicios del Mioceno hasta finales del Plioceno. La cuenca de la Sabana de Bogotá era inicialmente una gran laguna, que inició su colmatación y subsecuente desecación, hace aproximadamente 30000 años. El proceso de colmatación comenzó con el depósito de secuencias predominantemente aluviales y prosiguió con secuencias lacustres.

El depósito fluvio-lacustre cuaternario de la Sabana de Bogotá alcanza en la parte central un máximo del orden de los 400 m, apoyándose discordantemente sobre una secuencia de rocas sedimentarias con edades del Cretácico y el Terciario (Paleógeno y Neógeno). Las rocas del basamento afloran tanto en los cerros que la bordean, como en los que se encuentran a su interior.

En los sectores central y sur de la ciudad de Bogotá, en los cerros que bordean por el oriente y el sur la Sabana de Bogotá, afloran rocas con edades del Cretácico superior, Paleógeno y Neógeno diferenciadas en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-Tierna, Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y Usme. La zona correspondiente a la superficie plana de la Sabana de Bogotá, se desarrolla sobre depósitos cuaternarios diferenciados en Complejo de Conos, Formación Sabana, Depósitos de Llanura de Inundación y Depósitos Coluvión.

La secuencia de rocas sedimentarias del basamento de la cuenca de la Sabana de Bogotá, como consecuencia de la tectónica compresiva que dio origen a la Cordillera Oriental, se encuentran plegadas y falladas. El tren estructural de dirección general NNE-SSW, está conformado predominantemente por anticlinales estrechos y sinclinales amplios, en general limitados por fallas de cabalgamiento definidas por la falta de registro estratigráfico. De igual manera se observan especialmente al sur de la Sabana de Bogotá, fallas transversales de desplazamiento lateral izquierdo, de dirección WNW-ESE, consideradas consecuencia de un estilo estructural heredado. La intersección de estos dos sistemas de fallas aproximadamente perpendiculares, da lugar a la división del substrato terciario y cretácico en una serie de bloques con movimientos diferenciales entre ellos, originando una serie de "horst y graben" donde la zona de horst se corresponde con la zona de relieves altos y la zona de graben con la llanura de la Sabana de Bogotá.

Las rocas que afloran en la zona montañosa de los sectores de la ciudad ya citados, se encuentran plegadas conformando los anticlinales como los de Bogotá y Suba, al igual que sinclinales como los de Usme-Tunjuelo y Suba, afectadas por las fallas de El Cabo y Bogotá, de dirección NNE-SSW y buzamiento al oriente, al igual que por las fallas Usaquén-Juan Amarillo, San Cristóbal-Facatativá, Santa Bárbara y Mochuelo, de dirección NNE-SSW.

5.2.1.2.1 Área de influencia indirecta

En el área de influencia indirecta del Proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá - PLMB, afloran en la parte baja de los cerros orientales de la ciudad, al occidente de la traza de la Falla Bogotá, de dirección NNE-SSW, estratos de rocas del Cretácico superior y el Paleógeno diferenciadas en las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. Las prolongaciones occidentales de los estratos rocosos de estas unidades se encuentran cubiertos por el depósito fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá, diferenciado en esta área en el Complejo de Conos, la Formación Sabana y Depósitos de Llanura de Inundación. Adicionalmente, sobre la parte baja de la ladera de la zona montañosa, se encuentran algunos depósitos de coluvión que cubren parcialmente las rocas de las unidades mencionadas.

Se encuentran igualmente presentes en el área de influencia indirecta (AII) las fallas Facatativá-San Cristóbal y Santa Bárbara de dirección WNW-ESE, al igual que la Falla Tunal de dirección ENE-SWS. Las trazas de las fallas Facatativá-San Cristóbal y Santa Bárbara se aprecian en los cerros orientales de la ciudad, encontrándose sus prolongaciones occidentales cubiertas por el depósito fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá. El trazo de la Falla Tunal, apreciable en los cerros del sur de la ciudad, se prolonga hacia el nororiente bajo el depósito fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá.

5.2.1.2.2 Estratigrafía

En la parte baja de la ladera occidental de los cerros orientales de Bogotá, localizados en el área de influencia indirecta del Proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá, afloran rocas sedimentarias con edades del Cretácico superior y el Paleógeno, diferenciadas en las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. En la zona plana de la Sabana de Bogotá localizada dentro de esta misma área se encuentran depósitos cuaternarios diferenciados en Complejo de Conos, Formación Sabana y depósitos de Llanura de Inundación y de coluvión (Figura 5.2.1-1 y Plano de Geología del Área de Influencia Indirecta- Planta: ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0001_RA).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

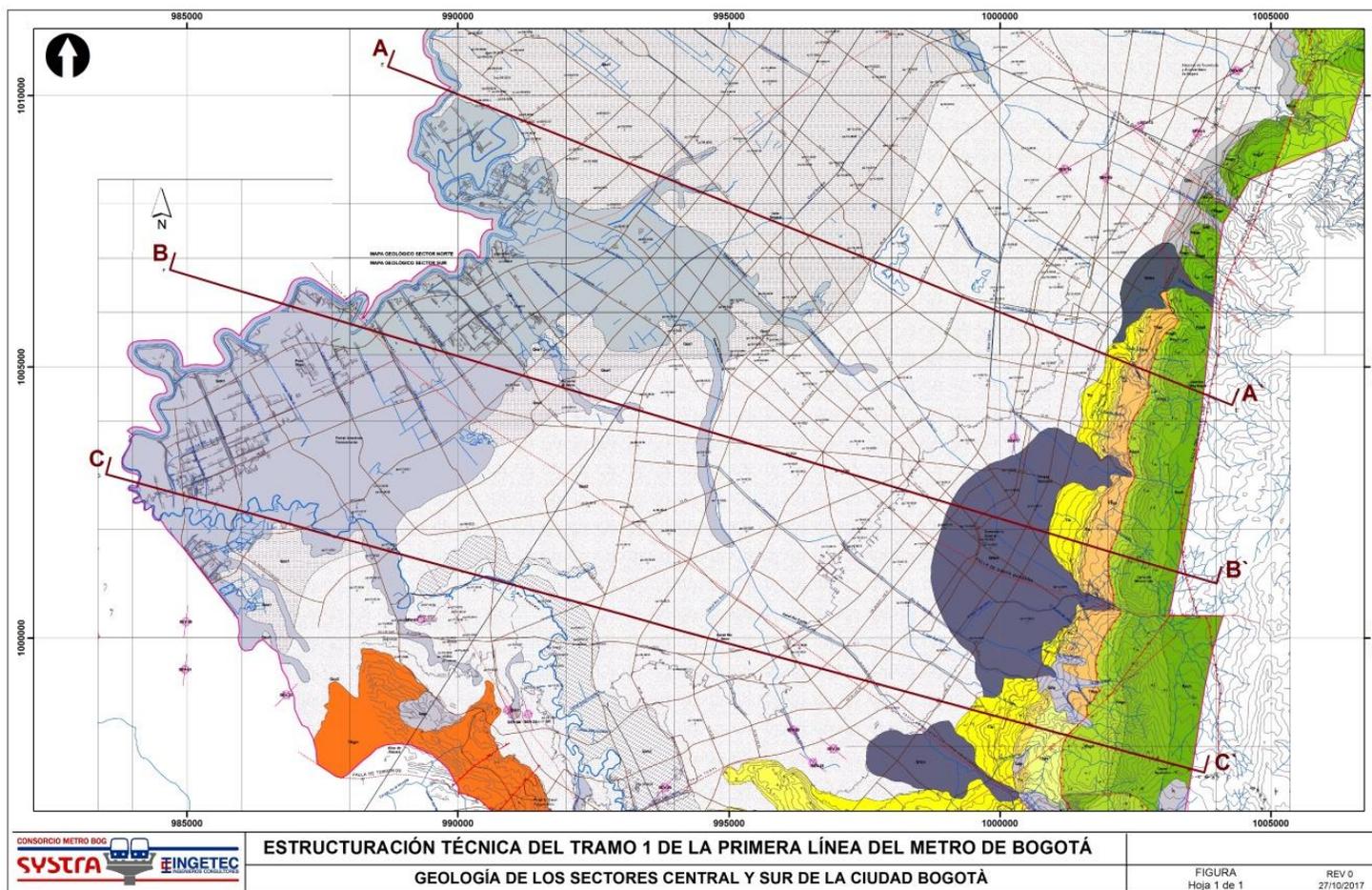


Figura 5.2.1-1 Geología de los sectores central y sur de la ciudad de Bogotá
 Fuente: “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital”, de la Secretaría Distrital de Ambiente, 2012

5.2.1.2.3 *Cretácico - Paleógeno*

Rocas del Cretácico superior y Paleógeno (Terciario inferior) diferenciadas en las formaciones Guaduas, Cacho, Bogotá, Arenisca de La Regadera y Usme, afloran en los cerros orientales y del sur de Bogotá.

- Formación Guaduas (Ktg)

Aflora en los cerros de Suba y en el piedemonte de los cerros orientales y del sur de la ciudad de Bogotá. Esta unidad consta de tres conjuntos litológicos: a) El conjunto inferior conformada por arcillolitas y areniscas de grano fino, de 70 m de espesor, b) El conjunto intermedio constituido por areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a grueso, con intercalaciones de arcillolita y un manto de carbón de 0,4 m de espesor, de 60 m de espesor, y c) Un conjunto superior conformado por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso y mantos de carbón. El conjunto intermedio e considera importante como acuífero.

La Formación Guaduas supra-yace mediante contacto neto y concordante a la Formación Labor-Tierna del Grupo Guadalupe e infra-yace igualmente mediante contacto neto y concordante a la Formación Cacho.

- Formación Cacho (Tpc)

La Formación Cacho aflora en el piedemonte de los cerros orientales de Bogotá. Está constituida por areniscas de color amarillo rojizo, de grano grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0,1 a 2,0 m. Esta unidad cuenta con un espesor de 50 m, supra-yace a la Formación Guaduas e infra-yace a la Formación Bogotá y es importante como acuífero.

- Formación Bogotá (Tpb)

Consta de dos conjuntos: a) El inferior conformado por alternancia de arcillolitas y areniscas cuarzo-feldespáticas, gris verdosas, de grano fino hacia la base y grueso hacia el tope, con un espesor de 620 m, y b) El superior constituido por arcillolitas gris oscuro, gris verdoso y marrón por meteorización; su espesor sobrepasa los 100 m.

La Formación Bogotá supra-yace a la Formación Cacho e infra-yace a la Formación Arenisca de La Regadera. La litología de esta formación genera una morfología suave, de valles debido a las intercalaciones de bancos de arcillolitas de variados colores, con esporádicas crestas, formadas por areniscas.

- Formación Arenisca de La Regadera (Tpr)

La Formación Arenisca de La Regadera aflora en la parte media del valle del río Tunjuelo; está constituida por capas de arenisca de cuarzo y fragmentos líticos, de color gris claro, con abundante matriz arcillosa e intercalaciones de arcillolitas blandas y plásticas, de color gris claro a oscuro, las cuales predominan hacia el tope de la unidad. Su espesor es de 360 m. Supra-yace a la Formación Bogotá e infra-yace a la Formación Usme. Genera una morfología de colinas alineadas, redondeadas.

- Formación Usme (Tsu)

Aflora al sur de la ciudad y está constituida por limoitas y arcillolitas de colores gris oscuro y amarillo por meteorización, en bancos de 4 a 20 metros de espesor, con intercalaciones locales de areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio. En la parte superior de la unidad, se encuentran numerosas capas de lignito y remanentes orgánicos. La parte que aflora tiene un espesor de 150 metros. La Formación Usme supra-yace discordantemente la Formación Arenisca de La Regadera y se encuentra cubierta discordantemente por depósitos cuaternarios.

5.2.1.2.4 Cuaternario

Los depósitos cuaternarios en el área de influencia indirecta se diferencian en las unidades: Complejo de Conos, Formación Sabana, depósitos de llanura de inundación y depósitos de coluvión. Adicionalmente se diferencian depósitos de origen antrópico y los suelos residuales (Figura 5.2.1-8).

- Complejo de conos (Qcc)

Esta unidad comprende depósitos de origen fluvial que forman conos y abanicos aluviales explayados y aterrizados con suaves pendientes (Carvajal *et al*, 2005), como los conos del río Tunjuelo y de Terreros, flujos torrenciales y los conos del piedemonte oriental de Bogotá como los de San Cristóbal y Claret, entre otros. La composición, textura espesor y la edad son variables y se difieren para cada depósito de acuerdo a las fuentes de aporte, distancia y tipo de transporte. En general esta unidad se componen de bancos de bloques, guijarros y guijos dentro de una matriz areno arcillosa en las zonas apicales y hacia las partes distales se encuentran materiales predominantemente arenosos y limo arcillosos, muy interdigitados con los depósitos fluvio lacustres

El cono del río Tunjuelo, también denominado como Formación Río Tunjuelo (Helmens& Van der Hammen, 1995) se encuentra a lo largo del piedemonte suroriental de la ciudad, en el valle del río Tunjuelo, entre Yomasa y la Escuela de Artillería. Está compuesto por sedimentos de grano grueso que comprenden bloques y gravas de areniscas, limolitas y chert, dentro de una matriz arenarcillosa poco consolidada, con intercalaciones de arenas, arcillas, arcillas orgánicas, arcillas turbosas y turbas Fotografía 5.2.1-1. Las gravas son redondeadas, gradadas, con diámetros de hasta 40 cm. En ciertas localidades adyacentes al río Tunjuelo, los niveles de gravas pueden tener espesores de hasta 80 m. Localmente se presentan niveles lenticulares de arena y de limo-arcilloso. Su espesor se estima en unos 100 m. La edad para este depósito determinada por datos palinológicos y dataciones de carbono 14 es del Pleistoceno para la parte más superior (Helmens& Van der Hammen, 1995). Sin embargo Van der Hammen (2003) considera, que toda la Formación Río Tunjuelo es del Pleistoceno.



Fotografía 5.2.1-1 Depósito de bloques y gravas en matriz areno-arcillosa de la zona proximal del cono del Tunjuelo

- Formación Sabana (Qsa)
- Depósitos de llanura de inundación (Qli)

Llamada también Formación Chía por Helmens (1990), corresponde a depósitos aluviales recientes de los ríos Bogotá, Tunjuelo, Fucha, Juan Amarillo y afluentes, constituidos por arcillas, limos y arenas, depositados sobre la secuencia de la Formación Sabana; se encuentran inter-digítados con los sedimentos distales de los conos y abanicos.

- Depósitos de coluvión (Qc)

Son los depósitos productos de la fracturación, meteorización y erosión de rocas pre-existentes que han tenido transporte por acción del agua y la gravedad y se han depositado en las partes media e inferior de las laderas de los cerros orientales de Bogotá. Se presentan en los piedemontes oriental, suroriental y suroccidental del área. Estos depósitos están conformados por bloques angulares a sub-angulares de diferentes tamaños, embebido en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa (Carvajal *et al.*, 2005). Los depósitos de coluvión forman conos coluviales y lóbulos de soliflujión.

- Depósitos de origen antrópico (Qr)

Corresponde a los rellenos con materiales sobrantes de excavaciones o materiales de demolición de construcciones que fueron acumulados principalmente en zonas deprimidas y de humedal para

la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico de la ciudad. De igual manera comprende los rellenos sanitarios, con la basura que produce la ciudad y los materiales de base y sub-base para la construcción de las vías de la ciudad. Se destacan los rellenos sanitarios de El Cortijo, Gibraltar, Santa Cecilia y Doña Juana.

- Suelo residual (Qsr)

Es el material producto de la meteorización de las rocas terciarias de las formaciones Guaduas, Bogotá y Usme, que no ha tenido transporte y son importantes por su espesor, que alcanza hasta los 10 m. Se presentan especialmente en la parte sur de la ciudad, en superficie y bajo los depósitos cuaternarios. En el trazado de la PLMB, se encuentran sobre la Formación Bogotá.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

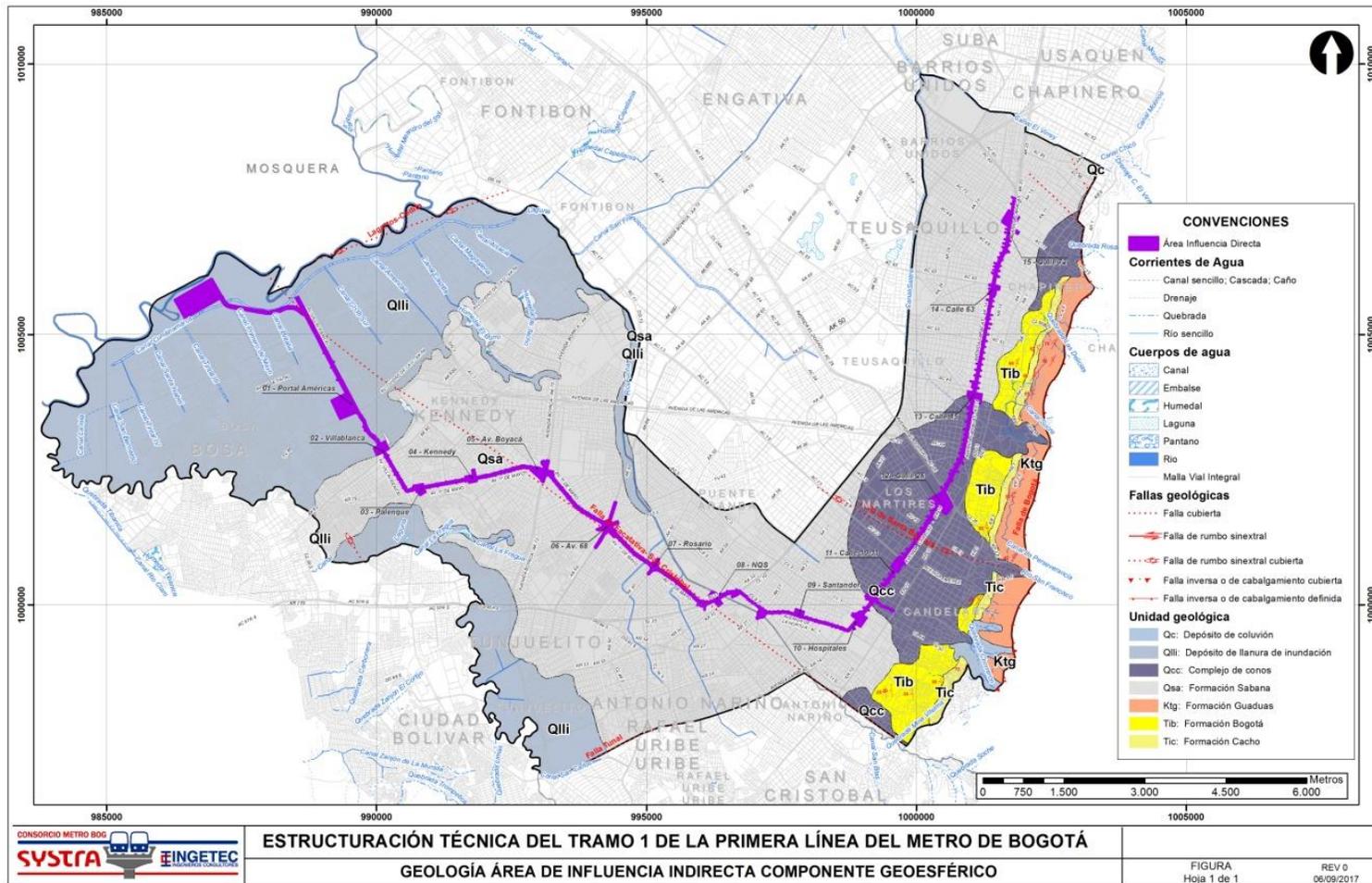


Figura 5.2.1-2 Geología general del Área de Influencia Indirecta del proyecto

Fuente: adaptado y modificado del Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital, de la Secretaría Distrital de Ambiente, 2012

5.2.1.2.5 Geología Estructural

La geometría de la cuenca de la Sabana de Bogotá corresponde a un sinclinorio en el que las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno que hacen parte del basamento sobre el cual se dispone discordantemente gran el relleno cuaternario de la Sabana, se encuentran plegadas, formando anticlinales angostos y sinclinales amplios, en general deformados por fallas longitudinales de cabalgamiento de dirección general NNE-SSW, con buzamiento al oriente y vergencia al occidente. Además de las fallas de cabalgamiento se presentan fallas verticales de dirección general WNW-ESE y ENS-SWS, que sirven como rampas laterales, a las que se le puede atribuir la conformación de bloques hundidos y levantados.

En el sector suroriental de la cuenca, en los cerros orientales y del sur de la ciudad de Bogotá, afloran rocas del Cretácico superior de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna, al igual que rocas del Cretácico superior y el Paleógeno de la Formación Guaduas, y rocas del Paleógeno de las formaciones Cacho, Bogotá, Regadera y Usme. Estas rocas se encuentran afectadas por varias estructuras, dentro de las cuales cabe mencionar el anticlinal de Bogotá y los sinclinales de Usme-Tunjuelo y de Suba, al igual que las fallas de Bogotá, Río Tunjuelo, Mochuelo, Tunal, Facatativá-San Cristóbal y Santa Bárbara. En el Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0001_RA se ilustra las estructuras geológicas principales asociadas al Área de Influencia Indirecta del proyecto PLMB.

En la Figura 5.2.1-3 se presentan tres secciones geológicas donde se muestran las unidades litoestratigráficas presentes en el sector suroriental de la cuenca de la Sabana de Bogotá y las estructuras que las afectan. De estas estructuras solo se encuentran en el área de influencia indirecta las trazas de las fallas de Bogotá, Facatativá-San Cristóbal, Santa Bárbara y Tunal.

- Falla de Bogotá

Es una falla de cabalgamiento orientada con rumbo general N10°E, buzamiento al oriente de 15 a 20 grados y vergencia al occidente. Se extiende desde el Páramo de Sumapaz hasta el norte de la ciudad y probablemente continué más al norte fosilizada por los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.

Corta el flanco occidental del anticlinal de Bogotá, bordeando los cerros orientales de Bogotá. Desde el sector de Usme hasta Usaquén, el salto va disminuyendo progresivamente, de manera tal que al sur traslapa rocas de la Formación Labor-Tierna sobre rocas de la Formación Bogotá y luego al norte rocas de esta misma unidad sobre las formaciones Cacho y Guaduas.

- Falla del Río Tunjuelo

Es una falla inversa, de dirección general N10°E a N35°W, que sigue aproximadamente el curso del río Tunjuelo, con buzamiento al occidente y vergencia al oriente, la cual junto con la Falla Bogotá, prácticamente delimitan el Sinclinal de Usme-Tunjuelo. Esta falla afecta el contacto entre las unidades Arenisca de La Regadera y Usme, destacándose su trazo morfológicamente desde el embalse de la Regadera hasta la localidad de Usme. En el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS, 1995), reporta indicios moderados de actividad neotectónica, frente a la localidad de Usme.

- Falla Mochuelo

Es una falla inversa, orientada según rumbo N30°-35°W, con buzamiento al suroccidente y vergencia al noreste, que parece ser la continuación hacia el W de la Falla del Río Tunjuelo.

- Falla Tunal

Es una falla de dirección N60°-65°E que se expresa morfológicamente en los cerros del sur de Bogotá y se prolonga hacia NE bajo los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá, al parecer hasta la Falla de San Cristóbal.

- Falla Facatativá - San Cristóbal

Es una falla transversal al tren estructural de la Cordillera Oriental, de orientación general N51°W que corta la Falla de Bogotá al sur de la ciudad y controla el curso de la quebrada San Cristóbal, que desciende por la vertiente occidental de los cerros orientales de Bogotá. Además de cortar el trazo de la Falla Bogotá, también corta rocas de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-Tierna, Guaduas, Cacho y Bogotá (por fuera del AII), continuando hacia el occidente fosilizada por los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.

- Falla de Santa Bárbara

Es una falla de rumbo con movimiento sinistral, orientada en dirección N70-75°W, vertical, que en los cerros orientales de Bogotá controla el curso del río San Francisco antes de llegar a la Sabana. Marca como rasgo principal el cambio en la orientación de la inclinación de las capas de las unidades rocosas al occidente de la falla de Bogotá. Se calcula un desplazamiento horizontal de aproximadamente 100 m.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

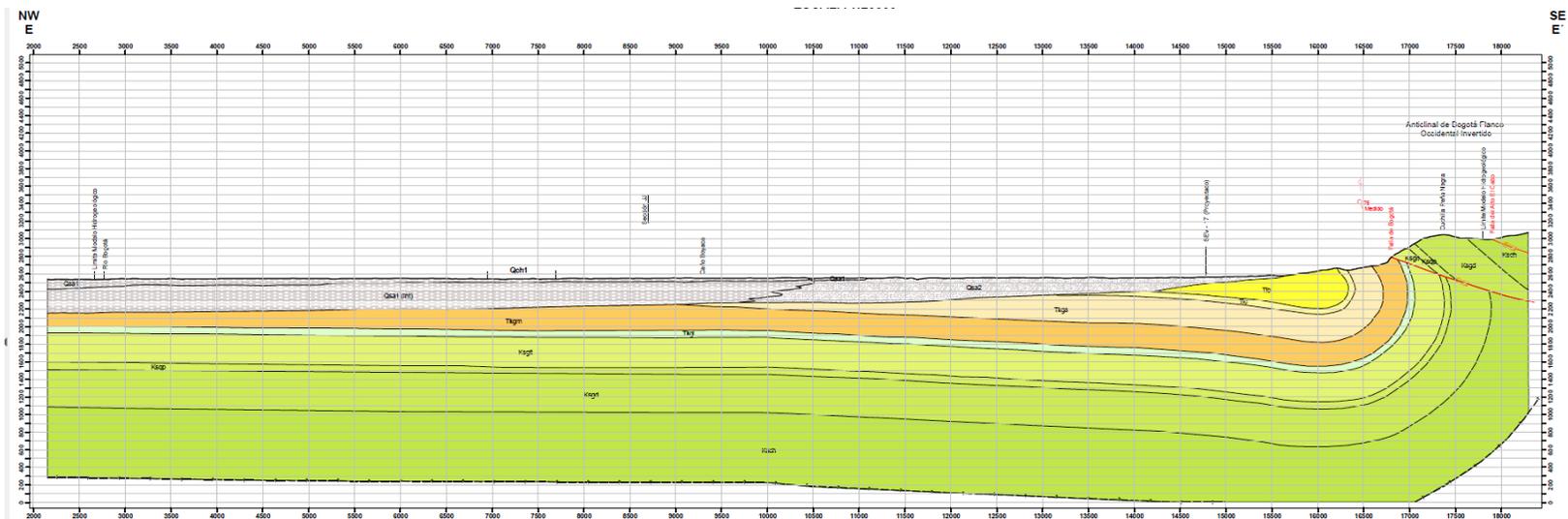


Figura 5.2.1-3 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección AA (Escala 1:25000).

Fuente: Adaptado y modificado de “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital”, de la Secretaría Distrital de Ambiente, 2013.

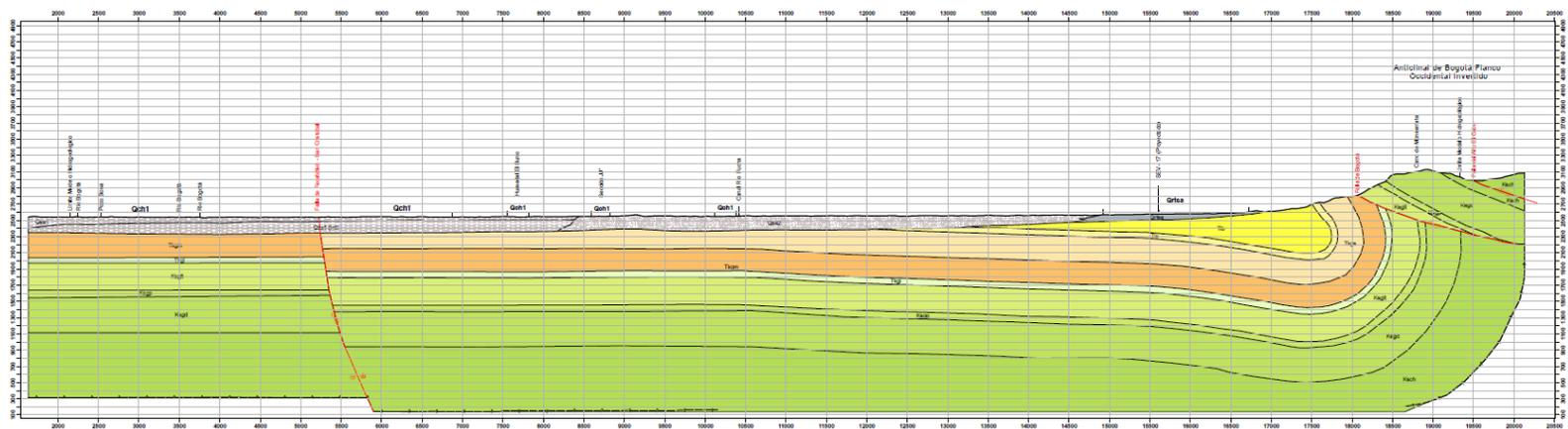


Figura 5.2.1-4 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección B-B' (Escala 1:25000)

Fuente: Adaptado y modificado de “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital”, de la Secretaría Distrital de Ambiente, 2013

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

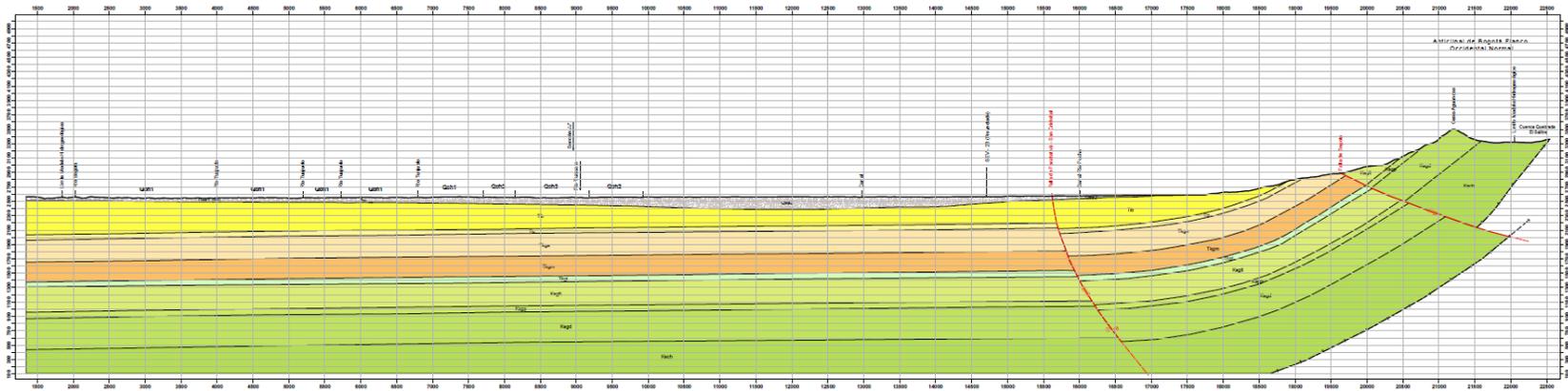


Figura 5.2.1-5 Secciones geológicas en el Área de Influencia Indirecta. Sección C-C' (Escala 1:25000)

Fuente: adaptado y modificado de "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital", de la Secretaría Distrital de Ambiente, 2013

5.2.1.2.6 Geología área de influencia directa -AID

El área de influencia directa está determinada por el corredor de la primera línea del metro y la infraestructura asociada correspondiente a las estaciones, los predios del Patio-Taller, el Ramal Técnico y la cola de operaciones de retorno (Ver Plano de Geología del Área de Influencia Directa-Planta: ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0002-RA), se encuentran los sedimentos que conforman las unidades denominadas Complejo de Conos, la Formación Sabana, al igual que los depósitos de llanura de inundación y depósitos de origen antrópico. En las perforaciones realizadas a lo largo del corredor de la PLMB, se han encontrado rocas de la Formación Bogotá cubiertas discordantemente por los sedimentos de la Formación Sabana (Ver Plano de Geología del Área de Influencia Directa- Planta: ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0002-RA).

A continuación se amplía la descripción de las unidades geológicas presentes en el área de influencia directa del proyecto.

5.2.1.2.6.1 Formación Bogotá

La Formación Bogotá está conformada en la parte inferior por un conjunto de 620 m de espesor de arcillolitas inter-estratificadas con estratos de areniscas cuarzo-feldespáticas, gris verdosas, de grano fino hacia la base y grueso hacia el tope, seguida en la parte superior por arcillolitas de color gris oscuro, gris verdoso y marrón por meteorización, con un espesor que sobrepasa los 100 m. En las perforaciones exploratorias ejecutadas a lo largo del corredor de la PLMB, la Formación Bogotá se encuentra conformada por arcillolitas y limolitas marrón y rojizas.

Estratigráficamente la Formación Bogotá supra-yace a la Formación Cacho e infra-yace a la Formación Arenisca de La Regadera, pero en las perforaciones exploratorias de la PLMB, se encontró cubierta por sedimentos de la Formación Sabana.

5.2.1.2.6.2 Complejo de conos (Qcc)

Conformada por depósitos de origen fluvial que forman abanicos aluviales explayados y localmente aterrizados, con suaves pendientes, dentro de los que se encuentran los del río Tunjuelo, Terreros y piedemonte oriental de Bogotá, como los de San Cristóbal y Claret entre otros. El cono del río Tunjuelo, también denominado como Formación Río Tunjuelo, se encuentra a lo largo del piedemonte sur-oriental de la ciudad, en el valle del río Tunjuelo, entre Yomasa y la Escuela de Artillería.

El Complejo de Conos está compuesto por bloques y gravas de areniscas, limolitas y chert, dentro de una matriz areno-arcillosa poco consolidada. Las gravas son redondeadas y gradadas, localmente presenta niveles lenticulares de arena y de limo-arcilloso. Su espesor se estima en unos 100 m.

5.2.1.2.6.3 Formación Sabana (Qsa)

La Formación Sabana está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones de lentes de arena y grava, cenizas volcánicas, arcillas orgánicas, arcillas arenosas y turba-lignito. Localmente los dos metros superiores presentan un complejo de suelos constituidos por cenizas volcánicas. Los niveles arenosos y de grava son importantes para el almacenamiento de agua. El espesor total de la unidad alcanza los 320 m, según pudo verificarse en el pozo Funza II (Helmes & Van der Hammen, 1995; en INGEOMINAS, 2005).

En las perforaciones exploratorias de hasta 75 m de profundidad, ejecutadas a lo largo del corredor de la PLMB, la parte superior de la Formación Sabana se encuentra conformada en general por una secuencia de arcillas, arcillas limosas, arcillas ligeramente arenosas a arenosas, con intercalaciones de arenas, arenas ligeramente arcillosas a arcillosas, arenas y gravas, gravas, arcilla rica en materia orgánica y turba. Las arcillas son de color marrón, gris y negro principalmente. Las arenas son cuarzosas, finas a medias principalmente, angulares a sub-redondeadas, de color gris. Las gravas son redondeadas a angulares, derivadas principalmente de areniscas cuarzosas.

5.2.1.2.6.4 Depósitos de llanura de inundación (Qlla)

Los depósitos de llanura de inundación están conformados por arcillas y limos, con intercalaciones de arenas finas a medias, depositados por los ríos Bogotá y Tunjuelo sobre la secuencia cuaternaria que hace parte de la Formación Sabana.

5.2.1.2.6.5 Depósitos de origen antrópico

Constituidos por escombros, residuos de construcción y basuras que produce la ciudad, cubiertos por lodos de floculación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. También se incluyen dentro de estos depósitos tanto los materiales para conformar la base y sub-base de las vías por donde discurre el trazado de la PLMB, como los pavimentos de las mismas. Los materiales de la base y sub-base de las vías, en general corresponden a gravas, arenas y arcilla. El espesor de estos depósitos es variable, alcanzando los 6 m en las perforaciones ejecutadas para la PLMB.

5.2.1.2.7 Principales estructuras a lo largo del Trazado PLMB

En el área de influencia directa, las rocas de la Formación Bogotá y de las unidades infra-yacentes pueden estar afectadas por las fallas de San Cristóbal y Santa Bárbara.

5.2.1.2.8 Falla Tunal

Es una falla de dirección N60°-65°E que se expresa morfológicamente en los cerros del sur de Bogotá y se prolonga hacia NE bajo los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.

5.2.1.2.9 Falla San Cristóbal

Se expresa morfológicamente en la zona de los cerros orientales de Bogotá, controlando el curso del río San Cristóbal y se prolonga hacia el NW bajo los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá. Es una falla de rumbo, de desplazamiento lateral izquierdo de aproximadamente 300 m, vertical, de dirección N50°-55°W.

5.2.1.2.10 Falla Santa Bárbara

La Falla Santa Bárbara es de rumbo, de movimiento lateral izquierdo calculado aproximadamente en 100 m, vertical, de dirección EW a N70°-75°W, que en los cerros orientales de Bogotá controla el curso del río San Francisco antes de llegar a la Sabana.

5.2.1.2.11 Sectorización geológica trazado primera línea Metro Bogotá

El corredor de la PLMB ha sido dividido en dos tramos: El Tramo 1 comprendido entre el Patio-Taller y la Calle 26 y el Tramo 2 comprendido entre la Calle 26 y la Calle 80. A su vez el Tramo 1 fue subdividido en cuatro sub-tramos y el Tramo 2 fue subdividido en dos sub-tramos.

Las secciones geológicas elaboradas a lo largo del trazado de la PLMB, con base en la información de las perforaciones exploratorias ejecutadas por el Consorcio L1, se presentan en el Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA. Con base en esta información se describe cada uno de los sub-tramos, de los dos tramos en que fue dividido el trazado de la PLMB, con fines constructivos.

5.2.1.2.12 Tramo 1

El Tramo 1 se dividió en cuatro sub-tramos: i) Sub-tramo 1: Patio-Taller – Avenida Cali, ii) Sub-tramo 2: Avenida Cal – Avenida Boyacá, iii) Sub-tramo 3: Avenida Boyacá – Intersección entre la Calle 8 y la Calle 1ª, iv) Sub-tramo 4: Intersección entre la Calle 8 y la Calle 1ª – Calle 26.

- Sub-tramo 1:

El Sub-tramo 1, se extiende sobre la Avenida Villavicencio, desde el Patio-Taller hasta la Avenida Cali (K0+550), sobre el depósito de llanura de inundación del río Bogotá, el relleno sanitario Gibraltar y los materiales de afirmado, sub-base, base y pavimento de la Avenida Villavicencio. El depósito de llanura de inundación se dispone sobre los sedimentos de la Formación Sabana.

El relleno sanitario Gibraltar se cataloga como un depósito de origen antrópico, conformado por basuras de la ciudad. Los materiales de afirmado, sub-base, base y pavimento de la Avenida Villavicencio también constituyen un depósito de origen antrópico, constituido por fragmentos angulares de arenisca, tamaño grava, en matriz arenosa y areno-arcillosa, con un espesor variable, que en algunas de las perforaciones ejecutadas en este sub-tramo alcanza los 6,8 m de espesor.

El depósito de llanura de inundación está conformado fundamentalmente por arenas, limos y arcillas (Perfil Geotécnico Longitudinal Tramo 1, Consorcio L1, 2014). Las arenas son cuarzosas, finas a medias, ligeramente limosas, de colores café y gris. Los limos son arenosos, localmente con gravas de arenisca cuarzosa, de colores gris y café. Las arcillas son limosas de color gris.

De acuerdo a la perforación PT-ALO-01 la Formación Sabana está conformada en este sector por una secuencia de arcillas y arcillas limosas, con intercalaciones de niveles lenticulares de arenas finas a medias. Ver Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA.

- Sub-tramo 2:

El Sub-tramo 2, se extiende sobre la Avenida Villavicencio y la Avenida 1° de Mayo, desde la Avenida Cali (K0+550) hasta la Avenida Boyacá (K4+850), sobre relleno de origen antrópico, depósitos de la llanura de inundación del río Bogotá y la Formación.

El relleno de origen antrópico comprende los materiales de afirmado, sub-base, base y pavimento de la Avenida Villavicencio y la Avenida 1° de Mayo, el cual está conformado por fragmentos angulares de arenisca, tamaño grava, en matriz arenosa y areno-arcillosa, con un espesor de 6,8 m acorde con las perforaciones ejecutadas en este sub-tramo.

El depósito de llanura de inundación está conformado fundamentalmente por arenas, limos y arcillas. Las arenas son cuarzosas, finas a medias, ligeramente limosas, de colores café y gris. Los

limos son arenosos, localmente con gravas de arenisca cuarzosa, de colores gris y café. Las arcillas son limosas de color gris.

La Formación Sabana está conformada por una secuencia de niveles de espesor variable e intercalados de arcillas, arcillas limosas, arcillas ricas en materia orgánica, arenas, arenas ligeramente arenosas a arenosas, gravas, y turba. Las arcillas son de color café, gris y marrón; las arenas son finas a medias, de cuarzo, de color gris y gris parduzco y las gravas son redondeadas, de arenisca.

El Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA contiene la sección longitudinal del trazado de la PLMB para cada uno de los subtramos en detalle, con base en la información primaria y secundaria disponible.

- Sub-tramo 3:

El Sub-tramo 3 se extiende sobre la Avenida 1° de Mayo, la Avenida NQS y la Calle 8ª Sur, desde la Avenida Boyacá (K4+850) hasta la intersección de la Calle 8ª y la Calle 1ª (K10+000), sobre relleno de origen antrópico y la Formación Sabana.

El relleno de origen antrópico comprende los materiales de afirmado, sub-base, base y pavimento de las vías mencionadas, por fragmentos angulares de arenisca, tamaño grava, en matriz arenosa y areno-arcillosa, con un espesor variable, que en algunas de las perforaciones ejecutadas en este sub-tramo alcanza los 6,8 m de espesor.

La Formación Sabana está conformada por una secuencia de niveles de espesor variable e intercalados de arcillas, arcillas limosas, arcillas ricas en materia orgánica, arenas, arenas ligeramente arenosas a arenosas, gravas, y turba. Las arcillas son de color café, gris y marrón; las arenas son finas a medias, de cuarzo, de color gris y gris parduzco y las gravas son redondeadas, de arenisca. Ver Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA.

- Sub-tramo 4:

El Sub-tramo 3 se extiende sobre la Avenida Calle 1ª y la Avenida Caracas, desde la intersección de las Calles 8ª Sur y 1ª (K10+000) hasta la Calle 26 (K14+700), sobre depósitos del Complejo de Conos y la Formación Sabana. En las Perforaciones se encontró la Formación Sabana supra-yaciendo discordantemente la Formación Bogotá

El Complejo de Conos está compuesto por bloques y gravas de areniscas, limolitas y chert, dentro de una matriz areno-arcillosa poco consolidada. Las gravas son redondeadas y gradadas, localmente presenta niveles lenticulares de arena y de limo-arcilloso.

La Formación Sabana está conformada por una secuencia de niveles de espesor variable e intercalados de arcillas, arcillas limosas, arcillas ricas en materia orgánica, arenas, arenas ligeramente arenosas a arenosas, gravas, y turba. Las arcillas son de color café, gris y marrón; las arenas son finas a medias, de cuarzo, de color gris y gris parduzco y las gravas son redondeadas, de arenisca. Ver Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA.

La Formación Bogotá se encuentra conformada por estratos de arcillolita y limolita de colores marrón rojizo.

5.2.1.2.13 Tramo 2

El Tramo 1 se dividió en dos sub-tramos: i) Sub-tramo 1: Calle 26 (K14+700) – Estación de la Calle 57 de Transmilenio (K18+000), ii) Sub-tramo 2: Estación de la Calle 57 de Transmilenio (K18+000) – Calle 80 (K20+308).

- Sub-tramo 1

El Sub-tramo 1 se extiende sobre la Avenida Caracas desde Calle 26 (K14+700) hasta la Estación de la Calle 57 de Transmilenio (K18+000), sobre depósitos del Complejo de Conos y la Formación Sabana.

El Complejo de Conos está compuesto por bloques y gravas de areniscas, limolitas y chert, dentro de una matriz areno-arcillosa poco consolidada. Las gravas son redondeadas y gradadas, localmente presenta niveles lenticulares de arena y de limo-arcilloso. En algunas perforaciones se encontró la Formación Sabana apoyada discordantemente sobre la Formación Bogotá.

La Formación Sabana está conformada por una secuencia de niveles de espesor variable e intercalados de arcillas, arcillas limosas, arcillas ricas en materia orgánica, arenas, arenas ligeramente arenosas a arenosas, gravas, y turba. Las arcillas son de color café, gris y marrón; las arenas son finas a medias, de cuarzo, de color gris y gris parduzco y las gravas son redondeadas, de arenisca. Ver Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA.

- Sub-tramo 2

El Sub-tramo 1 se extiende sobre la Avenida Caracas desde la Estación de la Calle 57 de Transmilenio (K18+000) hasta la Calle 80 (K20+308) sobre la Formación Sabana.

La Formación Sabana está conformada por una secuencia de niveles de espesor variable e intercalados de arcillas, arcillas limosas, arcillas ricas en materia orgánica, arenas, arenas ligeramente arenosas a arenosas, gravas, y turba. Las arcillas son de color café, gris y marrón; las arenas son finas a medias, de cuarzo, de color gris y gris parduzco y las gravas son redondeadas, de arenisca. Ver Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA.

5.2.1.2.14 Características geológicas del área del Patio-Taller

El área del Patio-Taller predio El Corzo, localizado al suroccidente de la ciudad de Bogotá en la localidad de Bosa, sobre la margen izquierda del río Bogotá. El predio, tiene una extensión total de 77,6 hectáreas, limita por el norte y oriente con el río Bogotá, por el sur con el canal Cundinamarca y por el occidente con el río Bogotá y con predios privados, en la Figura 5.2.1-17 se ilustra el diseño funcional contemplado para el Patio-Taller acorde con los diseños conceptuales del proyecto PLMB.

La zona del predio El Corzo está integrada por la zona de ronda del río Bogotá, la cual tiene una extensión de 40 hectáreas que corresponde al 51,5% del área total del predio. De acuerdo con las perforaciones exploratorias ejecutadas se registra un depósito de hasta 6,0 m de espesor, conformado por arcilla localmente limosa, arcilla limosa, arcilla ligeramente arenosa y arcilla arenosa, de colores negro marrón y marrón oscuro amarillento. Estos materiales corresponden a los depósitos de inundación (Qlla) del río Bogotá. Véase Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0001_RA.

El depósito de llanura de inundación está conformado en general por arenas ligeramente arcillosas y arcillas. Las arenas son cuarzosas, finas a medias, angulares a sub-angulares, bien

seleccionadas. Las arcillas son localmente limosas, en general de color negro marrón y marrón oscuro amarillento.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

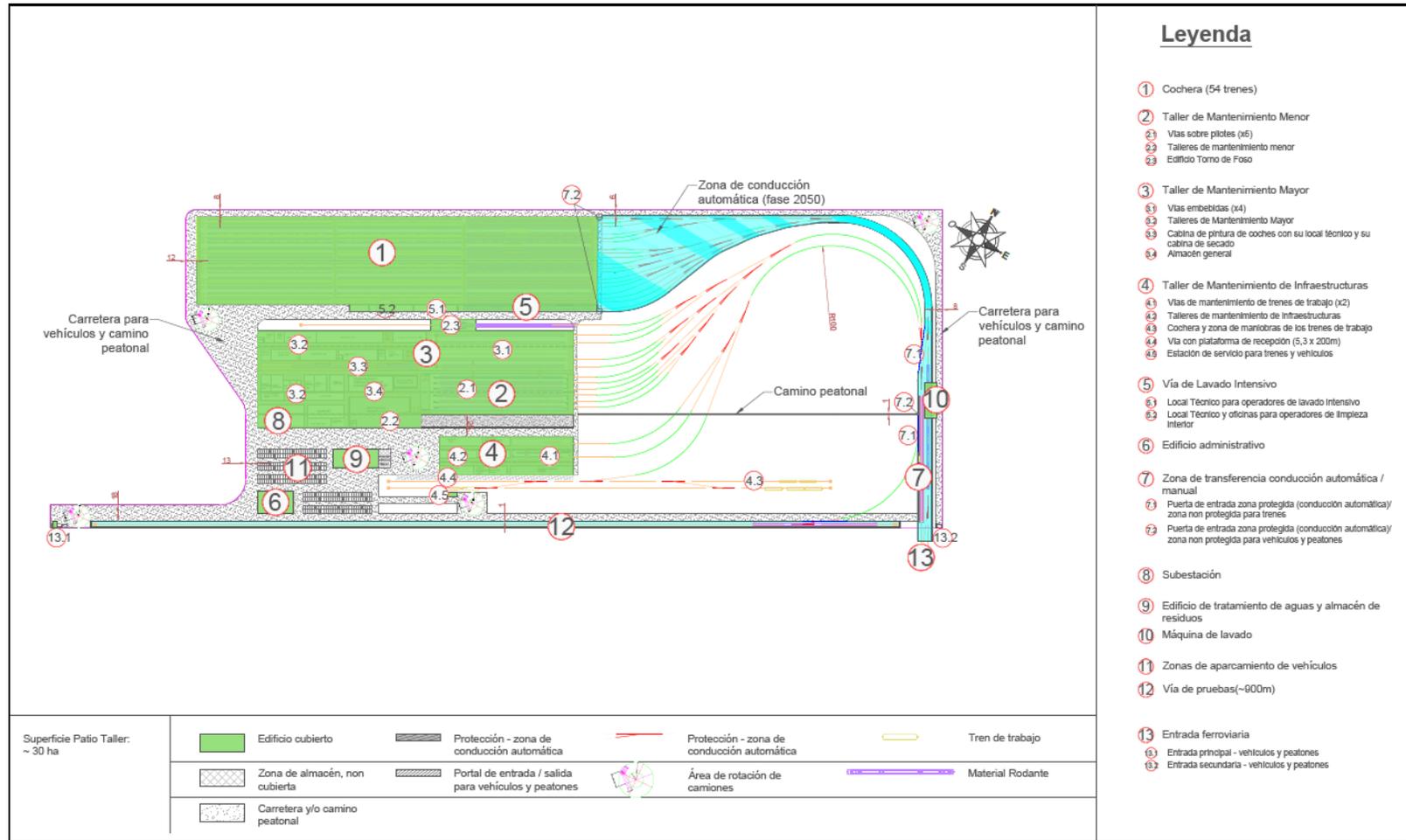


Figura 5.2.1-6 Diseño Funcional Patio-Taller PLMB

Fuente: adaptado y modificado Estructuración técnica PLMB Anexo 5.2.1.15 Plano ETPLMB-ET14-L00-PLA-J-0001_RA

5.2.1.2.15 Incidencia de las estructuras geológicas en la PLMB

De acuerdo a la información disponible publicada por el SGC, con excepción de la Falla del Río Tunjuelo, las fallas geológicas regionales de dirección NEN-SWS y las transversales de dirección NW-SE y NE-SW que afectan la secuencia de rocas sedimentarias plegadas del Cretácico y Terciario (Paleógeno y Neógeno) que conforman el basamento sobre el cual se apoya el depósito fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá y que además afloran tanto en los cerros que la bordean como en los localizados dentro de ella, solo afectan las rocas, más no al depósito cuaternario.

La falla Bogotá, cuya traza en el área de influencia indirecta se localiza a lo largo del piedemonte de los cerros orientales de la ciudad, desde el sur hasta el sector de Usaquén, continúa hacia el norte bajo el depósito cuaternario, sin evidencias de estar afectándolo. Igual ocurre con las fallas de dirección NW-SE y NE-SW, cuyas trazas se cartografiaron en los cerros que bordean la Sabana, se prolongan bajo el depósito cuaternario, sin afectarlo.

Las proyecciones en superficie de las fallas Tunal, San Cristóbal y Santa Bárbara que atraviesan la zona de influencia directa de la PLMB, no muestran evidencias de actividad reciente que hayan producido deformaciones en el depósito cuaternario de la Sabana, o al menos no hay información que indique lo contrario.

5.2.1.3 Geomorfología

El PLMB se ubica en la zona urbana de la ciudad de Bogotá, la cual hace parte de la región de la Sabana de Bogotá, a una altura media de 2650 msnm, sobre el eje de la Cordillera Oriental. En la región de la Sabana se diferencian por tanto dos zonas, una plana y una montañosa. La zona plana corresponde en sentido estricto a la Sabana de Bogotá y la zona montañosa a la que fundamentalmente la rodea, aunque también se encuentra al interior de ella formando cerros alargados como los de Suba, Cota y de Tabio-Tenjo. La zona plana es drenada por el río Bogotá, fluye en sentido noreste-suroeste, junto con sus afluentes (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

La ciudad de Bogotá se localiza en el sector suroriental de la Sabana de Bogotá, extendiéndose principalmente sobre la zona plana, desde el río Bogotá hasta la parte baja de los cerros que la bordean por el oriente y el sur. Dentro de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá, al igual que la ciudad, se encuentran al oriente los cerros El Cable, Monserrate y Guadalupe, y al sur, los de Quiba y Cazucá.

El sector suroriental de la Sabana de Bogotá es drenado por los afluentes de la margen izquierda del río Bogotá, dentro de los cuales se encuentran los ríos Tunjuelo, San Cristóbal, Fucha, San Francisco, Arzobispo y Juan Amarillo entre otros.

5.2.1.3.1 Unidades morfo-genéticas área de influencia indirecta

De acuerdo a los lineamientos generales de la Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2011, publicación del Servicio Geológico Colombiano), los cuales se siguen para la descripción de los aspectos geomorfológicos del área de influencia indirecta del proyecto, ésta se localiza en la morfo-estructura correspondiente a la Cordillera Oriental, en la provincia geomorfológica conocida como Altiplano Cundiboyacense, en la región de la Sabana de Bogotá (ver Tabla 5.2.1-1, Figura 5.2.1-1 (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

Tabla 5.2.1-1 Unidades geomorfológicas

Morfo-estructura	Provincia	Región	Relieve	Paisaje	Nom	Ambiente		
Cordillera Oriental	Altiplano Cundiboyacense	Sabana de Bogotá	Zona plana	Plano inundable	Fpi	Fluvial		
				Terraza alta	Fta			
				Terrazas bajas	Ftb			
				Conos aluviales coalescentes	Fcac			
						Relleno sanitario	Arb	Antropogénico
			Zona Montañosa	Coluvios de remoción	Dcr	Denudacional		
				Ladera monoclinal crestada	Slmc	Estructural – Denudacional		

5.2.1.3.2 Morfoestructura

La Cordillera Oriental es uno de los tres ramales en que se divide el Sistema Cordillerano de Los Andes Colombianos. Se extiende en dirección suroeste-noreste desde el Nudo de Almaguer o Macizo Colombiano en el departamento del Cauca, hasta la Serranía de Perijá en el departamento de La Guajira. Entre su relieve se destaca el Altiplano Cundiboyacense y la Sierra Nevada del Cocuy.

5.2.1.3.3 Provincia morfológica

El Altiplano Cundiboyacense es un espacio de tierras altas y planas localizado en la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. El altiplano comprende tres regiones planas bien diferenciadas: la Sabana de Bogotá, los valles de Ubaté y Chiquinquirá y los valles de Tunja, Duitama y Sogamoso.

Presenta una temperatura promedio de 14°C, con variaciones térmicas diarias elevadas que puede oscilar entre los 0°C (temperatura baja) y los 24 C (temperatura alta). Las temporadas secas y lluviosas se alternan durante el año; los meses más secos van de diciembre a marzo; durante los meses más lluviosos, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre la temperatura es más estable, con oscilaciones entre los 9 C y los 20 C; junio, julio y agosto son los meses de fuertes vientos y mayor oscilación de la temperatura; durante el alba se suelen presentar muy bajas temperaturas, llamadas heladas, que afectan la agricultura. También es común la presencia de lluvias de granizo.

5.2.1.3.4 Región geomorfológica

El PLMB se ubica en la región de la Sabana de Bogotá, la cual posee una altura promedio de 2600 msnm y corresponde a la parte sur del Altiplano Cundiboyacense, la altiplanicie más extensa de Los Andes colombianos. Está bordeada por cerros, dentro de los cuales se encuentran los cerros orientales y del sur de Bogotá. Adicionalmente, dentro de la sabana sobresalen algunos cerros como los de Suba, Cota-Chia y Tabio-Tenjo (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA)

El río Bogotá, le da su nombre actual, la recorre de norte a sur y se precipita en sus estribaciones formando el Salto del Tequendama. La Sabana de Bogotá posee un sistema de lagunas naturales y ciénagas o humedales que funcionan como reguladores de la humedad. Actuando como "esponjas" de los caudales del río Bogotá y sus afluentes, sirven como depósitos y reservorios

naturales para la recolección de aguas pluviales y son un sistema natural de filtración y depuración del agua. Además, constituyen una destacada reserva de flora y fauna de la región.

Las ciénagas o humedales más importantes en la ciudad de Bogotá son los de La Conejera, El Burro, Jaboque, Santa María del Lago, Tibabuyes, Córdoba y Guaymaral. En el área metropolitana de la ciudad se encuentran la Laguna de La Herrera, el Humedal Gualí-Tres Esquinas y el sistema de humedales del municipio de Soacha, entre otros.

Tiene una temperatura promedio de 13,5°C, que puede oscilar entre los -5°C y los 26°C. Las temporadas secas y lluviosas se alternan durante todo el año; los meses más secos son diciembre, enero, febrero y marzo; durante los meses más lluviosos, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre la temperatura es más estable, con oscilaciones entre los 6-8 C y los 18-20 C. Junio, julio y agosto son los meses de fuertes vientos y mayor oscilación de la temperatura; durante el alba se suelen presentar temperaturas de hasta 10 C. Es la zona habitada del país con las temperaturas más bajas. Estas condiciones son muy variables debido a los fenómenos de El Niño y La Niña, que se dan en la cuenca del Océano Pacífico y producen cambios climáticos muy fuertes.

5.2.1.4 Morfogénesis

El proyecto PLMB se ubica en la región de la Sabana de Bogotá, en la cual se diferencian dos unidades genéticas de relieve: una zona plana de ambiente agradacional y una zona montañosa de ambiente estructural-denudacional (véase (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

5.2.1.4.1 *Zona plana agradacional*

La Sabana de Bogotá, es una extensa llanura relativamente plana, en la que se reconocen principalmente dos procesos de agradación consecutivos: lacustre y fluvio lacustre, siendo este último el más predominante en el tiempo geológico reciente. El área conforma un valle en avanzado estado de senectud en el que los procesos agradacionales o constructivos de sedimentación, predominan sobre los procesos erosivos (Universidad Javeriana – EAAB, 2008-2009).

La zona plana hace parte de la Sabana de Bogotá. Se trata de una zona con ligera pendiente al sur, que llega a rodear completamente algunas zonas montañosas situadas dentro de ellas como es el Cerro de Suba.

Esta zona se corresponde con el relleno del sinclinorio de la Sabana (de origen tectónico), desde el Pleistoceno hasta la actualidad. En el inicio del relleno de esta cuenca, predominaban los procesos de ladera (complejos de conos, piedemontes, etc.) y de sedimentación fluvial (aluviales), posteriormente, la sedimentación fue de tipo lacustre, la cual es la responsable de la modelización del relieve de la zona plana.

El río Bogotá discurre de norte a sur sobre esta zona, en un sistema fluvial de alta sinuosidad tipo río meandriforme de un solo canal. En los alrededores del cauce actual se observan los restos de abundantes meandros abandonados.

En la zona plana se reconocen paisajes de ambiente agradacional correspondientes a conos aluviales coalescentes, coluvios de remoción, terraza alta, terraza baja y planos inundables.

El ambiente agradacional comprende los procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles tales como el agua de escorrentía, los

glaciares y el viento, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie terrestre, mediante el depósito de los materiales sólidos o disueltos, resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

- Terrazas altas y bajas (Fta y Ftb)

Se forman cuando la corriente madre recorta sus propios depósitos debido a un descenso en el nivel de base de erosión, siguiendo la secuencia de incisión, ensanchamiento del nuevo valle y nueva sedimentación, lo cual puede repetirse dando lugar a dos o más niveles de terrazas.

En el área de influencia indirecta se diferencian las terrazas altas y las terrazas bajas labradas en los sedimentos de la Formación Sabana. La terraza alta (Fta) tiene escarpes de altura variable, comprendida entre 4 y 15 m (Julivert, 1961). Las terrazas bajas (Ftb) tienen escarpes igualmente de altura variable, no mayor de 5 m, que hacia la parte central de la Sabana va perdiendo altura hasta prácticamente no manifestarse (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA)

- Plano inundable (Fpi)

Paisaje de edad actual o sub-actual, susceptible a inundaciones periódicas u ocasionales, en el que se destacan meandros abandonados colmatados y humedales. En el All se diferencian los planos de inundación de los ríos Bogotá, Tunjuelo, Fucha y Juan Amarillo. El plano inundable del río Bogotá es el más amplio de los mencionados y ha sido parcialmente urbanizado, previa colocación de rellenos con desechos de excavación y de construcción (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta: (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

- Conos aluviales coalescentes (Fcac)

El cono aluvial conforma un paisaje de forma semicircular, con una parte superior más estrecha y empinada. El ápice o parte proximal, normalmente se extiende hacia la zona montañosa siguiendo el curso de la corriente que lo depositó. Más abajo se encuentra la parte intermedia o cuerpo, que cubre la mayor parte del paisaje y finalmente el tramo distal o base, una franja angosta suavemente inclinada que gradualmente se confunde con la llanura contigua sobre la cual se explaya la unidad.

El paisaje de conos aluviales coalescentes comprende los conos del río Tunjuelo, de Terreros, del piedemonte oriental de Bogotá, que incluye los conos de los ríos San Cristóbal, San Agustín, San Francisco y las quebradas Padre de Jesús, Arzobispo, Los Olivos Rosales y La Vieja entre otras. Estos conos están conformados por depósitos de grandes bloques y gravas redondeadas, que alcanzan hasta un metro de diámetro, derivados de las areniscas del Grupo Guadalupe, en matriz arenosa, areno arcillosa y arcillosa (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta: (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

- Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb)

Zonas de topografía plana conformadas por la acumulación de desechos sólidos sin diferenciar, cubiertos con suelo y escombros de construcción. Son planos hechos artificialmente para acondicionar terrenos anegadizos para la construcción de viviendas u otros proyectos de ingeniería (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta (ver Anexo 5.2.1.13 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

5.2.1.4.2 Relieve montañoso estructural – denudacional

La zona plana se encuentra rodeada por los relieves montañosos de edad terciaria y cretácica, definiendo una cuenca cerrada. Se encuentran algunos cerros dentro de la zona plana como consecuencia de la existencia de estructuras anticlinales locales, producidos por la actividad tectónica. Es un relieve montañoso y colinado estructural-plegado.

Estos relieves montañosos presentan una fuerte pendiente, especialmente en el sector de los Cerros Orientales, con diferencias de cota de 500 - 700 m (zona de Monserrate y Guadalupe), con respecto a la zona plana, sobre los cuales se depositaron materiales erosionados de las laderas, dando lugar a depósitos coluviales y de piedemonte, con espesores entre 30 y 50 metros.

Estos relieves se encuentran surcados, de manera más o menos perpendicular, por una serie de ríos y quebradas que van a tributar al río Bogotá, entre los cuales se encuentra los ríos Tunjuelo, San Cristóbal (aguas abajo se le denomina como río Fucha), San Agustín, San Francisco, Juan Amarillo, etc.

Todos estos ríos así como los existentes en otros momentos de la historia geológica de la Sabana de Bogotá, son los que han dado lugar a la sedimentación de los depósitos situados en la base de estos relieves, tales como el Complejo de Conos, depósitos de piedemonte, depósitos coluviales, etc.

Al ambiente estructural corresponden los paisajes de cresta monoclinial abrupta, anticlinal excavado y anticlinal (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta: Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA). En este grupo se incluyen las montañas y colinas cuya altura y formas se deben al plegamiento de los estratos rocosos superiores de la corteza terrestre, que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos de denudación.

- Ladera monoclinial crestada (Slmc)

Paisaje monoclinial constituido por estratos alternos de diferente consistencia como arcillolitas y areniscas, dispuestas en un patrón escalonado en la parte inferior de la ladera estructural de crestas monoclinales abruptas y del anticlinal excavado localizadas en los cerros orientales y suroriente de la ciudad, apenas separados de estas por depósitos coluviales, en las que no se destaca un escarpe bien definido. El buzamiento de la ladera estructural es variable de unas unidades a otras. Este paisaje se desarrolla en rocas de las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta: Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

- Coluvios de remoción (Ccr)

Comprende los depósitos de ladera procedente de deslizamientos, flujos terrosos y desprendimientos o desplomes de tierra, compuestos por suelos mezclados con fragmentos de roca, de tamaño variado, que carecen de una forma externa característica (Ver plano de Geomorfología del Área de Influencia Indirecta- Planta: Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

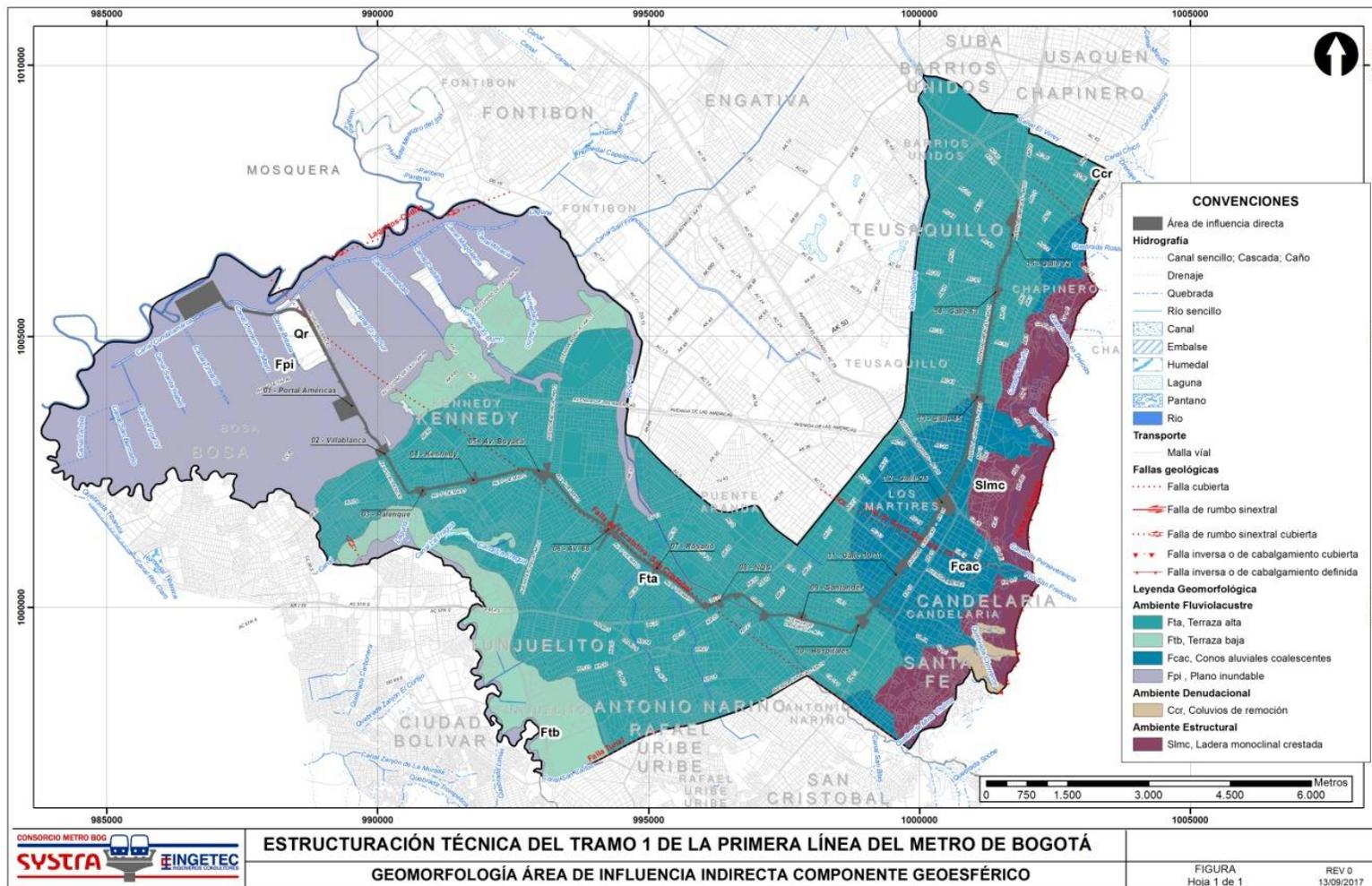


Figura 5.2.1-7 Geomorfología del área de influencia indirecta del proyecto PLMB

5.2.1.5 Morfografía

En el análisis geomorfológico donde se desarrollara el proyecto PLMB se incluye la morfografía; lo anterior, hace referencia al análisis de las formas de las laderas de la zona donde se localiza el proyecto, mediante la descripción cuantitativa de parámetros relacionados con la longitud, ángulo de inclinación y altura, determinados mediante la generación de un mapa de pendientes. Esta mapa indica si las laderas son suaves, abruptas, escarpadas, cóncavas, convexas, etc.

El mapa de pendientes del área de influencia indirecta del proyecto Metro se generó a partir de las curvas de nivel utilizando el método de los intervalos móviles, (Dense, B. 1976). Para la elaboración del mapa de pendientes se tuvieron en cuenta rangos indicados en la Tabla 5.2.1-2.

Tabla 5.2.1-2 Categorías de los rangos de pendientes para el área de influencia indirecta del Proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá

ID	Color	Pendiente (%)	Descripción
1		0 – 1	A nivel
2		1 – 3	Ligeramente plana
3		3 – 7	Ligeramente inclinada
4		7 – 12	Moderadamente inclinada
5		12 – 25	Fuertemente Inclinada
6		25 – 50	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada
7		50 – 75	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada
8		75 – 100	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada
9		>100	Totalmente escarpada

El mapa de pendientes indica que en general la zona donde se localiza el proyecto, es predominantemente plana y localmente, en el borde oriental, montañosa. La zona plana, correspondiente a la Sabana de Bogotá presenta en general pendiente ligeramente inclinada (de 3 al 7%) y localmente, en los sectores occidental y oriental, correspondientes respectivamente a la llanura de inundación del río Bogotá y a la zona de piedemonte de los Cerros Orientales de Bogotá, pendientes fuertemente inclinadas (del 12 al 25%). La zona montañosa, correspondiente a la parte baja de los Cerros Orientales de Bogotá, presenta laderas de pendiente ligeramente a moderadamente empinadas (del 25 al 75%) y muy localmente laderas fuertemente empinadas (del 75 a 100%).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

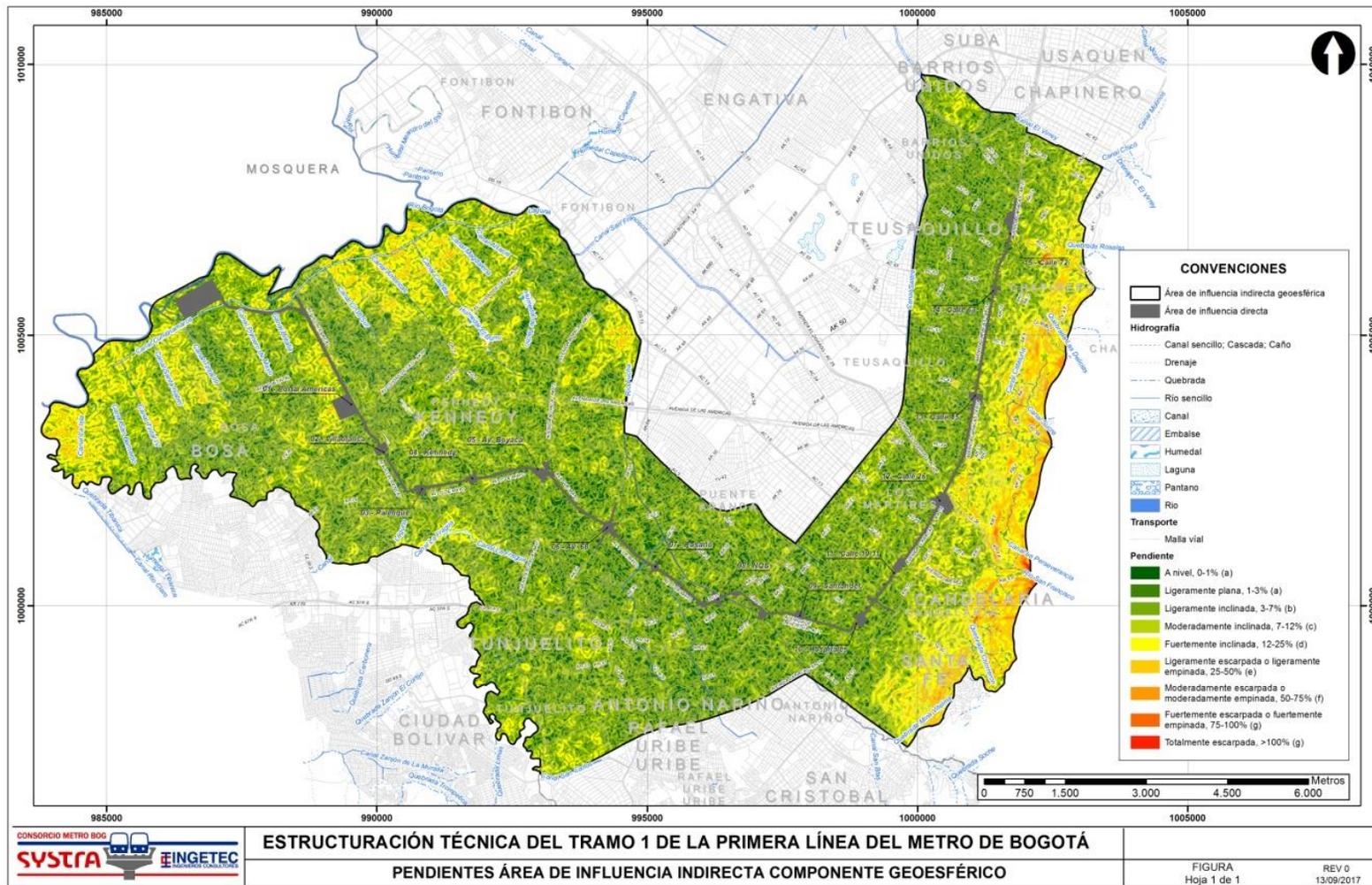


Figura 5.2.1-8 Mapa de pendientes del área de influencia indirecta del proyecto PLMB

5.2.1.6 Procesos morfodinámicos en el área de influencia indirecta

Todos los elementos móviles, determinados por las fuerzas de cambio, capaces de desprender, transportar y depositar los productos incoherentes de la meteorización y de la sedimentación se conocen como agentes geomorfológicos, dentro de los cuales se encuentran el agua de las lluvias, el agua de escorrentía y el viento, con ayuda de la gravedad. A estos pueden agregarse los animales y el mismo hombre. Estos agentes son los responsables directos de la mayoría de procesos morfodinámicos que afectan la superficie terrestre, ya degradándola o construyendo nuevos paisajes (Villota, 2005). Los principales procesos morfodinámicos que se presentan en el área de influencia indirecta corresponden a la remoción en masa, a la erosión pluvial y a la sedimentación fluvial. También se encuentra la actividad antrópica puesta de manifiesto en la extracción de materiales de construcción y la conformación de zonas para la disposición de escombros y sobrantes de excavación, al igual que las zonas destinadas a rellenos sanitarios.

Algunos fenómenos de remoción en masa correspondientes a deslizamientos y desprendimientos de roca se presentan en la parte baja de las laderas de los cerros orientales, de Suba, suroriente y del sur de Bogotá, por fuera del corredor de la PLMB. Estos procesos ocurren especialmente durante las temporadas de lluvias fuertes, en terrenos desarrollados sobre rocas blandas y duras de las formaciones Labor-Tierna, Guaduas, Cacho, Bogotá, Arenisca de La Regadera y Usme.

Procesos de erosión pluvial se presenta en las zonas desprovistas de vegetación como consecuencia de la actividad extractiva de materiales de construcción (arenas y arcillas) en canteras ubicadas en los cerros orientales y del sur de Bogotá en terrenos desarrollados principalmente en rocas de las formaciones Labor-Tierna y Bogotá. Durante las temporadas de fuertes lluvias, el agua desprende y arrastra el material suelto localizado en estas canteras, transportándolo hasta zonas bajas.

De igual manera, durante algunas temporadas de lluvias fuertes que dieron lugar al desbordamiento de algunos de los cursos superficiales de agua que drenan la Sabana de Bogotá, principalmente los ríos Bogotá, Tunjuelo y Fucha, con la subsecuente inundación de las zonas bajas aledañas o planicies de inundación y depósito de delgadas capas de lodo.

5.2.1.7 Unidades geomorfológicas asociadas al trazado de la PLMB

En el área de influencia directa se encuentran las geoformas correspondientes a plano de inundación, terraza alta, terraza baja y coluvios de remoción Plano: Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA.

5.2.1.7.1 Tramo 1

- Sector comprendido entre el Patio-Taller y la abscisa K1+500

El tramo 1, en el sector comprendido entre el Patio-Taller y la abscisa K1+500, se localiza sobre el plano inundable o llanura de inundación del río Bogotá (Fpi). Esta es una zona amplia, baja y plana, localmente pantanosa y eventualmente inundable, que se presenta bordeando el cauce del río Bogotá, limitada por los escarpes de la terraza alta (Fta).

La llanura de inundación del río Bogotá se desarrolla sobre un depósito de arcillas y limos sedimentados durante las inundaciones producidas por el desbordamiento del río Bogotá. En este plano inundable se encuentran zonas pantanosas pobremente drenadas, que acumulan las aguas de las precipitaciones y de los desbordes del río Bogotá y sus tributarios. En las zonas pantanosas se decantan materiales arcillosos con abundante materia orgánica.

Sobre la llanura de inundación se encuentra el Relleno Sanitario Gibraltar (de origen antrópico), conformado por residuos de excavación y desechos de construcción. El propósito de estos rellenos era el de acondicionar terrenos anegadizos para la construcción.

- Sector comprendido entre las abscisas K1+500 y K12+500

El Tramo 1, en el sector comprendido entre las abscisas K1+500 y K12+500, se localiza sobre la unidad de paisaje denominada terraza alta (Fta). El paisaje de terraza alta (Fta) está conformada sobre el depósito de arcillas y limos con intercalaciones de niveles de arenas, gravas y turba, de la Formación Sabana (Plano Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA).

- Sector comprendido entre las abscisas K12+500 y K14+700

El Tramo 1, en el sector comprendido entre las abscisas K12+500 y K14+700, se localiza sobre la unidad de paisaje denominada como Conos Aluviales Coalescentes (Fcac).

5.2.1.7.2 Tramo 2

- Sector comprendido entre las abscisas K14+700 y K16+500

El tramo 2, en el sector comprendido entre las abscisas K14+700 y K16+500, se localiza sobre la unidad de paisaje denominada como Conos Aluviales Coalescentes (Fcac) de los ríos San Cristóbal, San Agustín, San Francisco y las quebradas Padre de Jesús y Arzobispo, conformados por depósitos de grandes bloques y gravas redondeadas, que alcanzan hasta un metro de diámetro, derivados de las areniscas del Grupo Guadalupe, en matriz arenosa, areno arcillosa y arcillosa.

- Sector comprendido entre las abscisas K16+500 y K20+308

El tramo 2, en el sector comprendido entre las abscisas K16+500 y K20+308, se localiza sobre la unidad de paisaje de terraza alta. El paisaje de terraza alta (Fta) está conformada sobre el depósito de arcillas y limos con intercalaciones de niveles de arenas, gravas y turba, de la Formación Sabana.

El paisaje de conos aluviales coalescentes comprende los conos del piedemonte oriental de Bogotá, de los ríos San Cristóbal, San Agustín, San Francisco y las quebradas Padre de Jesús y Arzobispo, conformados por depósitos de grandes bloques y gravas redondeadas, que alcanzan hasta un metro de diámetro, derivados de las areniscas del Grupo Guadalupe, en matriz arenosa, areno arcillosa y arcillosa.

El paisaje de terraza alta (Fta) está conformada sobre el depósito de arcillas y limos con intercalaciones de niveles de arenas, gravas y turba, de la Formación Sabana.

5.2.1.8 Amenazas Naturales

Por estar ubicada la ciudad de Bogotá en el Altiplano Cundiboyacense, en la parte central de la Cordillera Oriental, presenta diferentes amenazas naturales que se refieren específicamente a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. A continuación se describe las amenazas naturales que pueden afectar la PLMB, relacionadas con terremotos, inundaciones y procesos de remoción en masa.

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) cuenta con un registro de 10.501 eventos desde primer semestre de 2002 al segundo semestre de 2013, de los cuales el 50.4% corresponde a inundaciones y el restante 49.6% a procesos de remoción en masa, ocurridos estos últimos durante las temporadas de lluvias. La Secretaría Distrital de Planeación, (2013) registra que durante el periodo comprendido entre el 2002 y el 2012, se presentaron en Bogotá aproximadamente 4.169 procesos de remoción en masa

5.2.1.8.1 Remoción en masa

En la ciudad de Bogotá el riesgo por la ocurrencia de procesos de remoción en masa se presenta principalmente en los cerros orientales, del suroriente, sur y de Suba, como consecuencia de la localización de asentamientos en zonas de antiguas canteras dedicadas a la explotación de materiales de construcción, en taludes que no fueron intervenidos técnicamente, rellenos e incluso en las rondas de quebradas (en áreas montañosas).

Procesos de remoción en masa por deslizamientos y caída de rocas se concentran principalmente en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Usme, Ciudad Bolívar y Suba, como se muestra en el Mapa de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa de la Secretaría Distrital de Planeación (2013).

El trazado de PLMB, discurre fundamentalmente sobre la zona plana de la ciudad o de la Sabana de Bogotá, específicamente sobre la superficie de las unidades de paisaje de terraza alta, terraza baja y llanura de inundación del río Bogotá, tan solo traslapando la parte occidental de la unidad de paisaje de conos aluviales coalescentes localizada en las áreas adyacentes a los ríos San Agustín, San Francisco y Arzobispo. Las unidades de paisaje de terraza alta, terraza baja y llanura de inundación no presentan riesgo por procesos de remoción en masa, en tanto que en la unidad de conos aluviales coalescentes este riesgo es catalogado como bajo.

Se establece por tanto que en los sub-tramos 1, 2 y 3 del Tramo 1 y en los sub-tramos 1 y 2 del Tramo 2, no existe riesgo por procesos de remoción en masa, en tanto que en el Sub-tramo 4 del Tramo 1 y el Sub-tramo 1 del Tramo 2, se presenta un riesgo bajo por este fenómeno.

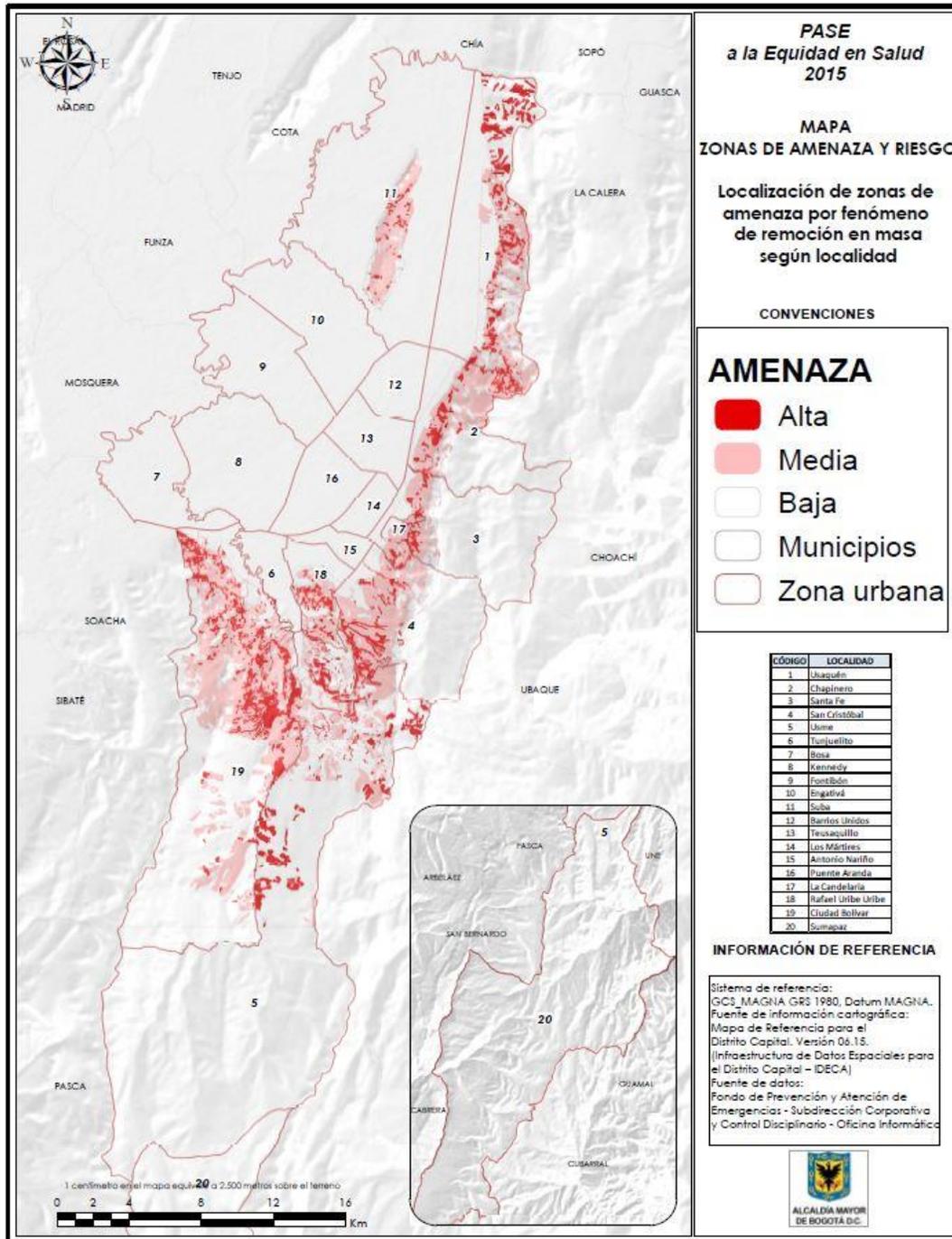


Figura 5.2.1-9 Mapa de Amenaza por Procesos de Remoción en Masa
 Fuente: Tomado de Secretaría Distrital de Planeación, 2013

5.2.1.8.2 Amenaza de inundación por desbordamiento

La ciudad de Bogotá se localiza en gran parte sobre la superficie plana de la Sabana de Bogotá, donde se pueden diferenciar una zona baja e inundable correspondiente a la llanura de inundación

de los ríos Bogotá, Tunjuelo, Fucha y Torca, y la zona de terrazas alta y baja. La zona correspondiente a llanura de inundación de los ríos que la drenan, es susceptible a inundaciones durante las temporadas de lluvias fuertes y prolongadas. La zona de terrazas, por su morfología plana y un poco más alta con relación a la llanura de inundación, es susceptible a inundaciones y encharcamientos por aguaceros torrenciales.

El mapa de isoyetas de la Sabana muestra que al occidente de la ciudad de Bogotá el promedio anual de lluvias es de aproximadamente 500 mm/año, pasando a 800 mm/año en el centro de la ciudad y ascendiendo a 1300 mm/año en la zona de los cerros orientales. Esto indica que en la zona oriental de la ciudad, son comunes los fuertes y prolongados aguaceros durante las temporadas de lluvias, produciendo encharcamientos e inundaciones frecuentemente. Contribuyen a este fenómeno, el cambio climático puesto de manifiesto por los fenómenos de La Niña y El Niño, y las deficiencias del sistema de alcantarillado.

Periódicamente, durante las temporadas de lluvias, de mediados de marzo a mediados de junio y de mediados de septiembre a mediados de diciembre, se presentan encharcamiento e inundaciones en Bogotá. Durante los últimos años, dos eventos de inundación por desbordamiento de grandes proporciones han ocurrido en la ciudad, el primero acaecido en el 2002, por desbordamiento del río Tunjuelo y el segundo en diciembre de 2011, por desbordamiento del río Fucha. El desbordamiento del río Tunjuelo causó la inundación de las partes más bajas de Kennedy y Bosa, en tanto que el desborde del río Fucha produjo inundaciones en Fontibón.

Las localidades con afectación directa por inundaciones debidas al desbordamiento de los ríos que drenan la ciudad corresponden a las de Suba, Engativá, Fontibón, Kennedy, Bosa, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe Uribe y Usaquén, localizadas al occidente, sur y nororiente de la ciudad.

Con base en caudales de creciente de tres periodos de retorno, se han establecido para Bogotá, tres zonas de amenaza por inundación, alta, media y baja, que se muestra en el Mapa de Amenazas por Inundaciones y Procesos de Remoción en Masa de IDIGER del 2013, con las siguientes características:

- La zona de amenaza alta, delimitada por la proyección de la línea de inundación producida por el desborde de una corriente de agua, calculado para el caudal creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, sea por causas naturales o intervención no intencional por el hombre, no aptas para el desarrollo de zonas urbanas, restringidas para la construcción hasta tanto no se adelanten las obras de protección.
- La zona de amenaza media, delimitada por la proyección de la línea de inundación con caudal de creciente de periodos de retorno entre 10 y 100 años, con probabilidad del 10% al 65% durante la vida útil de las estructuras de protección (jarillones). Para estos sectores no hay restricción; sin embargo, es importante el manejo adecuado para evitar que se generen situaciones de riesgo alto.
- La zona de amenaza baja, delimitada por la línea de inundación producida por el desborde de la corriente de agua, calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, sea por causas naturales o por intervención no intencional del hombre; con una profundidad de lámina de agua con efectos leves potencialmente dañinos. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil de las estructuras de protección (jarillones) y probabilidad de ocurrencia menor al 10%. Para estos sectores no hay ningún tipo de restricción, ni tratamiento especial.

En el Mapa de Amenazas por Inundaciones y Procesos de Remoción en Masa, se aprecia que las tres zonas inundables por desbordamiento son las correspondientes a las llanuras de inundación

LÍNEA BASE

REV.4,04-06-2019

ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

de los ríos Bogotá, Tunjuelo y Fucha. De igual manera muestra que en la localidad de Bosa, en la zona donde se encuentran el predio previsto para Patio-Taller, la parte inicial del trazado de la PLMB y la estación Portal Las Américas, puede verse afectada por eventos de inundación por el desbordamiento de los ríos Bogotá y Tunjuelo. El predio del Patio-Taller se encuentra en las zonas de amenaza alta y media por inundación, el sub-tramo 1 y parte del sub-tramo 2 del Tramo 1, al igual que las estaciones Portal Las Américas y Villa Blanca, se localizan en la zona de amenaza media por inundación.

La experiencia muestra adicionalmente que amplios sectores de la localidad de Bosa pueden verse afectados por inundaciones o encharcamientos de aguas residuales, debido al taponamiento de vallados o redes de alcantarillado y drenajes de aguas lluvias, por la ausencia o deficiencia de las redes de alcantarillado o por elevación del nivel de agua y fallas en las estaciones de bombeo de aguas residuales.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Para la ciudad de Bogotá se han planteado cuatro grandes zonas sísmicas: cerros, piedemonte, lacustre y aluvial, que al combinarse con el mapa de zonificación geotécnica, teniendo en cuenta el espesor de los depósitos lacustre y aluvial, genera un total de 16 zonas de respuesta sísmica homogénea, con características definidas, de acuerdo a los planteamientos del Decreto 523 de 2010 para la ciudad de Bogotá (Tabla 5.2.1-4).

Tabla 5.2.1-4 Descripción de las zonas de respuesta sísmica

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50m Vs (m/s)	Humedad promedio 50m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerros		<0,3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores menores a 6 m	<750	<10	Topográfico
Piedemonte A	<50	0,3 - 0,6	Depósitos coluviales y aluviales conformados por bloques, cantos y gravas en matriz arcillo-arenosa	200 - 750		Topográfico, amplificación
Piedemonte B	<50	0,3 - 0,6	Depósitos coluviales y aluviales con espesor superior a 12 m	300 - 750		Topográfico, amplificación
Piedemonte C	<50	0,3 - 0,6				
Lacustre 50	<50	1,0 - 1,5	Depósito lacustre blando conformado por arcillas limosas o limos arcillosos, con intercalaciones locales de turbas	<175	>80	Amplificación
Lacustre 100	50-100	1,5 - 2,5				
Lacustre 200	100-200	2,5 - 3,5				
Lacustre 300	200-300	3,5 - 4,5				
Lacustre 500	300-500	4,5 - 6,5				
Lacustre-Aluvial 200	100-200	2,0 - 3,0	Depósito fluvio-lacustre conformado por intercalaciones de arcillas limosas o limos arcillosos, con lentes de turba y niveles de arenas compactas	<200	>60	Amplificación
Lacustre-Aluvial 300	200-300	3,0 - 4,0				
Aluvial 50	<50	0,4 - 0,8	Depósito aluvial duro conformado por arcillas limosas o arenas arcillosas o limos arenosos localmente con lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial 100	50-100	0,8 - 1,2				
Aluvial 200	100-200	1,2 - 2,5				
Aluvial 300	200-300	2,5 - 4,0				
Depósitos de Ladera		<0,3	Depósitos de ladera de composición variable y espesor superior a 6 m	Variable según el tipo de depósito	Variable según el tipo de depósito	Topográfico

Fuente: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, 2010

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En la Figura 5.2.1-12 se presenta el Mapa de Zonas de Respuesta Sísmica de la ciudad de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Planeación (2010) elaborado según la normativa del Decreto 523 de 2010.

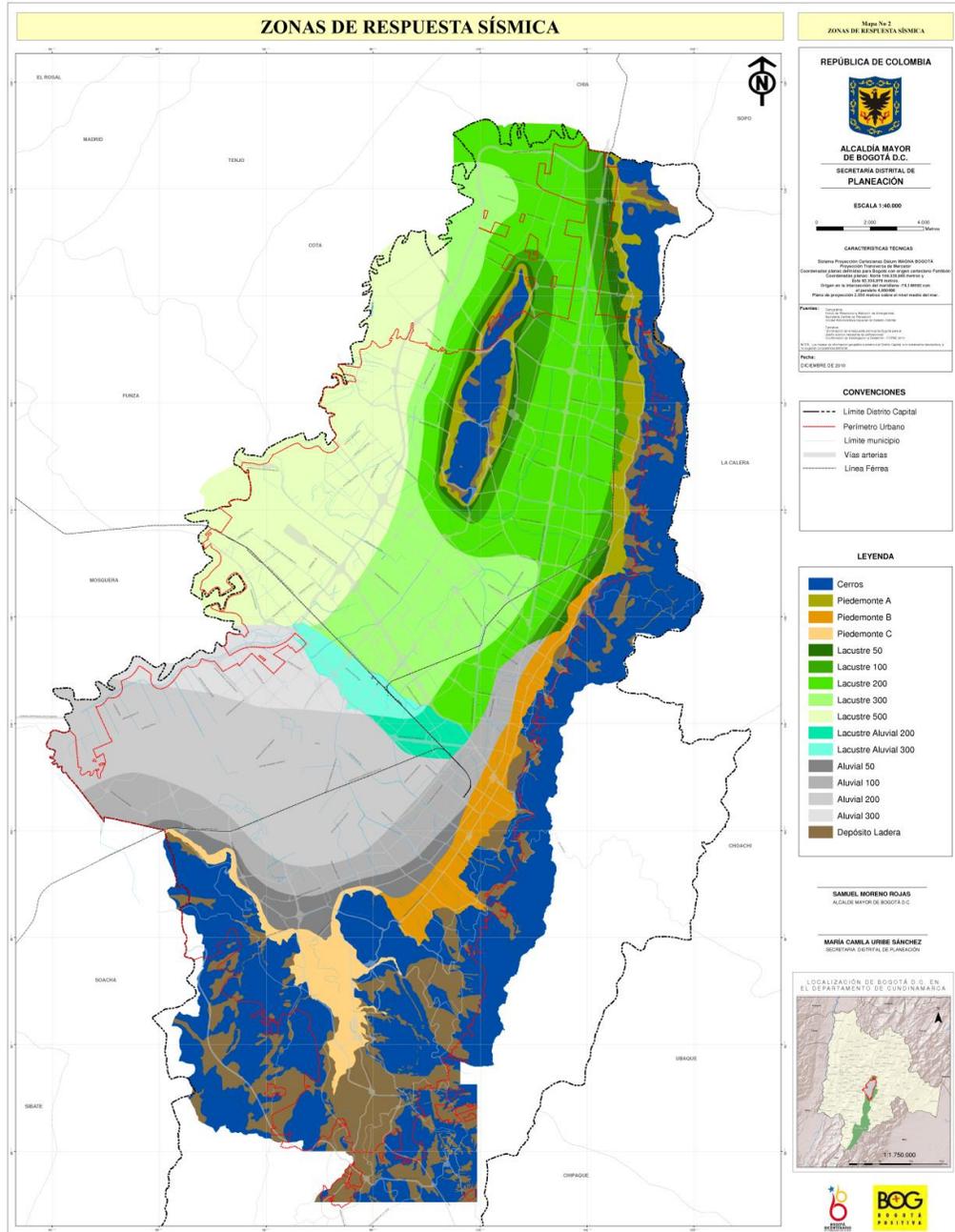


Figura 5.2.1-12 Mapa de microzonificación sísmica de Bogotá
Fuente: Secretaria Distrital de Planeación, FOPAE, 2010

El trazado de la PLMB atraviesa básicamente seis zonas sísmicas: Aluvial 300, Aluvial 200, Aluvial 100, Aluvial 50, Piedemonte B y Lacustre 200. El tramo 1 atraviesa las zonas de respuesta sísmica

Aluvial 300, Aluvial 200, Aluvial 100, Aluvial 50 y Piedemonte B, en tanto que el Tramo 2 atraviesa las zonas de respuesta sísmica Piedemonte B, Aluvial 50 y Lacustre 200..

El Patio-Taller y la parte final del Ramal Técnico, en el sub-tramo 1 del Tramo 1, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 300, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 200 y 300 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 2,5 a 4,0 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) a 50 m de profundidad es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la llanura de inundación del río Bogotá.

Los sub-tramos 1, 2 y 3 del Tramo 1, desde inmediaciones del predio del Patio-Taller hasta la abscisa K9+300, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 200, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 100 y 200 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 1,2 a 2,5 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la llanura de inundación del río Bogotá y la terraza alta.

Los sub-tramos 3 y 4 del Tramo 1, entre las abscisas K9+300 y K11+000, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 100, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 50 y 100 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,8 a 1,2 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 4 del Tramo 1, entre las abscisas K11+000 y K12+300, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 50, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,4 a 0,8 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 4 del Tramo 1, entre las abscisas K12+300 y K14+700, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Piedemonte B, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, el periodo fundamental es de 0,3 a 0,6 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 300 a 750 m/s y los efectos de sitio son topográficos y de amplificación. Esta zona se desarrolla sobre coluvios de remoción y la terraza alta.

El sub-tramo 1 del Tramo 2, entre las abscisas K14+700 y K17+500, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Piedemonte B, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, el periodo fundamental es de 0,3 a 0,6 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 300 a 750 m/s y los efectos de sitio son topográficos y de amplificación. Esta zona se desarrolla sobre coluvios de remoción y la terraza alta.

El sub-tramo 1 (entre las abscisas K17+500 y K18+000) y el sub-tramo 2 (entre las abscisas K18+000 y K19+750) del Tramo 2, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 100, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 50 y 100 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,8 a 1,2 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 2 del Tramo 2, entre las abscisas K19+750 y K20+308, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Lacustre 200, donde el depósito cuaternario cuenta con un espesor de 100 a 200 m, humedad promedio mayor del 80%, periodo fundamental de 2,5 a 3,5 s, velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) menor de 175 m/s. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta de la Sabana.

El trazado de la PLMB atraviesa básicamente seis zonas sísmicas: Aluvial 300, Aluvial 200, Aluvial 100, Aluvial 50, Piedemonte B y Lacustre 200 (Figura 5.2.1-13). El tramo 1 atraviesa las zonas de respuesta sísmica Aluvial 300, Aluvial 200, Aluvial 100, Aluvial 50 y Piedemonte B, en tanto que el Tramo 2 atraviesa las zonas de respuesta sísmica Piedemonte B, Aluvial 50 y Lacustre 200..

El Patio-Taller y la parte final del Ramal Técnico, en el sub-tramo 1 del Tramo 1, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 300, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 200 y 300 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 2,5 a 4,0 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) a 50 m de profundidad es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la llanura de inundación del río Bogotá.

Los sub-tramos 1, 2 y 3 del Tramo 1, desde inmediaciones del predio del Patio-Taller hasta la abscisa K9+300, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 200, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 100 y 200 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 1,2 a 2,5 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la llanura de inundación del río Bogotá y la terraza alta.

Los sub-tramos 3 y 4 del Tramo 1, entre las abscisas K9+300 y K11+000, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 100, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 50 y 100 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,8 a 1,2 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 4 del Tramo 1, entre las abscisas K11+000 y K12+300, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 50, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,4 a 0,8 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 4 del Tramo 1, entre las abscisas K12+300 y K14+700, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Piedemonte B, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, el periodo fundamental es de 0,3 a 0,6 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 300 a 750 m/s y los efectos de sitio son topográficos y de amplificación. Esta zona se desarrolla sobre coluvios de remoción y la terraza alta.

El sub-tramo 1 del Tramo 2, entre las abscisas K14+700 y K17+500, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Piedemonte B, donde el espesor del depósito cuaternario es menor de 50 m, el periodo fundamental es de 0,3 a 0,6 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 300 a 750 m/s y los efectos de sitio son topográficos y de amplificación. Esta zona se desarrolla sobre coluvios de remoción y la terraza alta.

El sub-tramo 1 (entre las abscisas K17+500 y K18+000) y el sub-tramo 2 (entre las abscisas K18+000 y K19+750) del Tramo 2, se localizan sobre la zona de respuesta sísmica Aluvial 100, donde el espesor del depósito cuaternario está comprendido entre los 50 y 100 m, la humedad promedio es del 25 al 50%, el periodo fundamental del depósito es de 0,8 a 1,2 s, la velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) es de 175 a 300 m/s y se pueden producir los efectos de sitio de amplificación y licuación. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta.

El sub-tramo 2 del Tramo 2, entre las abscisas K19+750 y K20+308, se localiza sobre la zona de respuesta sísmica Lacustre 200, donde el depósito cuaternario cuenta con un espesor de 100 a 200 m, humedad promedio mayor del 80%, periodo fundamental de 2,5 a 3,5 s, velocidad promedio de las ondas de cizalla (V_s) menor de 175 m/s. Esta zona se desarrolla sobre la terraza alta de la

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Sabana. Las consideraciones técnicas de las estructuras del proyecto PLMB están contenidas en detalle en los estudios de Ingeniería de diseño del proyecto.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

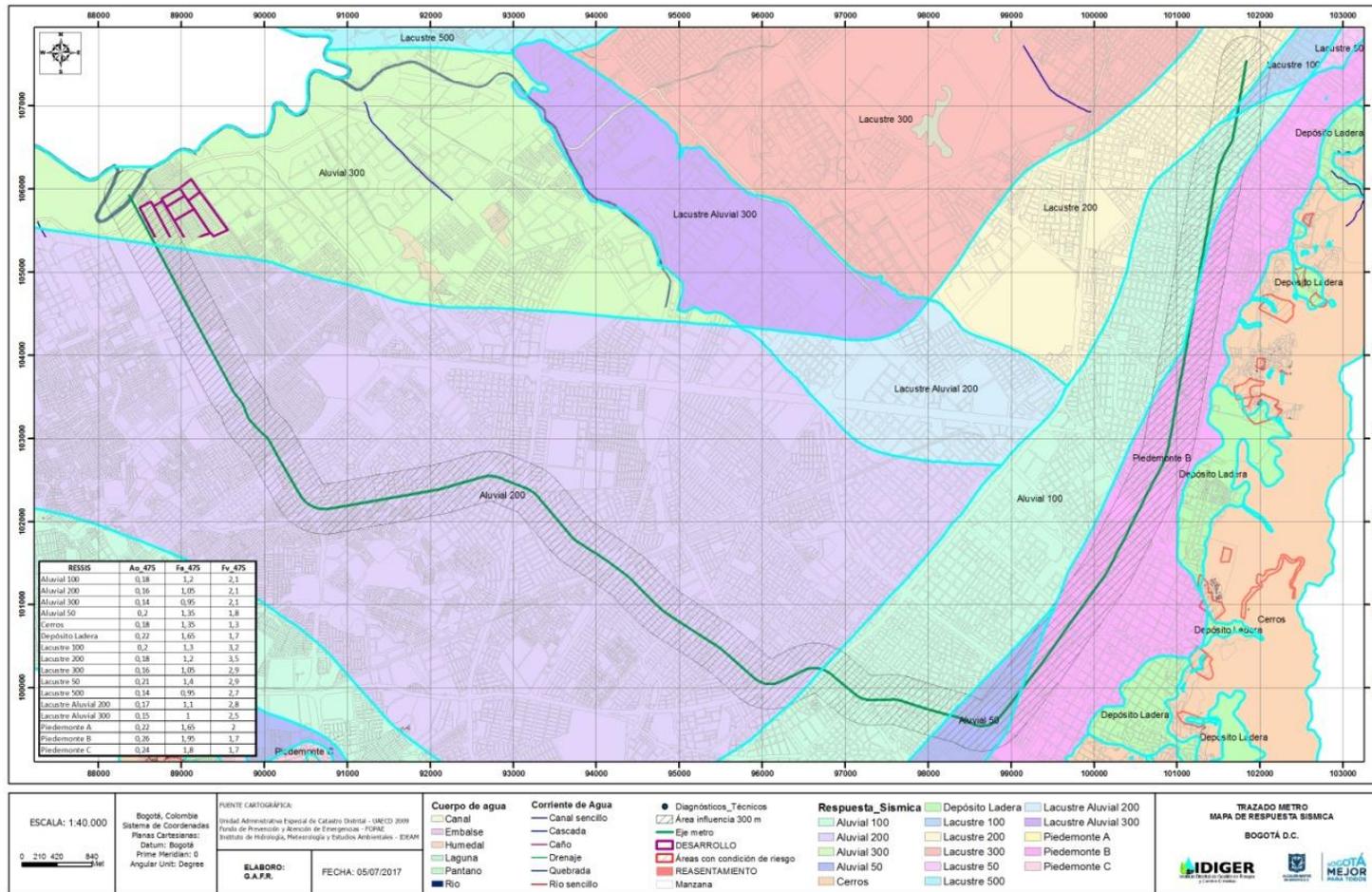


Figura 5.2.1-13 Zonas de respuesta sísmica que atraviesa el corredor de la PLMB

LINEA BASE
 REV.4,04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

5.2.1.9 Caracterización geotécnica

Con base en parámetros geotécnicos de diseño, establecidos a partir de los resultados de las investigaciones geotécnicas, información geotécnica secundaria del corredor, correlaciones y parámetros geotécnicos típicos recomendados en la bibliografía de referencia para los tipos de material que se encuentran en la zona del proyecto, se realizó la caracterización geotécnica del corredor del Proyecto de la PLMB.

5.2.1.9.1 *Metodología*

Para la caracterización del corredor de la PLMB, se determinó el comportamiento de los diferentes estratos de suelos (cohesivos y granulares) considerando que todos los suelos que presenten finos en una proporción mayor al 12% e índice de plasticidad mayor al 7%, son considerados suelos cohesivos.

A partir de información primaria y secundaria, de mediciones directas o indirectas de nueve ensayos diferentes, se obtuvieron valores de la resistencia al corte no drenado S_u . Los ensayos en consideración son:

- Resistencia a la compresión Inconfinada (C.I.)
- Resultados de Veletas de campo corregidos (VST-Campo)
- Resultados de Veletas de laboratorio realizados con veletas de bolsillo (VST-Lab)
- Resultados correlacionados a partir de medidas del DMT, basado en la modificación de la correlación de Marchetti (1980).
- Resultados a partir de correlaciones del ensayo CPTu, basado en la correlación de Robertson (2006), tomando un $N_{kt}=14$.
- Resultados correlacionados a partir del DMT, según correlación de Frank, R.
- Correlación a partir del esfuerzo de sobre-consolidación ($S_u = 0.22\sigma'_p$).
- Correlaciones a partir del valor de SPT e Índice de plasticidad del Suelo, a partir de correlación de Schmertmann (1975).

Dadas las características predominantemente cohesivas de los materiales presentes a lo largo del corredor, se dio especial énfasis a la determinación de los parámetros de resistencia no drenada con el fin de emplearlos en el diseño de las cimentaciones profundas previstas en el proyecto. Adicionalmente, con el propósito de establecer parámetros geotécnicos representativos de aquellos estratos con un volumen significativo de información, se realizó un análisis estadístico de los datos recopilados a través de los 9 ensayos previamente mencionados.

En los análisis estadísticos se tuvo en cuenta la tendencia central de los datos, su variabilidad y valores extremos. Como medida de tendencia central se empleó la mediana teniendo en cuenta que los parámetros geotécnicos tienden a presentar sesgos en su distribución y que la mediana tiene una mayor sensibilidad a esta condición en comparación con la media; adicionalmente, es un parámetro que se afecta en menor medida por los valores extremos. Por su parte, la variabilidad se analizará a partir del rango entre cuartiles, el cual permite medir la variabilidad de la mitad central de los datos y tiene igualmente, una menor afectación por datos extremos. Por último, se revisó el valor del percentil 33 de cada uno de los ensayos analizados.

El objetivo del análisis estadístico es el de obtener a partir de la distribución y calidad de los datos de cada uno de los ensayos, una ponderación para evaluar el valor de resistencia al corte de cada estrato. Los tres criterios utilizados en este análisis son:

- **Mediana (Tendencia central):** El peso relativo de cada medición es definido a partir de la distancia entre el promedio de las medianas de los ensayos disponibles y la mediana individual de cada ensayo. De esta manera, el factor de peso de cada medición es mayor en la medida en que su mediana se acerque al promedio de las medianas.
- **Intercuartil (Variabilidad):** El peso relativo de cada medición es definido a partir de la relación entre el rango entre cuartiles de cada ensayo y la suma de los rangos entre cuartiles de los ensayos disponibles. De esta manera, el factor de peso de cada medición es mayor en la medida en que el rango entre cuartiles sea menor.
- **Percentil 33 (Valores extremos):** Se incluirá el percentil 33 como valor extremo de las mediciones. En este caso, tendrá mayor peso el percentil que más se acerque al promedio de los percentiles individuales de los ensayos disponibles.

Por último, el parámetro de resistencia al corte no drenado de cada estrato, corresponde el valor promedio de los datos obtenidos a partir de la ponderación de los ensayos basada en los tres criterios previamente explicados.

Los estratos de comportamiento granular se caracterizaron a partir del ángulo de fricción, obtenido a partir de los siguientes ensayos:

- Pruebas de corte directo.
- Pruebas triaxiales.
- Correlaciones a partir de los datos de SPT, en la cual el percentil 40 corresponde a las correlaciones *Japanese Railway Standards* (1982), Meyerhof (1965), Peck et. al. (1974), Schmertmann (1975) y Hatanaka & Uchida (1996).

El valor de diseño se tomó a partir de los promedios de los tres ensayos descritos, priorizando los datos tomados de ensayos de laboratorio.

Como parámetros de deformación se determinaron los módulos de elasticidad de los estratos de suelo (granulares y cohesivos) y el valor de ϵ_{50} de cada uno de los estratos estudiados. Para la determinación del módulo de elasticidad de los diferentes materiales se tuvo en cuenta los ensayos directos e indirectos, correspondientes a:

- Módulo secante medido de ensayos de compresión confinada.
- Correlaciones a partir de datos de CPTu, suponiendo $\nu = 0.33$.
- Correlaciones a partir del módulo presiométrico, suponiendo $\nu = 0.33$ y $E_s = 2E_p$
- Correlaciones a partir de datos medidos con el DMT, suponiendo $\nu = 0.33$.
- Correlaciones en el caso de suelos con comportamiento cohesivo, a partir de valores de S_u y índice de plasticidad, y en el caso de suelos cohesivos a partir del valor de N_{60} utilizando el promedio de las correlaciones de Bowles (1968) y Schmertmann (1970).

Los valores de diseño se obtuvieron a partir de los valores promedios de los 5 ensayos previamente mencionados.

Los parámetros de ϵ_{50} se calcularon a partir de los datos obtenidos en los ensayos de compresión confinada, siendo el valor de ϵ_{50} , el valor de la deformación unitaria (%) obtenida al 50% de la resistencia máxima del ensayo (q_u). Para cada estrato se promediaron los diferentes valores de ϵ_{50} obtenidos. En los estratos que no se tuvieron valores, se utilizaron valores típicos dados por la literatura según el tipo de suelo.

Los parámetros de consolidación fueron determinados a través de los ensayos de consolidación. En los casos de estratos en los que no se contó con ensayos, se evaluaron los coeficientes de consolidación (C_c) a partir del promedio de los coeficientes de las correlaciones propuestas por Terzahi and Peck (1967), Koppula (1981), Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985), Nakase et al. (1988) y Koppula (1985). El coeficiente (C_s) en los casos en los que no se contó con ensayos de laboratorio, se evaluó a partir del promedio de las correlaciones propuestas por Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985) y Nakase et al. (1988).

Para caracterizar las rocas blandas encontradas en el corredor en el tramo de la Avenida Caracas, se realizaron ensayos de compresión simple, ensayos de *slake durability test* para determinar la resistencia cualitativa a la alteración de la roca. Adicionalmente, se realizó muestreo continuo con barrenas saca-núcleos con sistema *wire-line* triple tubo, tipo HQ3, para tener una idea del estado de la roca in-situ y determinar el índice RQD.

Para calcular los módulos de las rocas se calcularon valores a partir de ensayos de compresión simple y se utilizaron datos de correlaciones y parámetros típicos de acuerdo al material encontrado.

5.2.1.9.2 Zonas homogéneas

Con base en la descripción y clasificación geológica y geotécnica de los suelos presentes en el corredor, el tipo de estructura geotécnica, la propiedad índice, la resistencia con sus correspondientes variaciones en profundidad y la presencia de roca en el subsuelo, con sus características y profundidad a la que se encuentra, se definieron veintitrés (23) zonas homogéneas. En la Tabla 5.2.1-5 se indica la ubicación de estas zonas, incluyendo las perforaciones y piezóconos ubicados en cada una de ellas.

Tabla 5.2.1-5 Zonas homogéneas del trazado del metro

Zona Homogénea	Inicio	Final	Microzonificación Sísmica	Perforaciones	CPTu
Ramal Técnico – 1			Aluvial 200	SRT-26,SRT-27,SRT-28,SRT-29,SRT-30,SRT-31,SRT-32,SRT-33,SRT-34,SRT-35,SRT-36,SRT-37,SRT-38,SRT-39	
Ramal Técnico – 2		Avenida Villavicencio - Carrera 90	Aluvial 200	SRT-40,SRT-41,SRT-42,SRT-43,SRT-44,SRT-45,SRT-46	
1,1	Avenida Villavicencio - Carrera 90	Avenida Villavicencio - Avenida Ciudad de Cali	Aluvial 200	SL1-01,SL1-02,SL1-03,SL1-04,SL1-05;SL1-06;SL1-07,SL1-08,SL1-09,SL1-10,SL1-11,SE1-01,SE-02,SE1-03,SE1-04	PZSL1-3,PZL1-7,PZSE1-1,PZSE1-2A,PZSE1-2,PZL1-8
1,2	Avenida Villavicencio - Avenida Ciudad de Cali	Avenida Villavicencio - Carrera 80d	Aluvial 200	SL1-12,SL1-13,SL1-14,SL1-15,SL1-16,SL1-17,SL1-18,SE1-05,SE1-06,SE1-07,SE1-08	PZL1-10,PZSL1-5,PZSE1-4,PZL1-11,PZL1-12

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Zona Homogénea	Inicio	Final	Microzonificación Sísmica	Perforaciones	CPTu
1,3	Avenida Villavicencio - Carrera 80d	Avenida Villavicencio - Transversal 78h	Aluvial 200	SL1-20,SL1-21,SL1-22,SL1-23,SL1-24,SE1-09,SE1-10,SE1-11,SE1-12,PT-VIBLA-01	PZL1-14,PZL1-15,PZL1-16,PZL1-17,PZSL1-6,PZSL1-7,PZSE1-5,PZSE1-6
1,4	Avenida Villavicencio - Transversal 78h	Avenida Primera de Mayo - Calle 4 Sur	Aluvial 200	SL1-25,SL1-26,SL1-27,SL1-28	PZL1-18,PZSL1-8
1,5	Avenida Primera de Mayo - Calle 4 Sur	Avenida Primera de Mayo - Carrera 73	Aluvial 200	SL1-29,SL1-30,SL1-31,SL1-32,SL1-33,SL1-34,SL1-35,SL1-36,SL1-37,SL1-38,SL1-39,SL1-40,SE1-13,SE1-14,SE1-15,SE1-16,SE1-17,SE1-18,SE1-19,SE1-20	PZSL1-10,PZSL1-11,PZSL1-12,PZSL1-13,PZSL1-19,PZL1-20,PZL1-21,PZL1-22,PZL1-23,PZL1-24,PZL1-25,PZL1-26
1,6	Avenida Primera de Mayo - Carrera 73	Avenida Primera de Mayo - Carrera 68h	Aluvial 200	SL1-41,SL1-42,SL1-43,SL1-44,SL1-45,SL1-46,SL1-47,SL1-48,SL1-49,SL1-50,SL1-51,SL1-52,SL1-53,SE1-21,SE1-22,SE1-23,SE1-24,SE1-25,SE1-26,SE1-27,SE1-28	PZL1-27,PZL1-28,PZL1-29,PZL1-30,PZL1-30,PZL1-31,PZL1-32,PZL1-33,PZL1-34,PZL1-35,PZSL1-14,PZSL1-15,PZSL1-16,PZSL1-17,PZSL1-18,PZSE1-11,PZSE1-12,PZSE1-13,PZSE1-14
2,1	Avenida Primera de Mayo - Carrera 68h	Avenida Primera de Mayo - Carrera 51a	Aluvial 200	SL2-01,SL2-02,SL2-03,SL2-04,SL2-05,SL2-06,SL2-07,SL2-08,SL2-09,SL2-10,SL2-11,SL2-12,SE2-01,SE2-02,SE2-03,SE2-04,PT-AV68-01,PT-AV68-02	PZL2-1,PZL2-2,PZL2-3,PZL2-4,PZL2-4,PZL2-5,PZL2-3,PZL2-7,PZL2-8,PZSL2-1,PZSL2-5,PZSL2-2,PZSL2-6,PZSL2-3,PZSL2-4,PZL2-7,PZSE2-1,PZSE2-2,CPT-AV68-01
2,2	Avenida Primera de Mayo - Carrera 51a	Avenida Primera de Mayo - Carrera 41bis	Aluvial 200	SL2-13,SE2-05,SE2-06,SE2-07,SE2-08,PT-ROS-01	PZL2-09,PZL2-10,PZSE2-03,PZSE2-04
2,3	Avenida Primera de Mayo - Carrera 41bis	Avenida Primero de Mayo - NQS	Aluvial 200	SL2-14,SL2-15,SL2-16,SL2-17,SL2-18,SL2-19,SL2-20,SL2-21,SL2-22,SL2-23,SL2-24	PZL2-11,PZL2-12,PZL2-13,PZL2-14,PZL2-15,PZL2-16,PZL2-17,PZSL2-05,PZSL2-

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Zona Homogénea	Inicio	Final	Microzonificación Sísmica	Perforaciones	CPTu
					06,PZSL2-07
2,4	Avenida Primero de Mayo - NQS	Calle 8 Sur - Carrera 28	Aluvial 200 - Aluvial 100	SL2-27,SL2-28,SL2-29,SL2-30,SL2-31,SL2-32,SL2-33,SE2-09,SE2-10,SE2-11,SE2-12,PT-NQS-01	PZL2-18,PZL2-19,PZL2-20,PZL2-21,PZL2-22,PZL2-23,PZSL2-08,PZSL2-09,PZSE2-05,PZSE2-06
2,5	Calle 8 Sur - Carrera 28	Av. Caracas - Calle 1	Aluvial 100 - Aluvial 50	SL2-34,SL2-35,SL2-36,SL2-37,SL2-38,SL2-39,SL2-40,SL2-41,SL2-42,SL2-43,SL2-44,SL2-45,SL2-46,SE2-13,SE2-14,SE2-15,SE2-16,SE2-17,SE2-18,SE2-19,SE2-20,PT-SAN-01	PZL2-24,PZL2-26,PZL2-27,PZL2-28,PZL2-29,PZL2-30,PZL2-31,PZSL2-10,PZSL2-11,PZSL2-12,PZSL2-14,PZSE2-7,PZSE2-8
3,1	Av. Caracas - Calle 1	Av. Caracas - Calle 9	Aluvial 50 - Piedemonte B	SL2-47,SL2-48,SL2-49,SL2-50,SL2-51,SE2-21,SE2-22,SE2-23,SE2-24,PT-HOS-01,PT-HOS-02,PT-PLMB-VDT-01	PZL2-33,PZL2-34,PZL2-35,PZL2-28,PZL2-29,PZL2-30,PZL2-31,PZSL2-10,PZSL2-11,PZSL2-12,PZSL2-14,PZSE2-7,PZSE2-8
3,2,1	Av. Caracas - Calle 9	Av. Caracas - Calle 13	Piedemonte B	PT-CLL10-01,PT-CLL10-03	CPT-CLL10-02
3,2,2	Av. Caracas - Calle 13	Av. Caracas - Calle 31	Piedemonte B	PT-PLMB-VDT-02,PT-PLMB-VDT-03,PT-PLMB-VDT-04,PT-CLL26-01,PT-CLL26-03	CPT-PLMB-VDT-02,CPT-PLMB-VDT-03,CPT-PLMB-VDT-05,CPT-PLMB-VDT-06
3,2,3	Av. Caracas - Calle 31	Av. Caracas - Calle 39	Piedemonte B	PT-PLMB-VDT-05,PT-PLMB-VDT-06	CPT-PLMB-VDT-07,CPT-PLMB-VDT-08
3,3	Av. Caracas - Calle 39	Av. Caracas - Calle 51	Piedemonte B	PT-PLMB-VDT-07,PT-PLMB-VDT-08,PT-CLL45-01,PT-CLL45-03	CPT-PLMB-VDT-09,CPT-PLMB-VDT-10,CPT-CLL45-02
3,4,1	Av. Caracas - Calle 51	Av. Caracas - Calle 53	Aluvial 100	PT-PLMB-VDT-09	
3,4,2	Av. Caracas - Calle 53	Av. Caracas - Calle 60	Aluvial 100	PT-PLMB-VDT-10	CPT-PLMB-VDT-11,CPT-PLMB-VDT-04
3,4,3	Av. Caracas - Calle 60	Av. Caracas - Calle 64	Aluvial 100	PT-CLL63-01,PT-CLL63-03	CPT-CLL63-02

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Zona Homogénea	Inicio	Final	Microzonificación Sísmica	Perforaciones	CPTu
3,4,4	Av. Caracas - Calle 64	Av. Caracas - Calle 71	Aluvial 100	PT-PLMB-VDT-11,PT-PLMB-VDT-12	CPT-PLMB-VDT-12
3,5	Av. Caracas - Calle 71	Av. Caracas - Calle 77	Lacustre 200	PT-CLL72-01,PT-CLL72-03,PT-PLMB-VDT-13	CPT-CLL72-02,CPT-PLMB-VDT-13

- Ramal Técnico 1

El Ramal Técnico 1 se ubica entre el lote del Patio-Taller y la Avenida Villavicencio con Carrera 97b, en la zona Aluvial 200, de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá (Decreto 523 del 2010).

El perfil estratigráfico definido a partir de las perforaciones se caracteriza por presentar niveles esencialmente cohesivos. En los primeros 18 m (U1) se encuentran intercalaciones de arcilla y arena limosa. En profundidad se evidencia la continuidad del perfil cohesivo de consistencia blanda a medio firme, humedades muy altas con valores entre 140 y 160%, índices de plasticidad mayores a 100% y N_{60} de 5 golpes a 50 m de profundidad. En la Tabla 5.2.1-6 se presenta la estratigrafía de este tramo.

Tabla 5.2.1-6. Estratigrafía del Ramal Técnico 1.

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	18	(Qsa) Arcilla y arena limosa con lentes de limo, humedad media, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U2	18	32	(Qsa) Arcillas y limos, humedad muy alta, plasticidad muy alta, consistencia blanda.
U3	32	75	(Qsa) Arcillas y limos, humedad alta, plasticidad muy alta consistencia medio firme.

En la Tabla 5.2.1-7 se relacionan los valores de S_u en kilo Pascales (kPa) obtenidos para cada uno de los niveles estratigráficos definidos para el Ramal Técnico 1.

Tabla 5.2.1-7 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	18	40.29	25.68	38.23
U2	18	32	12.11	6.21	10.26
U4	32	75	14.69	10.96	13.44

- Ramal Técnico 2

El Ramal Técnico se dividió en dos (2) tramos debido a los cambios en los parámetros de resistencia encontrados en las perforaciones, a medida que estas se ubicaban a distancias mayores de la zona de influencia del río Bogotá. El Ramal Técnico 2 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Villavicencio, entre las Carreras 97b y 90, sobre la zona Aluvial 200, de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá. Este tramo presenta un perfil estratigráfico principalmente cohesivo, consistente en limos con intercalaciones de arena limosa en los primeros 20.0m (Tabla 5.2.1-8).

Entre 20 y 31 m de profundidad, se encuentra un nivel de arcilla blanda con valores de N_{60} menores a 10 golpes, de humedad y plasticidad muy alta, seguido por un estrato de arcillas más competente, con N_{60} promedio del orden de 20 golpes, mayor que en el nivel anterior, con humedades y plasticidades menores.

Tabla 5.2.1-8 Estratigrafía del Ramal Técnico 2.

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	16	(Qsa) Limo con lentes de arcilla y arena limosa, humedad media, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U2	16	31	(Qsa) Limo con lentes de arcilla, humedad muy alta, plasticidad muy alta, consistencia blanda.
U3	31	75	(Qsa) Limos y arcillas con lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.

Con base en el análisis estadístico de los valores de compresión confinada, veleta de campo, penetrometro de bolsillo, correlaciones a partir de los valores de esfuerzo de pre-consolidación y correlaciones a partir de SPT, se obtuvieron los valores de S_u para cada uno de los niveles estratigráficos del Ramal Técnico 2 I (Tabla 5.2.1-9)

Tabla 5.2.1-9 Valores de S_u obtenidos por los 3 niveles estratigráficos del Ramal 2

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	16	28,34	27,17	27,37
U2	16	31	19,48	18,89	19,35
U4	31	75	64,60	63,02	59,50

Teniendo en cuenta los valores de los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación que se presentan en la Tabla 5.2.1-10, utilizados para el diseño de la cimentación del Ramal Técnico 2 del proyecto, se determinó un perfil de suelo tipo E, según la clasificación de los perfiles de suelo de la NSR-10.

Tabla 5.2.1-10 Resumen de parámetros de diseño de Ramal Técnico 2

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	ϕ (°)	Es (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 16,00	7	27		8,5	2,61	0,20	2,85
U2	16,00 - 31,00	3	19		5,8	1,29	0,15	2,59
U3	31,00 - 75,00	17	49		19,4	1,23	0,15	2,01

- Tramo 1.1

El Tramo 1.1 se encuentra ubicado sobre la Avenida Villavicencio entre las Carrera 90 y la Avenida Ciudad de Cali: De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, el tramo se encuentra en la zona Aluvial 200. La estratigrafía del tramo se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena a diferente profundidad. Las características geotécnicas de este tramo son:

- En los primeros 9 m se presenta un nivel arcilloso con lentes de arena, humedad promedio de 30%, índice de plasticidad promedio de 22%, valor de N_{60} promedio de 8 golpes, con lentes limo-arenosos no plásticos.
- De 9 a 32 m se presenta un nivel limo arcilloso de mayor humedad, comprendida entre 100 y 140%, índice de plasticidad promedio de 54%, alcanzado valores de hasta 110%, además de valores de N_{60} promedio de 11 golpes.
- Entre 32 y 43 m se destaca la presencia de un nivel granular, evidenciado por el aumento en los valores de N_{60} , que alcanza un valor promedio de 28 golpes, disminución de la humedad natural con un valor promedio de 20% y un índice de plasticidad promedio de 10, con presencia de varios estratos no plásticos.
- Entre los 43 y 70 m, se presenta arcilla arenosa que muestra un valor promedio N_{60} de 23 golpes, humedades entre 25 y 40% e índices de plasticidad entre 20 a 30%.

En la Tabla 5.2.1-11 se resumen la estratigrafía del Tramo 1.1:

Tabla 5.2.1-11 Estratigrafía del Tramo 1.1

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	9	(Qsa) Arcillas y limos con tonalidad marrón, gris y habano, lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U2	9	32	(Qsa) Limo con tonalidades marrón y gris, lentes de arcilla y arena limo-arcillosa, humedad media, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U3	32	43	(Qsa) Arena limosa con tonalidades marrón y gris, lentes de arcilla, humedad baja, plasticidad baja a no plástica, medio suelta
U4	43	70	(Qsa) Arcilla con tonalidades marrón a marrón oscuro, lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

Los parámetros de resistencia de diseño de los niveles cohesivos, U1, U2 y U4 del tramo, se evaluaron mediante análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT, obteniéndose los valores presentados en la Tabla 5.2.1-12.

Tabla 5.2.1-12 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	9	50,2	31,0	59,7
U2	9	32	45,5	35,7	47,8
U4	43	70	75,2	48,2	74,7

En Tabla 5.2.1-13 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 1.1, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo E de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10. Para aquellos estratos caracterizados como suelos granulares no se reporta resistencia no drenada (S_u).

Tabla 5.2.1-13 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.1

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	φ (°)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 9,00	8	47		18,3	0,32	0,03	0,93
U2	9,00 - 32,00	11	43		18,5	0,82	0,09	1,50
U3	32,00 - 43,00	20		32	15,7			
U4	43,00 - 70,00	23	66		14,9	0,39	0,04	1,49

- Tramo 1.2

El Tramo 1.2 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Villavicencio entre la Avenida Ciudad de Cali y la Carrera 80d, sobre la zona Aluvial 200, de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá, presentando un perfil de comportamiento cohesivo (Tabla 5.2.1-14). En la totalidad de los estratos considerados se presentan lentes de arena limosa de plasticidad baja a no plástica, con espesores menores a 2m.

La estratigrafía cohesiva del Tramo 2.1 muestra un aumento de resistencia en profundidad, evidenciado en los valores de N₆₀, desde 6 golpes en promedio en los primeros 6 m, hasta 25 golpes en promedio a 50 m de profundidad. Los estratos U3 y U4 tienen presencia de materia orgánica, evidenciada en el aumento de los valores de humedad natural y plasticidad en dichos estratos.

Tabla 5.2.1-14 Estratigrafía del Tramo 1.2

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	3	(Qsa) Arcilla gris a marrón oscuro de media a alta plasticidad con trazas de arena media, con presencia de materia orgánica, consistencia medio firme.
U2	3	15	(Qsa) Arcillas y arenas limosas con tonalidades marrón, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U3	15	25	(Qsa) Arcillas y limos con tonalidades marrón a gris, lentes de arenas limo-arcillosas, presencia de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad alta, consistencia firme.
U4	25	35	(Qsa) Arcillas con tonalidades marrón, lentes de limo y arena limosa, humedad media a alta, plasticidad alta, consistencia firme.
U5	35	70	(Qsa) Arcillas con tonalidades marrón a marrón oscura y arcillas limosas con lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

Para determinar el parámetro de diseño S_u, se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos definidos, a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, VST de campo, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, penetrómetro de bolsillo, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-15 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados, siendo el valor de diseño el valor promedio dichos datos.

Tabla 5.2.1-15 Resultados del análisis estadístico para el tramo 1.2

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	A	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	3	44,0	44,0	44,0
U2	3	15	64,0	64,0	64,0
U3	15	25	75,3	45,5	74,3
U4	25	35	63,7	36,2	65,1
U5	35	70	99,4	66,7	92,0

En la tabla de Tabla 5.2.1-16 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 1.2, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo D, de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

Tabla 5.2.1-16 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.2

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 3,00	6	44	6,1	0,32	0,03	0,95
U2	3,00 - 15,00	11	64	24,1	0,32	0,03	0,95
U3	15,00 - 25,00	14	65	18,7	0,63	0,06	1,53
U4	25,00 - 35,00	18	55	18,8	0,56	0,06	1,29
U5	35,00 - 70,00	25	86	32,0	0,32	0,03	0,95

- Tramo 1.3

El Tramo 1.3 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Villavicencio, entre la Carrera 80d y la Carrera 78h, en la zona Aluvial 200, de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá, presentando un perfil de comportamiento principalmente cohesivo, de suelos arcillosos en los 75m de exploración. Debido a que el perfil corresponde a un depósito aluvial, todos los estratos definidos cuentan con la presencia de lentes de arenas de plasticidad muy baja o no plástica. Las características de los estratos definidos para el Tramo 1.3 son:

- El estrato U1 corresponde a un nivel arcilloso con plasticidad promedio de 23% e índice de plasticidad promedio de 15%.
- El estrato U2 presentan menor cantidad de lentes de arena, por lo cual muestra una humedad mayor, valor promedio de 51%, presentando estratos con contenido de materia orgánica y humedades cercanas al 100%.
- Los estratos U3, U4 y U5 presentan humedades similares von valores promedio de 20% e índices de plasticidad de 22%, 35 y 48%, respectivamente.

En la Tabla 5.2.1-17 se presentan la estratigrafía del Tramo 1.3.

Tabla 5.2.1-17 Estratigrafía del Tramo 1.3

Estrato	Prof. (m)		Descripción
	de	a	
U1	0	10	(Qsa) Arcillas con tonalidades café a café rojiza, lentes de arenas, humedad baja, plasticidad baja, consistencia firme.
U2	10	15	(Qsa) Arcillas con tonalidades café, lentes de limo, humedad media, plasticidad muy alta, consistencia firme.
U3	15	30	(Qsa) Arcillas con tonalidades café a gris, lentes de limo y arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia muy firme.
U4	30	40	(Qsa) Arcillas con tonalidades café a gris, lentes de limo y arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U5	40	70	(Qsa) Arcillas y limos con ton tonalidad amarilla a gris, lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.

Para determinar el parámetro de diseño S_u , se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, VST de campo, Veleta de Laboratorio, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-18 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados, siendo el valor de diseño el valor promedio dichos datos.

Tabla 5.2.1-18 Valores de S_u obtenidos del análisis estadístico.

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	3	49,3	69,5	61,2
U2	3	15	68,1	67,4	68,5
U3	15	25	108,7	91,7	111,6
U4	25	35	100,1	76,8	99,1
U5	35	70	90,8	78,2	92,0

El estrato U1 presenta un valor promedio de S_u de 60kPa, la resistencia al corte no drenada promedio del estrato U2 es de 68kPa, el estrato U3 presenta un valor de S_u promedio de 104kPa, por su parte el valor promedio del estrato U5 es de 92kPa y el valor promedio de S_u del estrato U6 es de 87kPa.

En la Figura 5.2.1-14 se presenta el perfil de velocidad de onda de corte obtenido a partir de la línea MASM-MAM LS-PLMB-VIBLA, en la cual se obtiene una velocidad de onda promedio de 205.4 m/s en los primeros 30m. Esta velocidad es característica de un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

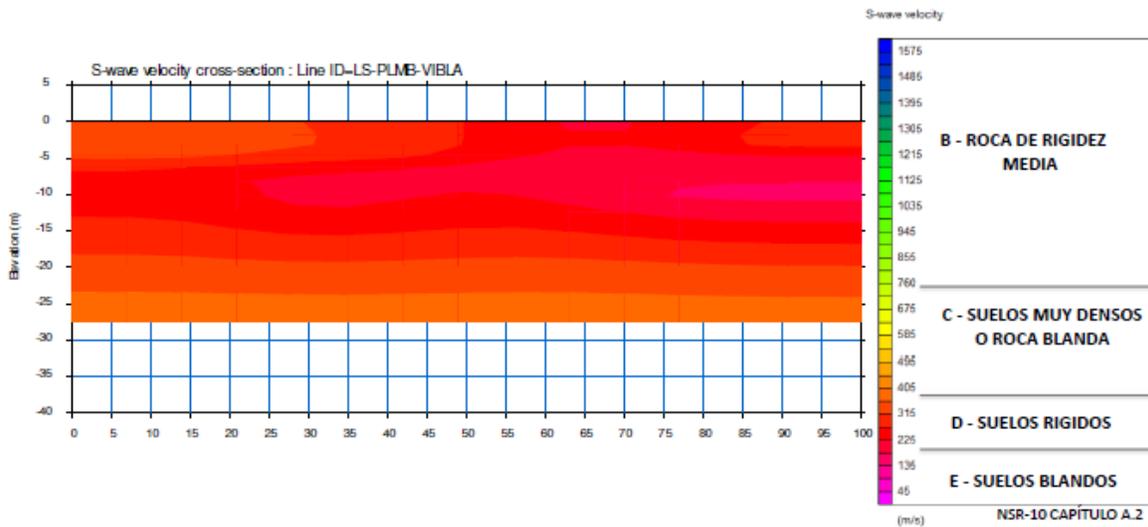


Figura 5.2.1-14 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-VIBLA

En la Tabla 5.2.1-19 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 1.3. El perfil de suelo obtenido a partir de los parámetros de resistencia coincide con el perfil de tipo D-Suelos Rígidos, obtenido con base en las líneas sísmicas.

Tabla 5.2.1-19 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.3

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	ϕ (°)	E _s (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 10,00	11	60		29,8	0,23	0,02	0,81
U2	10,00 - 15,00	13	68		19,5	0,62	0,07	1,37
U3	15,00 - 30,00	16	104		16,8	0,39	0,04	1,02
U4	30,00 - 40,00	25	92		20,3	0,53	0,04	1,00
U5	40,00 - 60,00	24	87		20,0	0,49	0,06	1,05

- Tramo 1.4

El Tramo 1.4 se encuentra ubicado entre la Avenida Villavicencio con Transversal 78h y la Avenida Primero de Mayo con Calle 4 Sur. De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá el tramo se encuentra en la zona Aluvial 200. La estratigrafía del tramo se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena a diferente profundidad, como se describe a continuación:

- Los primeros 15 metros un estrato arcilloso con presencia de lentes de arena limosa, humedad promedio de 28%, índice de plasticidad promedio de 16%, evidenciándose lentes areno-limosos no plásticos, el valor de N₆₀ promedio de este primer estrato es de 16 golpes.
- De 15 a 20m se presenta un estrato arcilloso de humedades un poco mayores que el estrato anterior, presentándose una humedad promedio de 33%, índice de plasticidad promedio de 46% y valores de N₆₀ promedio de 20 golpes.

- Entre 20 y 30m se observa el mismo estrato anterior, el cual evidencia una disminución en los valores de N_{60} , valor promedio de 14 golpes, así como de la humedad natural con un valor promedio por el estrato de 25% y un índice de plasticidad promedio de 12%.
- El estrato U4, presentado entre los 30 y 40m de profundidad, hace parte de una serie de arcillas y arcillas limosas que presentan un número de golpes N_{60} promedio de 33, humedades promedio del 22% e índices de plasticidad promedio del 9%.
- Por último, de 40 a 70m de profundidad, se encuentra un estrato conformado por arcillas con lentes de limos y arenas limosas, los cuales presentan una humedad promedio de 32%, índices de plasticidad promedio de 18% y un valor promedio de golpes $N_{60} = 19$.

Tabla 5.2.1-20 Estratigrafía del Tramo 1.4

Estrato	Prof. (m)		Descripción
	de	a	
U1	0	15	(Qsa) Arcilla con tonalidad amarilla a gris, lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
U2	15	20	(Qsa) Arcilla con tonalidad café a gris, lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad muy alta, consistencia medio firme.
U3	20	30	(Qsa) Arcilla con tonalidades café a gris, lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
U4	30	40	(Qsa) Arcillas y arcillas limosas con tonalidades café a gris, lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad baja, consistencia firme.
U5	40	70	(Qsa) Arcillas con tonalidad café, lentes de limos y arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

El comportamiento cohesivo en los diferentes estratos del Tramo 1.4 evidencia un aumento de resistencia en profundidad, la cual presenta en los primeros 30 metros un valor promedio 16, 20 y 14 golpes por estrato y a profundidades mayores a 30m valores promedios de 33 golpes. Los valores de plasticidad en los estratos disminuyen a mayor profundidad, variando de 46% al 9% en los estratos U2, U3 y U4.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, VST de campo, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, penetrometro de bolsillo, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-21 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados, siendo el valor de diseño el valor promedio dichos datos.

Tabla 5.2.1-21 Resultados del análisis estadístico para el Tramo 1.4

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	15	63,8	29,3	38,2
U2	15	20	55,7	37,6	48,4
U3	20	30	49,5	10,6	49,8
U4	30	40	55,2	77,5	49,6
U5	40	70	62,5	48,7	66,2

Los valores de S_u fueron obtenidos de los diferentes ensayos. El estrato U1 presenta un valor promedio de S_u de 44kPa, evaluado con los valores de los piezóconos; el estrato U2 posee una resistencia al corte no drenada promedio de 47kPa; el estrato U3 (entre los 20 y los 30 m de profundidad) presenta un valor de S_u promedio de 37kPa; por su parte estrato U4 presenta un valor promedio de S_u de 61kPa y el estrato U5 un valor promedio de S_u de 54kPa.

Para la determinación del valor de S_u en cada uno de los estratos, se dio prioridad a los ensayos de compresión confinada, veletas de campo, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación y correlaciones con SPT, ya que los valores de $CPTu$ no presentaban valores coherentes con los datos evidenciados en laboratorio e in-situ.

En la Tabla 5.2.1-22 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 1.4, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo D de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

Tabla 5.2.1-22 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.4

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 15,00	11	44	7,2	0,37	0,04	1,00
U2	15,00 - 20,00	13	47	14,0	0,62	0,08	1,13
U3	20,00 - 30,00	9	37	11,6	0,31	0,03	0,94
U4	30,00 - 40,00	22	61	17,9	0,27	0,03	0,87
U5	40,00 - 70,00	15	59	21,1	0,40	0,04	1,02

- Tramo 1.5

Este tramo se encuentra ubicado sobre la Avenida Primera de Mayo entre la Calle 4 Sur y la Carrera 73. Según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Aluvial 200. Las características estratigráficas de este tramo son:

- Entre los 0 y 11 m se encuentran arcillas y arenas limosas con una humedad promedio de 22%, un índice de plasticidad promedio de 7% y un promedio de golpes N_{60} de 19.
- Entre los 11 y 16 m se presentan arcillas y limos con lentes de arena arcillo-limosa, con humedad promedio del 42%, índice de plasticidad del 31%, valor promedio de N_{60} de 17 golpes.
- Entre los 16 y 30 m, se encuentra el mismo material observado en el anterior estrato, sin embargo en esta unidad, se presenta una humedad promedio menor de 26%, un índice de plasticidad promedio menor de 14% y un número de golpes promedio un poco mayor, con N_{60} igual a 28.
- El estrato U4, presenta arcillas con lentes de arena arcillo-limosa con valores de humedad entre 22 y 23%, índice de plasticidad entre 10 y 11% y N_{60} promedio de 40 golpes.
- Entre los 39 y 45 m se presentan arcillas con lentes de arena limosa, con 26% de humedad promedio, 15% de índice de plasticidad promedio y un número de golpes de 36.
- Por último, el estrato ubicado entre los 45 y 70 m de profundidad, presenta arcillas con lentes de arena arcillo limosa, con humedad promedio de 21%, índice de plasticidad promedio de 8% y un número de golpes promedio $N_{60} = 46$.

En la Tabla 5.2.1-23 se describe la estratigrafía considerada para este tramo.

Tabla 5.2.1-23 Estratigrafía del Tramo 1.5

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	11	(Qsa) Arcillas y arenas limosas, humedad baja, plasticidad baja, consistencia firme.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estrato	Prof. (m)		Descripción
	de	a	
U2	11	16	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arena arcillo-limosa, humedad media, plasticidad alta, consistencia firme.
U3	16	30	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arena arcillo-limosa, humedad media, plasticidad media, consistencia firme.
U4	30	39	(Qsa) Arcillas con lentes de arena arcillo-limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U5	39	45	(Qsa) Arcillas con lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia muy firme.
U6	45	70	(Qsa) Arcillas con lentes de arena arcillo-limosa, humedad baja, plasticidad baja, consistencia firme.

En el Tramo 1.5, los índices de plasticidad encontrados entre los 11 y 16 m de profundidad, presentan una gran variación de valores entre suelos no plásticos e índices de plasticidad del 90%. Los estratos restantes presentan una variación de sus índices de plasticidad entre no plásticos e índices de plasticidad del 30%.

En base al análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT, fueron obtenidos los valores de Su para el Tramo 1.5 (Tabla 5.2.1-24).

De acuerdo a esta información, se evidencia que el estrato U1 presenta una consistencia firme con valor promedio de Su de 84kPa. El estrato U2 presenta un valor de Su de 63kPa, el estrato U3 presenta una consistencia firme con un valor Su de diseño de 71kPa, el estrato ubicado entre 30 y 39 m presenta una resistencia Su de 92kPa y el estrato U5 un Su de 105kPa encontrándose dentro de una consistencia muy firme. Por último, entre los 45 y 70 m, la resistencia Su es de 95kPa.

Tabla 5.2.1-24 Valores de Su obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	11	90,3	71,7	90,9
U2	11	16	68,0	54,0	66,3
U3	16	30	79,4	56,3	78,1
U4	30	39	94,8	83,8	96,3
U5	39	45	115,8	89,7	110,8
U6	45	70	88,3	118,9	77,4

Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los resultados de DMT, PMT, CPTu, ensayos de compresión inconfiada y correlaciones.

En la Tabla 5.2.1-25 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 1.5, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo D de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

Tabla 5.2.1-25 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.5

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 11,00	12	84	16,2	0,85	0,12	1,70
U2	11,00 - 16,00	11	63	24	0,59	0,06	1,29
U3	16,00 - 30,00	18	71	21,8	0,33	0,03	0,95
U4	30,00 - 39,00	26	92	30,1	0,28	0,03	0,88
U5	39,00 - 45,00	23	105	21	0,34	0,04	0,94
U6	45,00 - 70,00	29	95	28	0,25	0,03	0,82

- Tramo 1.6

El tramo 1.6 se encuentra ubicado sobre la Avenida Primero de Mayo, entre la Carrera 73 y la Carrera 68h. Según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Aluvial 200, con la siguiente composición:

- Entre los 0 y 10 m de profundidad, arcillas con lentes de limo y arenas limosas, con una humedad promedio de 26%, un índice de plasticidad promedio de 13% y un número de golpes promedio N₆₀ de 17.
- Entre 10 y 17 m de profundidad, arcillas y limos con lentes de arenas limosas, con valores de humedad que varían entre 30 y 40%, índices de plasticidad entre 20 y 30% y un número de golpes promedio de 19.
- Entre 17 y 26 m de profundidad, arcillas y arenas limosas con una humedad promedio de 24%, un índice de plasticidad promedio de 11% y N₆₀ promedio igual a 33 golpes.
- Entre los 26 y 41 m de profundidad, arcillas con lentes de arena limosa con humedad promedio de 38%, índice de plasticidad promedio de 17% y número de golpes N₆₀ promedio de 30.
- Entre los 31 y 41 m de profundidad, arcillas con lentes de limo y arenas limosas con humedades que varían entre 20 y 30%, índices de plasticidad entre 10 y 20% y N₆₀ promedio de 40 golpes.
- Entre los 41 y 70 m de profundidad, se encuentra el mismo tipo de litología del estrato anterior, con humedades similares que varían entre 20 y 30% e índices de plasticidad promedio de 15%; sin embargo N₆₀ varía con número de golpes promedio de 33.

En la Tabla 5.2.1-26 se describe la estratigrafía de este tramo.

Tabla 5.2.1-26 Estratigrafía del Tramo 1.6

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	10	(Qsa) Arcilla con lentes de limo y arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U2	10	17	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arenas limosas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U3	17	26	(Qsa) Arcillas y arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U4	26	31	(Qsa) Arcilla con lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U5	31	41	(Qsa) Arcilla con lentes de limo y arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U6	41	70	(Qsa) Arcilla con lentes de limo y arenas limosas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

Los valores de las humedades presentes en los diferentes estratos del Tramo 1.6, varían entre 10 y 40%; sin embargo se pueden presentar ciertos lentes donde se encuentren humedades por encima del 80%. El número de golpes N_{60} varía de 0 a 30, sin embargo se pueden presentar ciertos lentes con valores de 40 a 80 golpes.

En la Tabla 5.2.1-27 se presentan los valores de S_u obtenidos a partir del análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT. De acuerdo a esta información, se establece que el estrato U1 presenta una consistencia firme con valor promedio de S_u de 59kPa, el estrato U2 un valor de S_u de 73kPa, el estrato U3 una consistencia firme con un valor S_u de diseño de 83kPa, el estrato U4 una resistencia S_u de 84kPa y el estrato U5 un S_u de 99kPa, con una consistencia firme. Por último, U6, presenta una resistencia S_u de 95kPa.

Tabla 5.2.1-27 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	10	62,8	52,3	62,7
U2	10	17	75,7	65,8	74,1
U3	17	26	88,3	84,8	80,2
U4	26	31	89,1	72,7	89,6
U5	31	41	101,9	96,9	97,4
U6	41	70	96,1	92,3	95,0

Los valores de resistencia S_u obtenidos para los estratos con profundidades mayores a 30 m, no incluyeron la realización de CPTu, por lo que su valor se ve influenciado por pruebas in-situ, correlaciones y resultados de laboratorio. Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los resultados de DMT, PMT, CPTu, ensayos de compresión inconfiada y correlaciones.

En la Tabla 5.2.1-28 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 1.6, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo D de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

Tabla 5.2.1-28 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 1.6

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 10,00	11	59	14	0,32	0,03	0,99
U2	10,00 - 17,00	12	72	12,6	0,44	0,05	1,15
U3	17,00 - 26,00	21	84	24,4	0,29	0,03	0,90
U4	26,00 - 31,00	19	84	13,4	0,48	0,05	1,32
U5	31,00 - 41,00	26	99	19,9	0,31	0,03	0,93
U6	41,00 - 70,00	22	95	35,4	0,34	0,04	0,92

- Tramo 2.1

El tramo 2.1 se encuentra ubicado sobre la calle 26 sur entre las Carrera 68g bis y la Carrera 51. De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá este tramo se encuentra en la zona Aluvial 200. La estratigrafía del tramo se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena a diferentes profundidades.

- En los primeros 5 metros se presenta un estrato arcilloso con humedad promedio de 25%, índice de plasticidad promedio de 30% y valores de N_{60} promedio de 21 golpes. De 5 a 24 m se presenta un estrato limo arcilloso con algo de arena, con valores de humedad del 25 %, índice de plasticidad promedio de 14% y valores de N_{60} promedio de 23 golpes.
- Entre 24 y 33 m se evidencia un estrato de comportamiento cohesivo, donde la humedad natural se mantiene con un valor promedio por el estrato de 25% y un índice de plasticidad promedio de 22%.
- Entre 33 y 40 m se encuentra una arcilla arenosa que presenta un número de golpes N_{60} promedio de 33, humedades entre 25 y 40% e índices de plasticidad entre 8 y 10%.
- Entre 40 y 75 m se presenta una arcilla limosa con algo de arena, un porcentaje de humedad del 20%, índice de plasticidad de 7% y valores de N_{60} promedio de 43 golpes, lo que caracteriza este estrato como el más competente de este tramo.

En la Tabla 5.2.1-29 se resume la estratigrafía del Tramo 2.1.

Tabla 5.2.1-29 Estratigrafía del Tramo 2.1

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	5	(Qsa) Arcilla con algo de limo con tonalidades gris claro y marrón amarillento, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
U2	5	24	(Qsa) Arcilla con lentes de limo y arena con tonalidades gris verdoso, verde oliva y marrón oliva, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
U3	24	33	(Qsa) Arcilla con algo de limo de tonalidades marrón oliva a marrón oscuro amarillento, humedad media, plasticidad alta, consistencia firme.
U4	33	40	(Qsa) Arcilla de tonalidades gris pardusco a marrón oscuro amarillento con lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
U5	40	75	(Qsa) Arcilla con lentes de limo y arenas limosas de tonalidades marrón oliva a marrón oscuro, humedad baja, plasticidad media, consistencia muy firme.

Los parámetros de resistencia de diseño de los estratos del tramo, relacionados en la Tabla 5.2.1-30, se evaluaron a partir de los valores de compresión confinada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPT_u , penetrómetro de bolsillo, veleta de mano y correlaciones a partir de SPT. En cada uno de los estratos se realizó el análisis estadístico para la obtención de S_u , estableciéndose que el estrato U1 presenta una consistencia firme con valor promedio de S_u de 68kPa, el estrato U2 presenta un valor de S_u de 43kPa, el estrato U3 presenta una consistencia firme con un valor S_u de diseño de 64kPa, la unidad U4 presenta un valor de S_u de 77 kPa presentando una consistencia firme y por último la unidad U5 con una consistencia muy firme al obtener un valor promedio de 109 kPa.

Tabla 5.2.1-30 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	5	68	54	81
U2	5	24	50	31	48
U3	24	33	69	57	66
U4	33	40	88	55	88
U5	40	75	136	75	115

Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los resultados de DMT, PMT, CPTu, ensayos de compresión inconfiada y correlaciones

En las figuras a continuación, se presenta el perfil de velocidades de ondas de corte, obtenidas a partir de las líneas MASW-MAM LS-PLMB-AV68-1 y LS-PLMB-AV68-2, en las cuales se obtuvo una velocidad de onda promedio en los primeros 30m de 221 m/s, que se considera correspondiente a un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

Adicionalmente, se presenta en la Figura 5.2.1-16 la velocidad de onda obtenida del ensayo Down-Hole ejecutado en la perforación PT-AV68-01, en la cual se puede evidenciar que la velocidad de onda (V_s) promedio de 220 m/s en los primeros 30 m, concuerda con la del ensayo geofísico MASW-MAM tomado sobre el mismo sitio del sondeo.

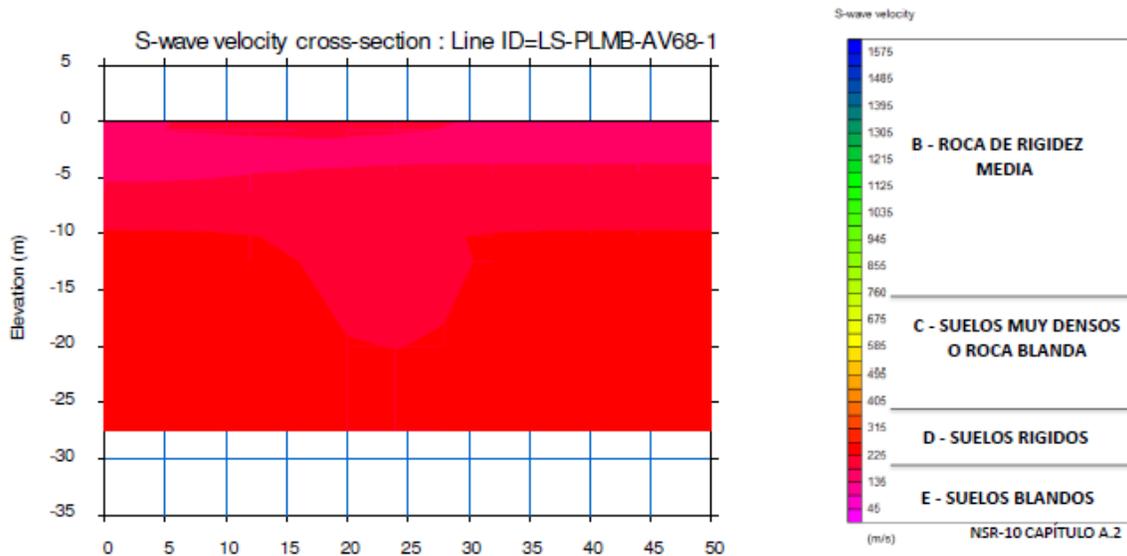


Figura 5.2.1-15 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-AV68-2

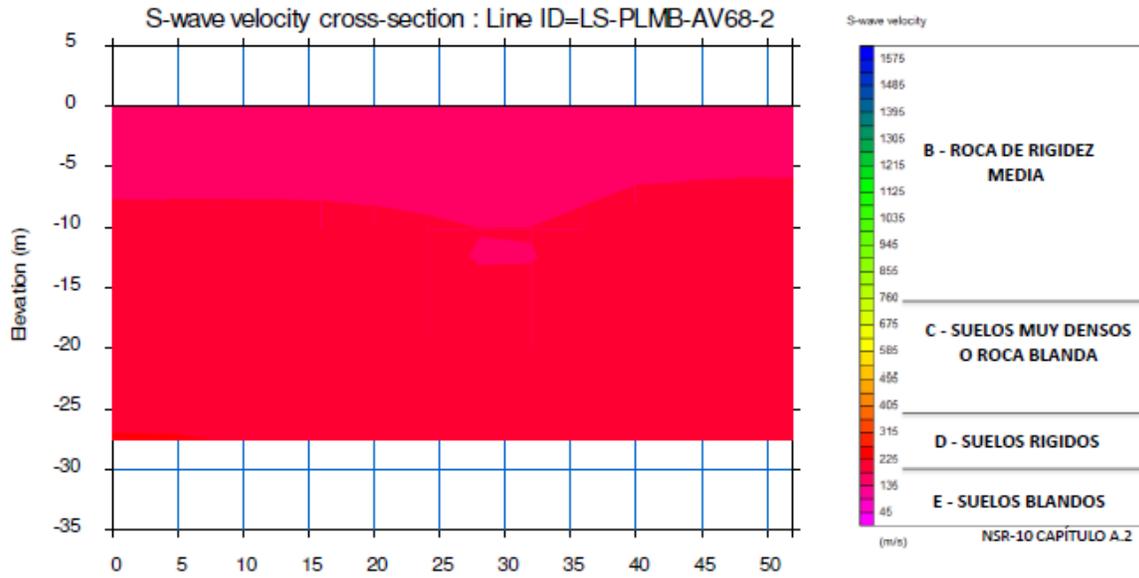


Figura 5.2.1-16 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-AV68-1

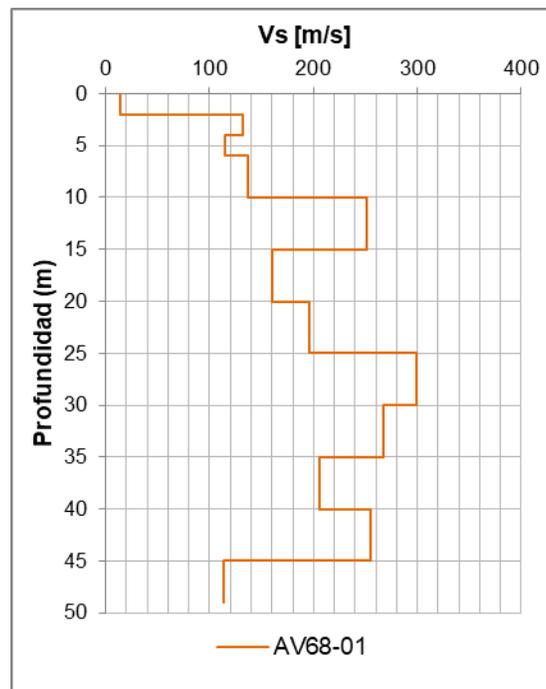


Figura 5.2.1-17 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-AV68-1.

Los resultados de los ensayos dinámicos ayudan a rectificar la caracterización del suelo, teniendo en cuenta sin embargo que los resultados pueden variar dependiendo de la zona donde se ejecute el ensayo, las condiciones de ruido ambiental al realizar ensayos in-situ y su contraste con los ensayos de laboratorio, ya que estos últimos suelen ser realizados con muestras alteradas.

Tabla 5.2.1-31 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.1

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	ϕ (°)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 5,00	37	68		48,6	0,25	0,09	0,62
U2	5,00 - 24,00	12	43		20,1	0,28	0,02	0,80
U3	24,00 - 33,00	20	64		24,5	0,72	0,13	1,41
U4	33,00 - 40,00	27	77		24,5	0,37	0,04	1,17
U5	40,00 - 75,00	36	109		46,6	0,32	0,04	1,09

• Tramo 2.2

El tramo 2.2 se encuentra ubicado sobre la calle 26 sur entre las Carrera 51 y la Carrera 41 bis. De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Aluvial 200. La estratigrafía del tramo se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena a diferentes profundidades. En la Tabla 5.2.1-32 se relaciona la estratigrafía considerada, presentándose:

- En los primeros 7 metros un estrato arcilloso con humedad promedio de 20%, índice de plasticidad promedio de 23% y valor de N₆₀ promedio de 12 golpes.
- De 7 a 16 m, un estrato arcillo-limoso con algo de arena, con valores de humedad del 30 %, índice de plasticidad promedio de 16% y valores de N₆₀ promedio de 18 golpes. Entre 16 y 25 m se encuentra un estrato de comportamiento cohesivo, donde la humedad natural se mantiene con un valor promedio de 25% y un índice de plasticidad promedio de 25%.
- Entre 25 y 37 m, una arcilla limosa que presenta un número de golpes N₆₀ promedio de 27, humedades del 25% e índice de plasticidad de 28%.
- De 50 a 75 m, una arcilla, con un porcentaje de humedad del 25%, índice de plasticidad de 24% y valores de N₆₀ promedio de 48 golpes, lo que caracteriza este estrato como el más competente de los estratos de comportamiento cohesivo.

Entre 37 y 50 m se destaca la presencia de un estrato granular, evidenciado por el aumento en los valores de N₆₀, cuyo valor promedio es de 50 golpes, disminución de la humedad natural con un valor promedio de 15% y un índice de plasticidad promedio de 8, con intercalaciones de varios niveles no plásticos. Este tramo está conformado por una arena limosa con lentes de arcilla.

Tabla 5.2.1-32 Estratigrafía del Tramo 2.2

Estrato	Prof. (m)	Descripción
U1	0 - 7	(Qsa) Arcillas con lentes de limo, humedad baja, plasticidad alta, consistencia muy firme.
U2	7 - 16	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arenas limo-arcillosas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U3	16 - 25	(Qsa) Arcillas con lentes de limo y arenas limosas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U4	25 - 37	(Qsa) Arcillas con lentes de limo, humedad media, plasticidad alta, consistencia firme.
U5	37 - 50	(Qsa) Arenas limosas con lentes de arcilla, humedad muy baja, plasticidad media.
U6	50 - 75	(Qsa) Arcillas de humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.

Los parámetros de resistencia de diseño de los estratos cohesivos del tramo, U1, U2, U3, U4 y U6, se evaluaron a partir del análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de

campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT, obteniéndose los valores relacionados en la Tabla 5.2.1-33. A partir de estos valores se evidencia que el estrato U1 presenta una consistencia muy firme, con un valor de Su promedio de 113 kPa. El estrato U2 presenta un valor de Su de 49 kPa, el estrato U3 presenta una consistencia medio firme con un valor Su de 51 kPa, el estrato U4 tiene una consistencia firme con un valor de 71 kPa y el U6 presenta una consistencia de firme de 69 kPa.

Tabla 5.2.1-33 Valores de Su obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	7	125	52	162
U2	7	16	52	44	50
U3	16	25	58	39	54
U4	25	37	81	60	78
U6	50	75	95	16	95

Los valores de resistencia al corte no drenada fueron obtenidos mediante ensayos in-situ realizados en el Tramo 2.2 y mediante ensayos de laboratorio. Dentro los parámetros de diseño seleccionados, el ángulo de fricción fue obtenido a partir de correlaciones y ensayos triaxiales, evidenciándose la presencia de lentes de arena en los estratos U2 y U5. El parámetro de ángulo de fricción seleccionado para el estrato U5 es de 38°.

Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los resultados de PMT, CPTu, ensayos de compresión confinada y de correlaciones. En la Tabla 5.2.1-34 se relacionan los parámetros de resistencia, deformación y consolidación, a partir de la cual se determinó que el perfil es tipo D, de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

En la siguiente figura se presenta el perfil de velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de la línea MASW-MAM LS-PLMB-ROS-1, en la cual se presenta una velocidad de onda promedio en los primeros 30m de 315 m/s, por lo cual se presenta un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos. Adicionalmente, se presenta la velocidad de onda obtenida del ensayo Down-Hole ejecutado en la perforación PT-ROS-01, en la cual se puede evidenciar que la velocidad de onda (Vs) promedio es de 340 m/s en los primeros 30 m, que concuerda con la del ensayo geofísico MASW-MAM tomado sobre el mismo sitio del sondeo.

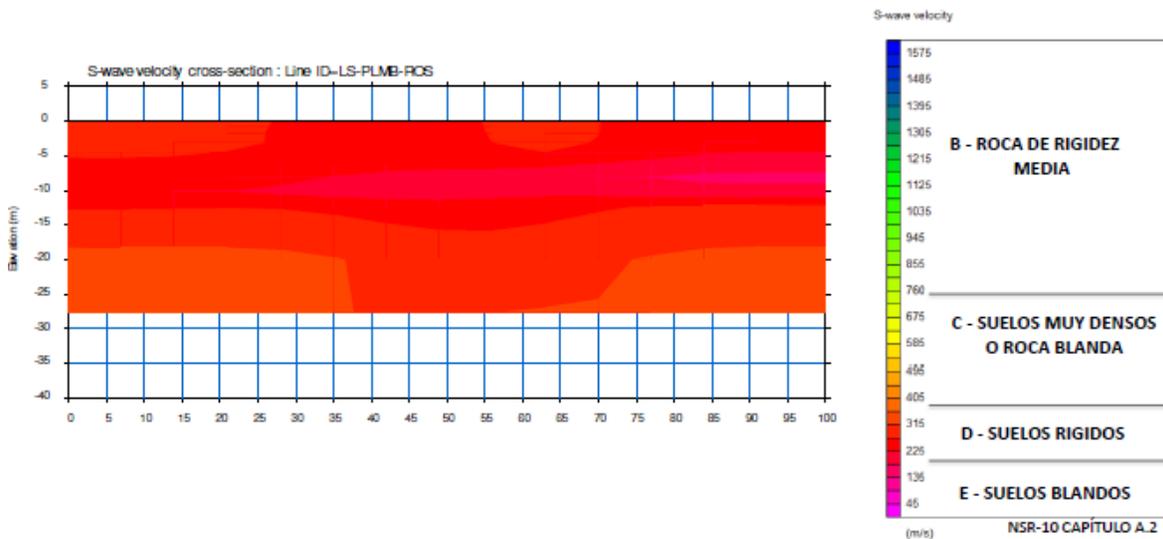


Figura 5.2.1-18 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-ROS-1

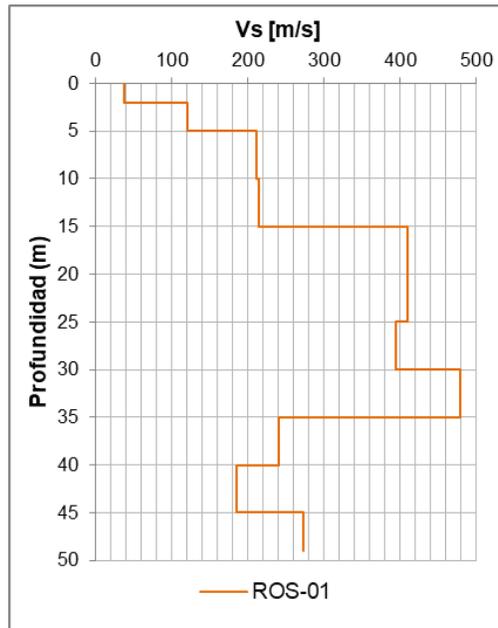


Figura 5.2.1-19 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-ROS-1.

Los resultados de los ensayos dinámicos ayudan a rectificar la caracterización del suelo, teniendo en cuenta que los resultados pueden variar dependiendo de la zona en donde se ejecuta el ensayo, el ruido ambiental al realizar ensayos in-situ y el contraste con los ensayos de laboratorio, ya que estos suelen ser hechos con muestras alteradas.

Tabla 5.2.1-34 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.2

Estrato	Prof (m)	N_{60}	Su (kPa)	ϕ (°)	Es (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 7,00	23	113		29,0	0,42	0,05	1,14
U2	7,00 - 16,00	17	49		47,3	0,24	0,05	0,46
U3	16,00 - 25,00	28	51		33,7	0,19	0,04	0,86
U4	25,00 - 37,00	37	73		31,0	0,69	0,11	2,12
U5	37,00 - 50,00	50		38	28,0			
U6	50,00 - 75,00	64	69		20,7	0,33	0,04	1,13

- Tramo 2.3

El tramo 2.3 se encuentra ubicado sobre la Calle 26 sur entre las Carrera 49 bis y la Transversal 35 Autopista Sur. De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá el tramo se encuentra en la zona Aluvial 100. La estratigrafía del tramo se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena a diferentes profundidades.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

- En los primeros 5,5 metros se presenta un estrato arcilloso con presencia de lentes de arena, humedad promedio de 25%, índice de plasticidad promedio de 21%, valor de N_{60} promedio de 8 golpes, evidenciándose la presencia de lentes arenosos no plásticos.
- De 5,5 a 17,5 m se encuentra un estrato de arcilla limosa con algo de arena, con una humedad de 21%, índice de plasticidad promedio de 20% y valores de N_{60} promedio de 8 golpes.
- Entre 17,5 y 29,5 m se presenta un estrato de arcilla limosa y algo de arena, el cual se evidencia con el aumento en los valores de N_{60} , valor promedio de 13 golpes, un valor de humedad natural del 25% y un índice de plasticidad promedio de 29%.
- De 29,5 a 34 m, se tiene una arcilla con lentes de limo que presenta un número de golpes N_{60} promedio de 19, humedades de 25% e índices de plasticidad de 20%.
- De 34 a 42,5 m, se encuentra arcilla con lentes de arena, se evidencia una humedad natural promedio del 30%, con un número de golpes N_{60} de 20 y el índice de plasticidad promedio de 23%.
- Entre 42,5 y 70 m, se presenta arcilla con lentes de limo y arena con humedad natural promedio de 30%, número de golpes promedio N_{60} de 17 golpes e índices de plasticidad que varían entre 8 y 12%.

En la Tabla 5.2.1-35 se describe la estratigrafía del Tramo 2.3:

Tabla 5.2.1-35 Estratigrafía del Tramo 2.3

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	5,5	(Qsa) Arcillas con lentes de arena, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U2	5,5	17,5	(Qsa) Arcillas con lentes de limos, arenas y algo de materia orgánica, humedad baja, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U3	17,5	29,5	(Qsa) Arcillas con lentes de limos, arenas y algo de materia orgánica, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
U4	29,5	34	(Qsa) Arcillas y limos, humedad baja, plasticidad alta, consistencia muy firme.
U5	34	42,5	(Qsa) Arcilla con lentes de arena arcillo-limosa, humedad baja, plasticidad alta, consistencia muy firme.
U6	42,5	70	(Qsa) Arcillas con lentes de limos y arenas, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

Los parámetros de resistencia de diseño de los estratos se evaluaron con base en de los valores de compresión confinada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, $CPTu$ y correlaciones a partir de SPT.

En cada uno de los estratos se realizó el análisis estadístico, obteniéndose los valores presentados en la Tabla 5.2.1-36, en los cuales se evidencia que el estrato U1 presenta una consistencia firme con un valor promedio de S_u de 74 kPa. El estrato U2 presenta un valor de S_u de 49 kPa con una consistencia medio firme, el estrato U3 presenta una consistencia firme con un valor S_u de diseño de 79 kPa, el estrato U4 tiene una consistencia muy firme con un valor de 134 kPa, la unidad U5 de consistencia muy firme con 168 kPa en promedio del valor de S_u y el U6 presenta una consistencia firme con un valor de S_u de 72 kPa.

Tabla 5.2.1-36 Valores de Su obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados.

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	A	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	5,5	77	67	77
U2	5,5	17,5	50	49	49
U3	17,5	29,5	90	61	86
U4	29,5	34	171	88	143
U5	34	42,5	238	91	177
U6	42,5	70	77,6	67,0	71,9

En la Tabla 5.2.1-36 se grafican todos los valores de resistencia al corte no drenada obtenidos por los ensayos de laboratorio e in-situ realizados en el tramo 2.3 y los parámetros de diseño seleccionados para cada uno de ellos que incluyen los módulos de elasticidad obtenidos a partir de los datos de compresiones inconfiadas, PMT, DMT y correlaciones de Su.

En la Tabla 5.2.1-37 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 2.3, a partir de los cuales se determinó que el perfil es tipo D, de acuerdo a la clasificación de perfiles de suelos propuesta por la NSR-10.

Tabla 5.2.1-37 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.3

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 5,50	20	74	20.5	0.418	0.047	1.057
U2	5,50 - 17,50	9	49	13.6	0.396	0.051	0.765
U3	17,50 - 29,50	15	79	20.5	0.764	0.097	1.638
U4	29,50 - 34,00	20	134	29.7	0.437	0.046	1.431
U5	34,00 - 42,50	27	168	35.0	0.384	0.042	1.267
U6	42,50 - 70,00	27	72	36.1	0.312	0.029	1.174

- Tramo 2.4

Este tramo se encuentra entre la Avenida Primero de Mayo con NQS y la Calle 8 Sur con Carrera 28. Según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Aluvial 200 y Aluvial 100, presentando:

- Entre 0 y 10 m de profundidad (estrato U1), arcillas con lentes de arena y gravas. Los materiales del estrato U1 presentan humedad promedio de 26%, índice de plasticidad promedio de 14% y número de golpes N₆₀ promedio de 14.
- Entre 10 y 21 m de profundidad, arcillas y limos con algo de arena, con humedades que varían entre 30 y 40%, índice de plasticidad promedio de 22% y número de golpes N₆₀ promedio de 14.
- Entre 21 y 32 m de profundidad, arcillas y limos con lentes de arena y gravas. Estos materiales tienen humedad promedio de 40%, índice de plasticidad promedio de 21% y número de golpes N₆₀ promedio de 18.

- Entre 32 y 40 m de profundidad, arcillas con algo de limos y arenas, las cuales presentan humedad promedio de 28%, índice de plasticidad entre 18 y 19% y número de golpes N_{60} promedio de 22.
- Por último, entre 40 y 70 m de profundidad, arcillas, arenas limosas y arenas arcillosas con lentes de limos, los cuales presentan humedad promedio de 24%, índice de plasticidad promedio de 13% y un número de golpes promedio N_{60} de 42.

En la Tabla 5.2.1-38 se describe la estratigrafía definida para este tramo.

Tabla 5.2.1-38 Estratigrafía del Tramo 2.4

Estrato	Prof. (m)		Descripción
	de	A	
U1	0	10	(Qsa) Arcillas con lentes de arena y gravas, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
U2	10	21	(Qsa) Arcillas y limos con algo de arena, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
U3	21	32	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arena y gravas, humedad media, plasticidad alta, consistencia firme.
U4	32	40	(Qsa) Arcillas con algo de limos y arenas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
U5	40	70	(Qsa) Arcillas, arenas limosas y arenas arcillosas con lentes de limos, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.

Se determinó que la cantidad de finos presentes en los diferentes estratos del Tramo 2.4, es mayor por encima de los 40 m de profundidad, reduciéndose significativamente entre los 40 y 70 m de profundidad. Situación similar se presenta con los valores de N_{60} , manifestándose por encima de los 40 m, un mayor número de valores comprendido entre 0 y 25 golpes, mientras que entre 40 y 70 m de profundidad se presentan valores de N_{60} entre 10 y 70 golpes.

En la Tabla 5.2.1-39 se relacionan los valores de S_u obtenidos mediante análisis estadístico de los datos de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPT_u y correlaciones a partir de SPT. De acuerdo a esta información, se evidencia que el estrato U1 presenta una consistencia firme presentando un valor promedio de S_u de 50kPa. El estrato U2 presenta un valor de S_u de 82kPa, el estrato U3 presenta una consistencia firme con un valor S_u de diseño de 63kPa, el estrato ubicado entre 32 y 40 m presenta una resistencia S_u de 74kPa y el estrato U5 un S_u de 90kPa equivalente a una consistencia firme.

Tabla 5.2.1-39 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	A	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	10	57,6	48,5	43,0
U2	10	21	83,0	81,4	80,4
U3	21	32	64,0	61,7	61,9
U4	32	40	84,2	58,6	80,6
U5	40	70	99,1	75,0	95,7

Es de anotar que no se realizaron ensayos de CPT_u a profundidades mayores de 35 m, lo que se refleja en el valor de S_u , que se ve influenciado por pruebas in-situ, correlaciones y resultados de laboratorio. Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los valores de DMT, PMT, CPT_u , ensayos de compresión inconfiada y correlaciones.

En la siguiente figura, se presenta el perfil de velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de la línea MASM-MAM LS-PLMB-NQS, en la cual se presenta una velocidad de onda promedio en los primeros 30m de 211.9 m/s. Adicionalmente, se presenta la velocidad de onda (V_s) evaluada a partir de ensayo Down-Hole PT-NQS-01, donde se puede observar que los primeros 45 m la velocidad de onda varían de 120 a 200 m/s. De acuerdo a los análisis realizados anteriormente, se evidencia que se presenta un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

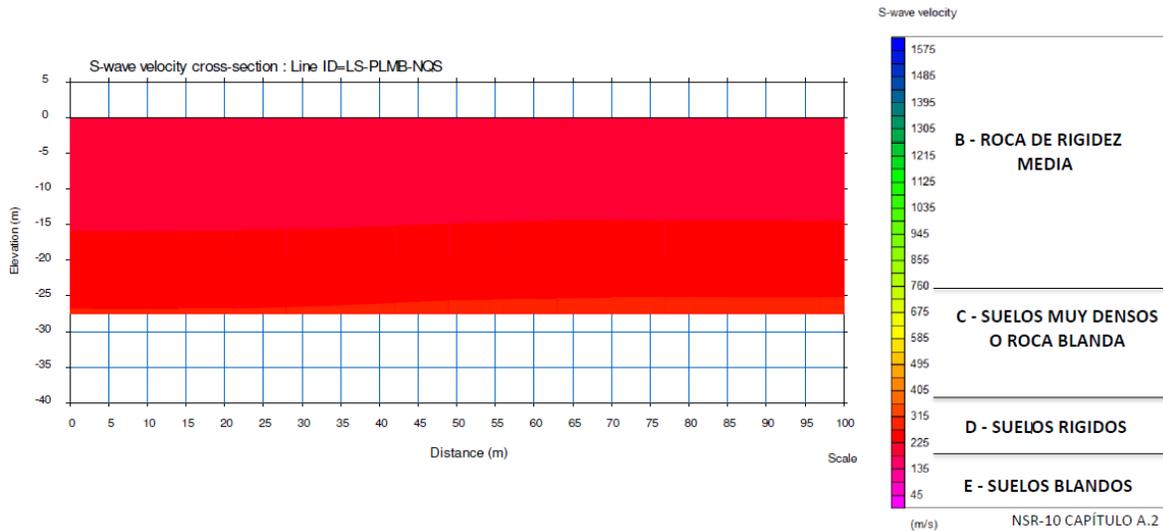


Figura 5.2.1-20 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-NQS

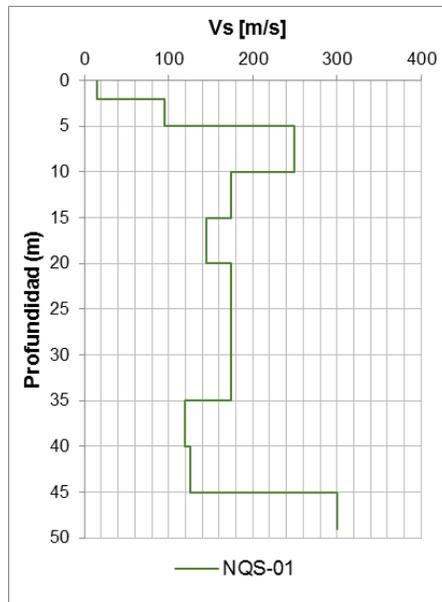


Figura 5.2.1-21 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-NQS-01

En la Tabla 5.2.1-40 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 2.4.

Tabla 5.2.1-40 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.4

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 10,00	18	50	17,2	0.358	0.036	1.14
U2	10,00 - 21,00	19	82	20,9	1.2	0.22	1.96
U3	21,00 - 32,00	24	63	18,2	0.487	0.048	2.20
U4	32,00 - 40,00	29	74	22,3	0.391	0.042	1.14
U5	40,00 - 70,00	55	90	31,7	0.298	0.033	1.00

- Tramo 2.5

El tramo 2.5 se encuentra ubicado entre la Calle 8 Sur con Carrera 28 y la Avenida Caracas con Calle 1. Según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Aluvial 100 y Aluvial 50, presentando:

- Hasta los 4 m de profundidad, arcilla con poca arena, con humedad promedio de 27%, índice de plasticidad promedio de 22% y número de golpes promedio N₆₀ de 15.
- Entre 4 y 16 m de profundidad, arcilla con algo de arena y grava, con humedad alrededor del 30%, índice de plasticidad promedio de 20% y número de golpes promedio N₆₀ de 15.
- Entre 16 y 34,5 m, arcilla y limo con lentes de arena y grava, con humedad promedio de 35%, índice de plasticidad promedio de 22% y número de golpes promedio N₆₀ de 28.
- De 34,5 a 45m de profundidad, arcillas con humedades del 20%, índices de plasticidad del 15% y número de golpes promedio de N₆₀ de 37.
- Por último, entre 45 y 70m de profundidad, el mismo material del anterior estrato, con humedad promedio del 18%, índice de plasticidad promedio de 14% y número de golpes N₆₀ promedio de 53.

La estratigrafía del Tramo 2.5 se resume en la Tabla 5.2.1-41:

Tabla 5.2.1-41 Estratigrafía del Tramo 2.5

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	4	(Qsa) Arcilla de tonalidades marrón amarillento con poca arena, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme, medio suelta.
U2	4	16	(Qsa) Arcilla con algo de arena y gravas de tonalidades gris oscuro a claro, humedad baja, plasticidad media a alta, consistencia blanda.
U3	16	34,5	(Qsa) Arcillas y limos con lentes de arena y gravas de tonalidades negro marrón a gris pardusco, humedad baja, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U4	34,5	45	(Qsa) Arcillas de tonalidades gris oliva a gris pardusco con algo de arena, humedad baja, plasticidad media, consistencia firme.
U5	45	70	(Qsa) Arcillas de tonalidad negra a gris claro con trazas de arenas limosas, humedad muy baja, plasticidad media, consistencia firme.

Con relación a la cantidad de finos presentes en los diferentes estratos del Tramo 2.5, se estableció que a profundidades menores de 34,5 m, se presenta un gran porcentaje de finos, mientras que entre los 34,5 y 70 m de profundidad se presenta una menor cantidad. El índice de plasticidad varía entre 10 y 40% en los estratos superiores a 45 m, mientras que por debajo de esta profundidad se presentan índices de plasticidad menores al 30%.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En la Tabla 5.2.1-42 se presentan los valores de S_u obtenidos a partir del análisis estadístico de los datos de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT, en base al análisis estadístico. De acuerdo con esta información, se evidencia que el estrato U1 presenta una consistencia firme, con valor promedio de S_u de 69kPa. El estrato U2 presenta un valor de S_u de 24kPa, el estrato U3 presenta una consistencia firme con un valor S_u de diseño de 51kPa, el estrato ubicado entre 32 y 40 m presenta una resistencia S_u de 57kPa y el estrato U5 un S_u de 88kPa, caracterizándose por una consistencia firme.

Tabla 5.2.1-42 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0,0	4,0	58,2	72,9	75,9
U2	4,0	16,0	25,1	21,3	25,6
U3	16,0	34,5	55,8	42,3	55,0
U4	34,5	45,0	63,6	45,7	61,8
U5	45,0	70,0	93,0	78,8	92,1

La resistencia S_u correspondientes a profundidades mayores de 40 m, fueron obtenidas sin información de CPTu, por lo que se aclara que los valores obtenidos están influenciados por las pruebas in-situ, correlaciones y resultados de laboratorio. Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los resultados de DMT, PMT, CPTu, ensayos de compresión inconfiada y correlaciones.

En la siguiente figura, se presenta el perfil de velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de la línea MASM-MAM, LS-PLMB-SAN, en la cual se presenta una velocidad de onda promedio en los primeros 30m de 223.7 m/s. Adicionalmente, se presenta la velocidad de onda (V_s) evaluada a partir de ensayo Down-Hole PT-SAN-01, donde se puede observar que los primeros 40 m la velocidad de onda varía de 200 a 280 m/s. De acuerdo a los análisis realizados, se establece que se presenta un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

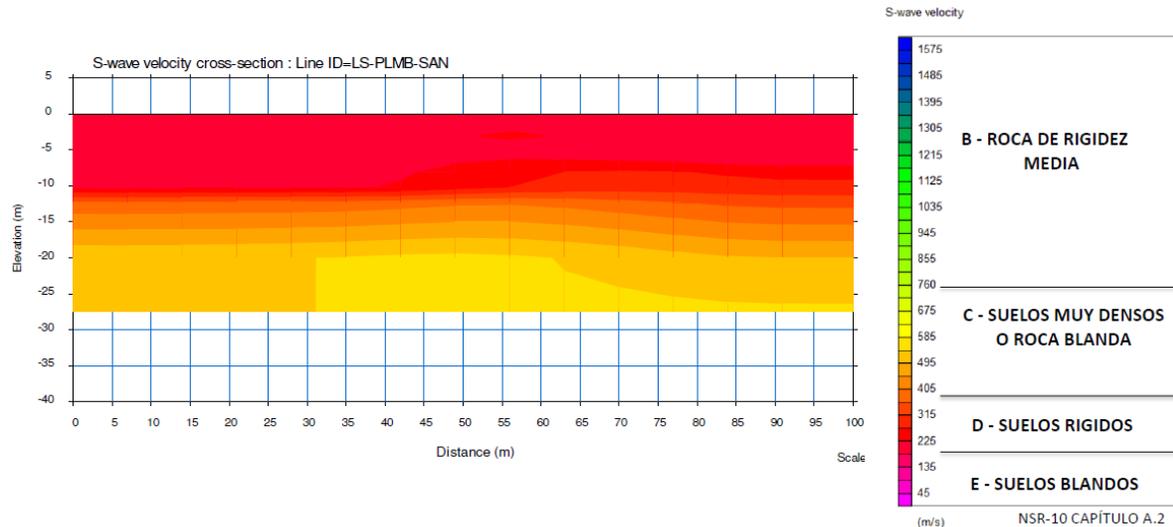


Figura 5.2.1-22 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-SAN

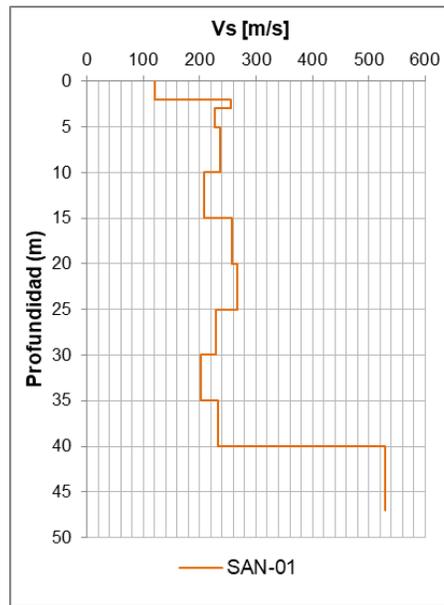


Figura 5.2.1-23 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-SAN-01

En la Tabla 5.2.1-43 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 2.5.

Tabla 5.2.1-43 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 2.5

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 4,00	15	69	20,8	0.41	0.05	1.62
U2	4,00 - 16,00	24	24	12	0.31	0.05	0.91
U3	16,00 - 34,50	30	51	15,3	0.48	0.07	1.16
U4	34,50 - 45,00	33	57	28,7	0.36	0.06	0.54
U5	45,00 - 70,00	37	88	26,3	0.40	0.04	1.40

- Tramo 3.1

El Tramo 3.1 se ubica sobre el corredor de la Avenida Caracas entre la Calle 1ra y la Calle 9, en la zona Aluvial 50 y parte en Piedemonte B, según la microzonificación sísmica de Bogotá. Este tramo se dividió en 6 sub-zonas debido a los diferentes perfiles de suelo encontrados, a la presencia de roca a diferentes profundidades o la aparición de niveles de gravas. El Tramo 3.1 se caracteriza por presentar un suelo cohesivo, conformado predominantemente por arcilla y arcilla arenosa de consistencia firme a muy firme, con intercalaciones de arena y lentes de materia orgánica. La estratigrafía de este tramo se resume en la Tabla 5.2.1-44.

Tabla 5.2.1-44 Estratigrafía del Tramo 3.1

Estrato	Prof. (m)		Descripción
	de	a	
U1	0	15	(Qsa) Arcillas limosas color gris pardusco a marrón oscuro con intercalaciones de turba limo-arcillosa, con presencia de gravas de arenisca cuarzosa de hasta 6cm, humedad media, plasticidad alta a muy alta, consistencia firme.
U2	15	38	(Qsa) Arcillas de tonalidades grisáceas y marrones, con intercalaciones de arena fina gris claro entre 15 y 20m, a partir de los 22,0m se presentan intercalaciones de turba con arcilla limosa y alto contenido de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad muy alta, consistencia medio firme.
U3	38	54	(Qsa) Gravas a bloques sub-redondeados de arenisca en matriz areno arcillosa, muy densa.
U4	54	75	(Qsa) Gravas a bloques sub-redondeados de arenisca en matriz areno arcillosa, muy densa.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, VST de campo, Veleta de Laboratorio, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, valores de DMT, valores de PMT, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-45 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados.

Tabla 5.2.1-45 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del Tramo 3.1

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	15	45	38	69
U2	15	38	58	45	58

Los valores de S_u fueron obtenidos en los diferentes ensayos. El estrato U1 presenta un valor promedio de S_u de 69 kPa y la resistencia al corte no drenada promedio del estrato U2 es de 58 kPa. Los datos de ángulo de fricción interna para los estratos granulares U3 y U4, fueron obtenidos de correlaciones a partir del valor de SPT. Se seleccionó el valor mínimo como parámetro de diseño, presentándose un valor de ϕ de 31° para la unidad U3 y ϕ de 37° para el estrato U4. Los módulos de elasticidad fueron obtenidos a partir de los datos de DMT, PMT, CPTu, ensayos de compresión confinada y de correlaciones.

Para el Tramo 3.1 se realizó la línea MASM-MAM LS-PLMB-HOS, cuyos resultados se muestran en la figura, obteniéndose una velocidad de onda de corte promedio en los primeros 30 metros de 225 m/s, a partir del cual se determina un perfil de suelo tipo D (NRS-10).

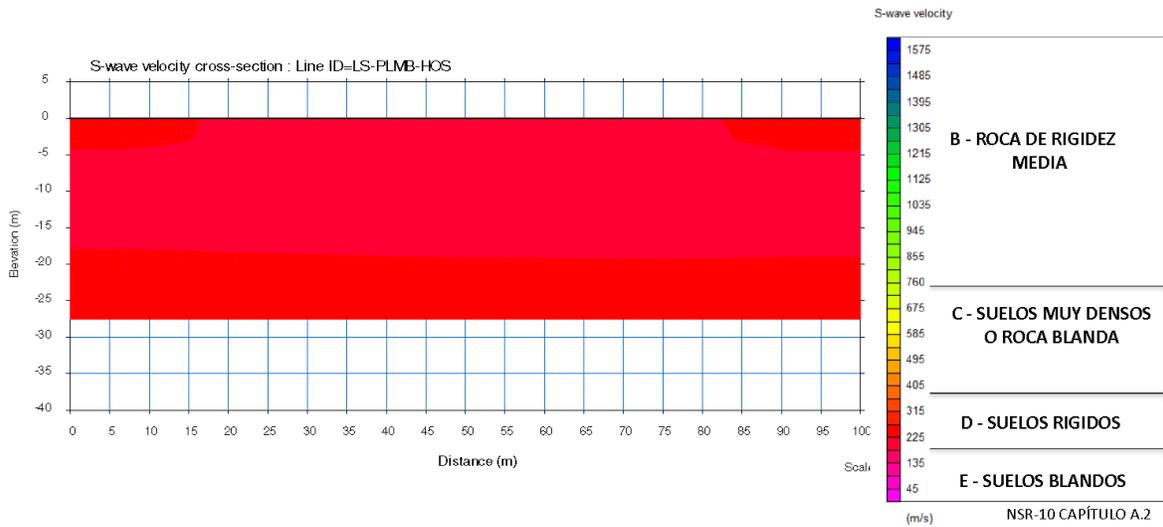


Figura 5.2.1-24 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-HOS

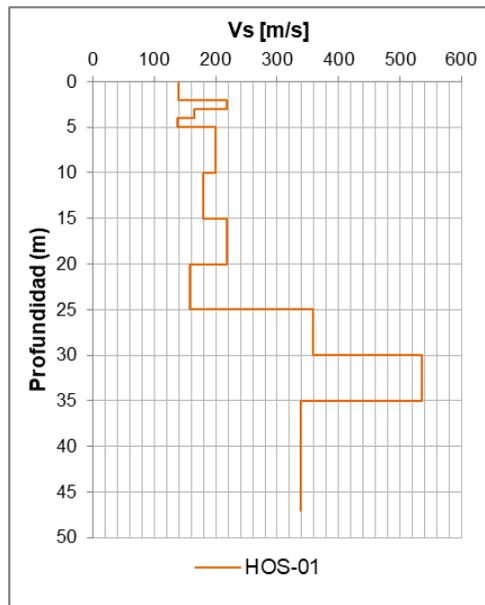


Figura 5.2.1-25 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-HOS-1.

Los ensayos geofísicos MASW-MAM, Down-Hole y Bender Element son coherentes en sus resultados, obteniendo valores de aproximadamente 200 m/s en los primeros 30 metros de análisis.

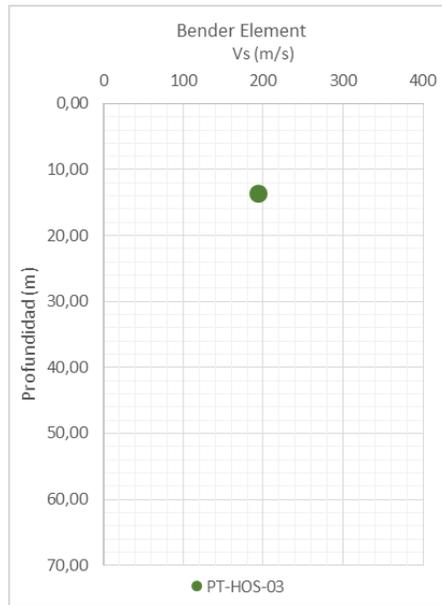


Figura 5.2.1-26 Velocidad de onda Vs (m/s) de ensayo Bender Element.

En la Tabla 5.2.1-46 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación del Tramo 3.1. El perfil de suelo definido a partir de los parámetros de resistencia, coincide con el perfil de suelo obtenido con base en la línea sísmica, correspondiente a un perfil tipo D-Suelos Rígidos.

Tabla 5.2.1-46 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.1

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	φ (°)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 15,00	4	73		6,37	0,74	0,06	0,75
U2	15,00 - 38,00	8	38		7,39	0,46	0,11	1,30
U3	38,00 - 54,00	40		31,00	21,40			
U4	54,00 - 70,00	50		37,00	53,60			

- Tramo 3.2.1

El tramo 3.2.1 se encuentra ubicado sobre la Avenida Caracas entre la Calle 9 y la Calle 13. Según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, este tramo se encuentra en la zona Piedemonte B presentando las siguientes características:

- Entre 0 y 16 m de profundidad, está conformado por arcillas y arcillas limosas, con gravas de hasta 4 cm, humedad promedio de 26%, índice de plasticidad promedio de 20% y número de golpes promedio N₆₀ de 25.
- El estrato U2 ubicado entre 16 y 31 m de profundidad, presenta arcillas y limos arcillosos con gravas y guijos de arenisca cuarzosa y algo de arena, humedad promedio de 37%, índice de plasticidad promedio de 22% y número de golpes promedio N₆₀ de 24.
- Entre 31 y 55 m de profundidad se encuentran arcillas y limos arcillosos con gravas de arenisca cuarzosa y algo de arena, humedad promedio de 49%, índice de plasticidad promedio de 18% y número de golpes promedio N₆₀ de 19.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

- Por último, entre 55 y 70 m de profundidad se encuentran arcillolitas abirragadas, en contacto con suelo tipo IC, seguido de roca tipo IIA, que presenta RQD de 79%.

En la Tabla 5.2.1-47 se presenta la estratigrafía encontrada para del Tramo 3.2.1:

Tabla 5.2.1-47 Estratigrafía del Tramo 3.2.1

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	16	(Qsa) Arcilla y arcilla limosa con tonalidades marrón amarilla a marrón oscura, con presencia de gravas de hasta 4 cm y contenido bajo a medio de materia orgánica, humedad baja a medio, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U2	16	31	(Qsa) Arcilla y limo arcilloso color marrón oscuro a marrón amarillento, contenido de materia orgánica medio, con presencia de gravas y guijos de arenisca cuarzosa y algo de arena, humedad media a alta ,plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U3	31	55	(Qsa) Arcilla y limo arcilloso con presencia de gravas de arenisca cuarzosa y algo de arena, contenido de materia orgánica de medio a alto, humedad media, plasticidad media, consistencia medio firme.
U4	55	70	(Tpb) Arcillolita abigarrada, con evidencia de contacto de contacto transicional con suelo tipo IC a Roca tipo IIA, RQD 79%.

Los valores de S_u relacionados en la Tabla 5.2.1-48 fueron obtenidos a partir del análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPT_u y correlaciones a partir de SPT

Tabla 5.2.1-48 Valores de S_u obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	16	39,8	27,5	43,7
U2	16	31	57,2	24,4	56,3
U3	31	55	23,9	49,1	17,0

En la siguiente figura, se presenta el perfil de velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de la línea MASM-MAM LS-PLMB-CLL10. Adicionalmente, se presenta la velocidad de onda (V_s) obtenida a partir de ensayo Down-Hole en la perforación PT-CLL10-01. De acuerdo a los análisis realizados anteriormente, se evidencia que se presenta un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

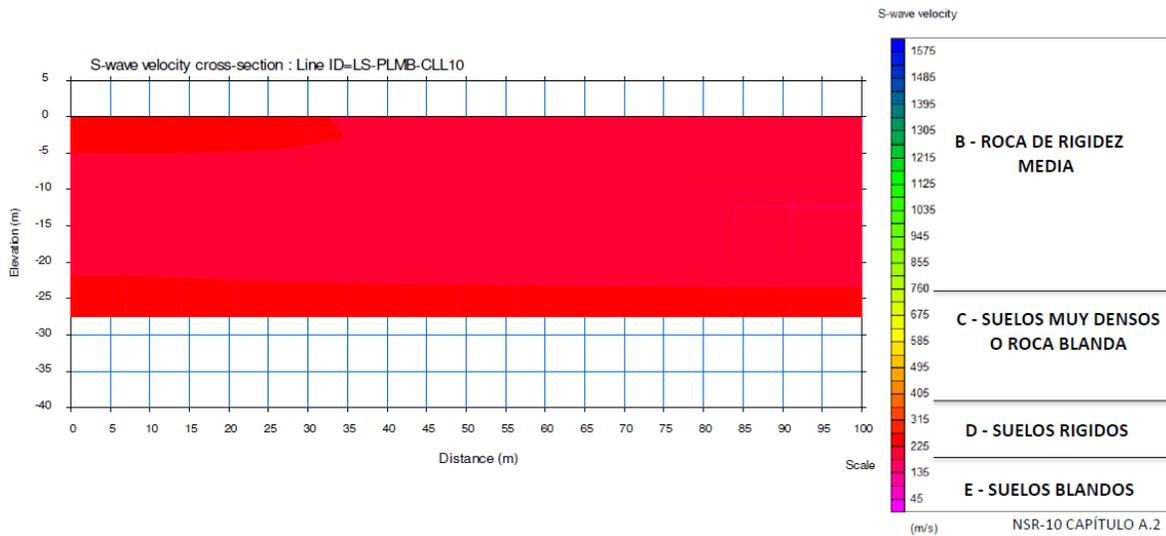


Figura 5.2.1-27 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL10.

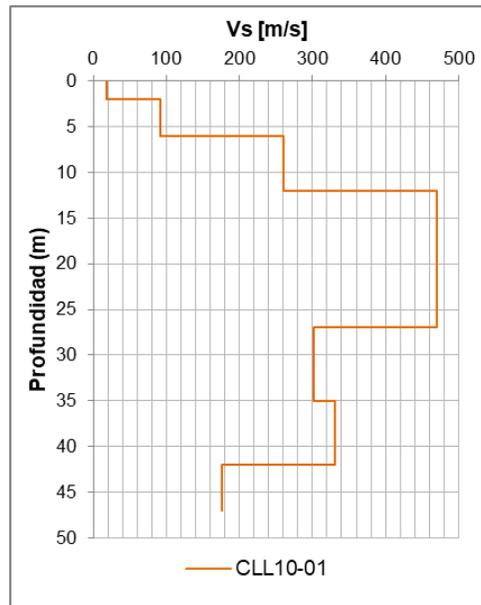


Figura 5.2.1-28 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-CII10-01

En la Tabla 5.2.1-49 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 3.2.1.

Tabla 5.2.1-49 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.1

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	σ_{ci} (MPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 16,00	15	37		20.57	0.55	0.09	1.00
U2	16,00 - 31,00	20	46		10.27	0.37	0.08	0.91
U3	31,00 - 55,00	18	30		13.33	0.34	0.04	1.57
U4	55,00 - 70,00	60		1,19	183.00			

- Tramo 3.2.2

El tramo 3.2.2 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calles 13 y 31, en la zona Piedemonte B, de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá. El tramo 3.2.2 presenta un perfil comportamiento principalmente cohesivo, conformado por arcillas y arcillas limosas a lo largo de los 75m de exploración (Tabla 5.2.1-50).

Tabla 5.2.1-50 Estratigrafía del Tramo 3.2.2

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	10	(Qsa) Arcillas y arcillas limosas color marrón oscuro a gris parduscas con presencia de gravas, humedad baja, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U2	10	20	(Qsa) Arcillas y arcillas arenosas marrón pardusco, con presencia de gravas de arenisca y algo de materia orgánica, humedad media, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U3	20	30	(Qsa) Arcillas con tonalidades marrón oscura, con presencia de materia orgánica y turba limo-arcillosa, con algo de gravas, humedad baja, plasticidad alta a muy alta, consistencia firme.
U4	30	41	(Qsa) Arcilla marrón oliva y gris pardusco, con algo de arenas y trazas de gravas, humedad media, plasticidad alta a muy alta, consistencia firme.
U5	41	60	(Qsa) Arcillas color gris con algo de arena, presencia de gravas, humedad muy bajas, plasticidad alta a muy alta, consistencia muy firme.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, VST de campo, Veleta de Laboratorio, correlaciones a partir del resultados de DMT, correlaciones a partir de resultados de PMT, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-51 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados, para los estratos U1, U2, U3 y U4.

Tabla 5.2.1-51 Resultados de los análisis estadísticos realizados en los estratos U1, U2, U3, y U4.

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	10	49,9	44,2	74,3
U2	10,0	20,0	44,7	35,9	45,7
U3	20,0	30,0	52,4	47,8	52,5
U4	30,0	41,0	57,0	45,1	56,7

El estrato U1 presenta un valor promedio de S_u de 56kPa; la resistencia al corte no drenada promedio del estrato U2 es de 42kPa; el estrato U3 presenta un valor de S_u promedio de 51kPa, por su parte el valor promedio del estrato U5 es de 53kPa y el valor promedio de S_u del estrato U6 es de 232kPa.

Para el Tramo 3.2.2 se realizó la línea MASM-MAM LS-PLMB-CLL26, en la cual se obtuvo una velocidad de onda de corte V_s promedio en los primeros 30m de 202.9/s, a partir de la cual se definió un perfil de suelo tipo D.

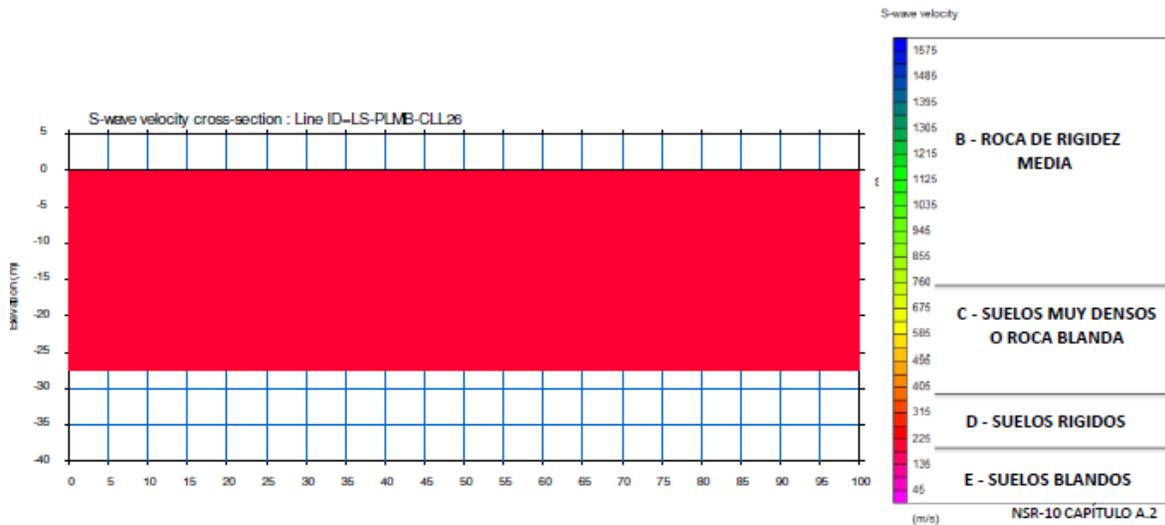


Figura 5.2.1-29 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL26

En la tabla de Tabla 5.2.1-52 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizadas para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 4.2.2. El perfil de suelo obtenido a partir de los parámetros de resistencia, coincide con el perfil obtenido a partir de la línea sísmica, es decir, perfil de suelo tipo D-Suelos Rígidos.

Tabla 5.2.1-52 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.2

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 10,00	4	56	22.40	0.54	0.08	1.15
U2	10,00 - 20,00	8	42	8.00	0.48	0.10	1.09
U3	20,00 - 30,00	15	51	26.24	0.34	0.08	0.81
U4	30,00 - 41,00	15	53	33.04	0.34	0.04	0.91
U5	41,00 - 70,00	15	232	35.90	0.29	0.04	0.81

- Tramo 3.2.3

El tramo 3.2.3 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calle 30 y Calle 37, en la zona Piedemonte B, según microzonificación sísmica de Bogotá. En la perforación de 70 m ejecutada en este tramo, no se encontró roca de la formación Bogotá. En la Tabla 5.2.1-53 se presenta la estratigrafía definida para el Tramo 3.2.3, correspondiente a un perfil de suelo cohesivo, con predominancia de arcilla y arcillas arenosas de consistencia firme a muy firme, con intercalaciones de arena y lentes de materia orgánica, hasta los 35 m, profundidad a partir de la cual predomina el comportamiento granular.

Tabla 5.2.1-53 Estratigrafía del Tramo 3.2.3

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	6	(Qsa) Arcilla y arcilla limosa color marrón oscura a beige, con presencia de arenas finas, fragmentos de grava y alto contenido de materia orgánica en los primeros 4m, humedad media a alta, plasticidad media, consistencia firme.
U2	6	12	(Qsa) Limo y limo arenoso color marrón oscuro con presencia de gravas,

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estrato	Prof. (m)		Descripción
			quijos y bloques de arenisca cuarzosa, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
U3	12	22	(Qsa) Arcilla limosa y arcillas marrón oscuro con contenido de gravas y bloques de arenisca cuarzosa, con algo de arena de grano medio a grueso, humedad baja a media, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U4	22	35	(Qsa) Arcilla color marrón oscuro con presencia de contenido orgánico en los primeros 4m, intercalación con gravas de arenisco y arena de granos medios, humedad baja, plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U5	35	45	(Qsa) Gravas y bloques sub-angulares en matriz arcillosa de color marrón grisáceo, humedad media, plasticidad baja.
U6	45	70	Fracción gruesa de gravas a bloques de arenisca (Qza) en matriz arcillosa gris, muestra humedad baja a seca, no plástica ligeramente plástica.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión inconfiada, VST de campo, Veleta de Laboratorio, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPT_u , en la Tabla 5.2.1-54 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados.

Tabla 5.2.1-54 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del tramo 3.4.3

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	6	48	93	89
U2	6	12	45	54	44
U3	12	22	51	42	49
U4	22	35	40	17	38

El estrato U1 presenta un valor promedio de S_u de 77 kPa, la resistencia al corte no drenada promedio del estrato U2 es de 47 kPa, el estrato U3 presenta un valor de S_u promedio de 47 kPa y la unidad U4 presenta un S_u promedio de 32 kPa.

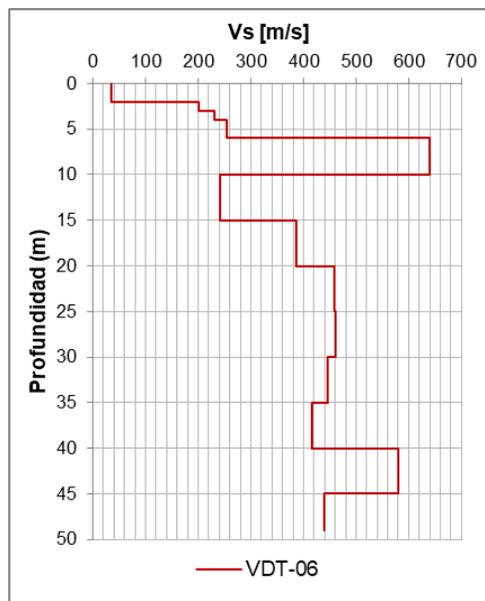


Figura 5.2.1-30 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-PLMB-VDT-06

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Para el tramo 3.4.3 se realizó un ensayo de Down-Hole en la perforación PT-PLMB-VDT-06, presentándose una velocidad de onda de corte promedio en los primeros 30 metros de 300 m/s, correspondiente a un perfil de suelo tipo D.

En la tabla de Tabla 5.2.1-55 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 3.2.3. El perfil de suelo determinado a partir de los parámetros de resistencia coincide con perfil de suelo obtenido con la información de la línea sísmica, un perfil de tipo D-Suelos Rígidos.

Tabla 5.2.1-55 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.2.3

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	ϕ (°)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 6,00	2	77		17.00	0.39	0.04	1.42
U2	6,00 - 12,00	9	43		17.10	0.25	0.03	0.61
U3	12,00 - 22,00	18	47		16.42	0.41	0.07	1.02
U4	22,00 - 35,00	18	32		13.57	0.98	0.01	1.81
U5	35,00 - 45,00	15		28	11.10			
U6	45,00 - 70,00	56		38	50.50			

- Tramo 3.3

El tramo 3.3 se encuentra ubicado sobre la Avenida Caracas entre la Calle 39 y la Calle 51, sobre a zona Piedemonte B según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, presentando las siguientes características:

- Entre 0 y 8 m de profundidad, se encuentra conformado por arcillas y arcillas limosas color marrón, con intercalaciones de arena y contenido de materia orgánica, la humedad promedio de este estrato es de 46%, su índice de plasticidad promedio de 23% y el número de golpes promedio N₆₀ de 18.
- El estrato U2 ubicado entre 8 y 26 m de profundidad, presenta arcillas y limos arenosos con intercalaciones de gravas finas y trazas de materia orgánica, humedad promedio de 32%, índice de plasticidad promedio de 21% y número de golpes promedio N₆₀ de 22.
- Entre 26 y 40 m profundidad se encuentran arcillas limosas con intercalaciones de arena y algo de gravas, con humedad promedio de 29%, índice de plasticidad promedio de 22% y número de golpes promedio N₆₀ de 42.
- Por último entre 40 y 70 m de profundidad se encuentra una arcillolita roja y gris.

En la Tabla 5.2.1-56 se describe la estratigrafía considerada para este tramo.

Tabla 5.2.1-56 Estratigrafía del Tramo 3.3

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	8	(Qsa) Arcillas y arcillas limosas color marrón, con intercalaciones de arena y contenido de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U2	8	26	(Qsa) Arcillas y limos arenosos color gris amarillento a marrón con intercalaciones de gravas finas, trazas de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U3	26	40	(Qsa) Arcillas limosas color gris pardusco a verdoso, con intercalaciones de arena, con algo de gravas, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U4	40	70	(Tpb) Arcillolita roja y grises, en la perforación PT-PLMB-VDT-08 no se encontró la formación Bogotá, se presenta un deposito coluvial antiguo (Qc).

En la Tabla 5.2.1-57 se presentan los casos contemplados y que fueron evaluados a partir del análisis estadístico de los valores de compresión inconfiada, veleta de campo, correlaciones a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, CPTu y correlaciones a partir de SPT.

Tabla 5.2.1-57 Valores de Su obtenidos por los 3 casos de análisis estadísticos estudiados

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	8	44,7	24,9	82,0
U2	8	26	41,9	34,0	40,9
U3	26	40	62,1	56,3	62,3

En la Figura 5.2.1-31 se presenta el perfil de velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de la línea MASM-MAM LS-PLMB-CLL45, donde se presenta una velocidad de onda de 186.2m/s. Adicionalmente, en la Figura 5.2.1-32 se presenta la velocidad de onda (V_s) evaluada a partir de ensayo Down-Hole PT-CLL45-03 y PT-PLMB-VDT-08. Las velocidades obtenidas corresponden a un perfil de Suelo tipo D – Suelos Rígidos.

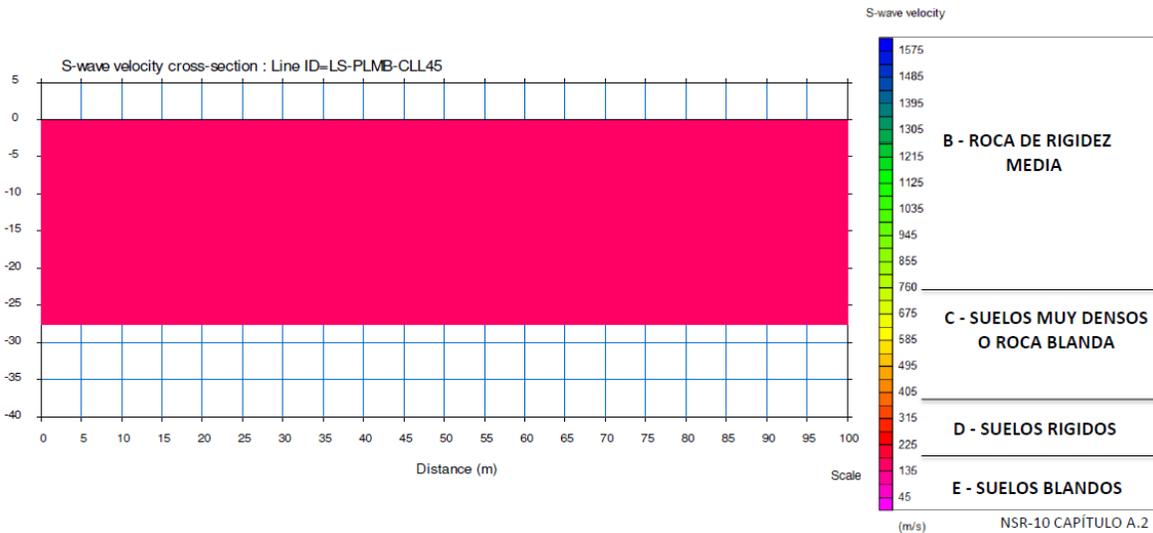


Figura 5.2.1-31 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL45

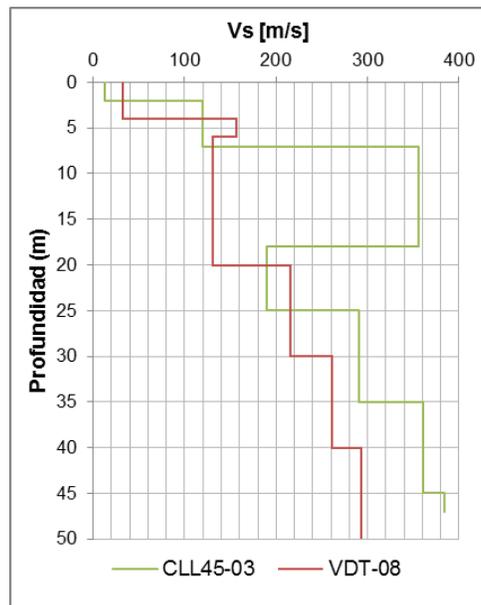


Figura 5.2.1-32 Perfil de V_s evaluado a partir de ensayo Down-Hole PT-CLL45-03 y PT-PLMB-VDT-08

En la Tabla 5.2.1-58 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizadas para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 3.3.

Tabla 5.2.1-58 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.3

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	σ_{ci} (MPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 8,00	16	51		5.85	0.31	0.04	1.46
U2	8,00 - 26,00	21	39		7.15	0.37	0.04	1.16
U3	26,00 - 40,00	32	60		15.58	0.37	0.04	0.97
U4	40,00 - 70,00	75	240	0.48	30.00	0.32	0.03	0.78

- Tramo 3.4.1

El tramo 3.4.1 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calle 51 y Calle 53, en la zona Aluvial 100, según microzonificación sísmica de Bogotá. Este tramo se dividió en 4 tramos debido a la presencia de roca a diferentes profundidades. En la Tabla 5.2.1-59 se presenta la estratigrafía del Tramo 3.4.1, la cual consiste en los primeros 29m en niveles cohesivos de arcillas y arenas de la Formación Sabana (Qsa), seguido por arcillolitas rojizas y areniscas de color gris de la Formación Bogotá (Tpb). Las rocas de la Formación Bogotá se encuentran fracturadas, con valores de RQD del 45% en los primeros metros y valores cercanos al 70% a profundidades mayores. Las rocas de la Formación Bogotá, también se encuentran meteorizadas, con un perfil de meteorización donde se diferencian los niveles IIA y IIB.

Tabla 5.2.1-59 Estratigrafía del Tramo 3.4.1

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	12	(Qsa) Arcilla de tonalidad beige a grisáceas, lentes de arenas blancas-amarillas de grano fino, trazas de materias orgánicas, humedad media a alta, plasticidad baja a media, consistencia blanda.
U2	12	21	(Qsa) Limo arenoso y arcilla arenosa grisácea, con intercalaciones de arenas de granos finos, lentes de turba negra, contenido bajo a medio de materia orgánica, humedad alta, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U3	21	29	(Qsa) Arcilla grisácea y limo arenoso, con intercalaciones de arena fina algo arcillosa, contenido de materia orgánica baja, humedad baja, plasticidad baja a media, consistencia firme.
U4	29	70	(Tpb) Arcillolitas grisáceas a rojas y areniscas grisáceas, fracturadas con perfil de meteorización IIA a IIB y RQD de 45% en los primeros 3,0m a 60-76% en profundidad.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión confinada, DMT, VST de campo, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPTu (Tabla 5.2.1-60).

Tabla 5.2.1-60 Resultado del análisis estadístico realizado en el tramo 3.4.1

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	3	20,6	19,3	21,6
U2	3	15	32,9	33,2	32,6
U3	15	25	98,1	98,1	98,1

En la Tabla 5.2.1-61 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 4.3.1, al revisar el perfil de suelo a partir de los parámetros de resistencia un perfil de tipo D-Suelos Rígidos.

Tabla 5.2.1-61 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.1

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	σ_{ci} (MPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 12,00	4	21		10.3	0.55	0.08	1.2
U2	12,00 - 21,00	6	33		16.5	1.01	0.16	2.1
U3	21,00 - 29,00	9	98		49.1	0.18	0.02	0.9
U4	29,00 - 70,00	75		1.02	46.0			

- Tramo 3.4.2

El tramo 3.4.2 se encuentra ubicado sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calle 53 y Calle 60, en la zona Aluvial 100, según la microzonificación sísmica de Bogotá. En la perforación de 60 m ejecutada en este tramo, no se encontró la Formación Bogotá. En la Tabla 5.2.1-62 se presenta la estratigrafía del Tramo 3.4.2, correspondiente a un perfil de suelo cohesivo, con predominio de arcilla y arcillas arenosas que presentan consistencia firme a muy firme, con intercalaciones de arena y lentes de materia orgánica.

Tabla 5.2.1-62 Estratigrafía del Tramo 3.4.2

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	12	(Qsa) Arcillas con tonalidades gris verdosas, con presencia de arena gruesa y gravas finas angulosas, humedad baja a media, plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U2	12	25	(Qsa) Arcillas arenosas color gris verdoso, intercalaciones de arena fina suelta, algo de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad muy alta, consistencia medio firme.
U3	25	43	(Qsa) Arcillas arenosas color marrón oscuro a marrón claro, intercalaciones de arenas finas de color gris verdoso, trazas de madera, humedad baja, plasticidad baja a media, consistencia firme.
U4	43	70	(Qsa) Arcillas arenosas de color marrón y gris claro, intercalación de arenas finas algo arcillosas, entre 47 y 48m se presentan arcillas limosa con presencia de materia orgánica, humedad baja, plasticidad baja a media, consistencia muy firme.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en los estratos U1, U2 y U3, a partir de los resultados de ensayos de compresión inconfiada, VST de campo, DMT, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPT_u , en la Tabla 5.2.1-63 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados, siendo el valor de diseño el valor promedio dichos datos.

Tabla 5.2.1-63 Resultados del análisis estadístico en los estratos U1, U2 y U3 del tramo 3.4.2

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0,0	12,0	34,9	46,2	44,7
U2	12,0	25,0	33,2	25,2	32,4
U3	25,0	43,0	62,2	62,2	62,2

En la Tabla 5.2.1-64 se presentan los parámetros de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el Tramo 3.4.2, los cuales son característicos de un perfil de suelo tipo E - suelos blandos.

Tabla 5.2.1-64 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.2

Estrato	Prof (m)	N_{60}	S_u (kPa)	E_s (MPa)	C_c	C_c	e_0
U1	0,00 - 12,00	11	42	16.1	2.23	0.18	3.1
U2	12,00 - 25,00	32	30	8.6	1.90	0.17	2.6
U3	25,00 - 43,00	61	62	18.1	0.22	0.02	0.8
U4	43,00 - 70,00	60	135	21.2	0.32	0.04	0.8

- Tramo 3.4.3

El Tramo 3.4.3 se encuentra sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calle 60 y Calle 64, en la zona Aluvial 100, según la microzonificación sísmica de Bogotá. En la Tabla 5.2.1-65 se presenta la estratigrafía del Tramo 3.4.3, donde se encuentra un perfil de suelo cohesivo compuesto por arcillas limosas de consistencia medio firme, en los primeros 33.0m. A partir de los 45.0m se encuentran arcillolitas abigarrados de la Formación Bogotá (Tpb).

Tabla 5.2.1-65 Estratigrafía del Tramo 3.4.3

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	11	(Qsa) Arcillas limosas color marrón oscuro con algunas gravas de hasta 1cm, contenido medio a alto de materia orgánica, humedad baja a media, plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U2	11	25	(Qsa) Arcillas limosas con tonalidades grisáceas a marrón oscuro, presencia de arenas arcillosas y gravas angulas a sub-angulares, presencia de materia orgánica, humedad media a alta, plasticidad alta a muy alta, consistencia firme.
U3	25	33	(Qsa) Arcillas algo arenosas, con presencia de materia orgánica y gravas angulosas a sub-angulosas, humedad baja, plasticidad media a baja, consistencia medio firme.
U4	33	45	(Qsa) Arena fina color marrón medio y gris verdoso, con intercalaciones de arcillas color rojizo claro, materia orgánica de color marrón oscuro de 43 - 45 m, ligeramente húmedo, densidad medio suelta.
U5	45	70	(Tpb) Arcillolita color rojo claro con manchas grises, dura.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión inconfiada, VST de campo, Veleta de Laboratorio, correlación a partir del valor de esfuerzo de pre-consolidación, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-66 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados.

Tabla 5.2.1-66 Resultado del análisis estadístico realizado a los estratos cohesivos del tramo 3.4.3

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	11	36,2	38,7	39,0
U2	11	25	80,3	33,8	74,9
U3	25	33	59,5	42,5	60,0

Para el tramo 3.4.3 se realizó la línea MASM-MAM LS-PLMB-CLL63 (Figura 5.2.1-33), a partir de la cual se evidencia la presencia de un perfil de suelos rígidos en el trazado, con una velocidad de onda de corte promedio en los primeros 30 metros de 167.9m/s, correspondiente a un perfil de suelo tipo D.

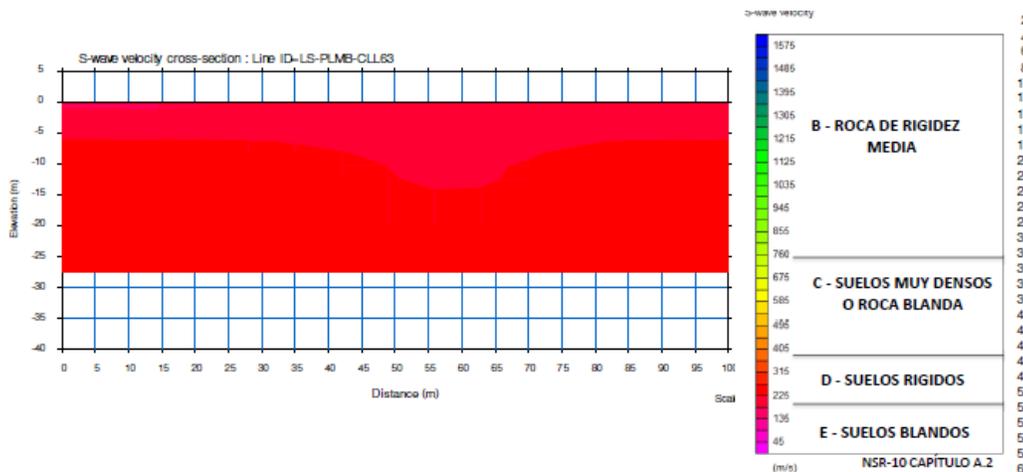


Figura 5.2.1-33 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL63

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En la Tabla 5.2.1-67 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 2.5. El perfil de suelo obtenido a partir de los parámetros de resistencia corresponde al perfil de suelo determinado con base en la línea sísmica, de tipo D-Suelos Rígidos.

Tabla 5.2.1-67 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.3

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	S _u (kPa)	φ (°)	σ _{ci} (MPa)	E _s (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 11,00	4	38			5.6	0.58	0.13	1.70
U2	11,00 - 25,00	6	63			10.3	1.06	0.13	1.80
U3	25,00 - 33,00	9	54			14.5	0.39	0.04	1.47
U4	33,00 - 45,00	19		28.0		45.5			
U5	45,00 - 75,00	75			0.50	130.2	0.35	0.04	0.586

- Tramo 3.4.4

El tramo 3.4.4 se encuentra sobre el corredor de la Avenida Caracas entre las Calle 64 y Calle 71, en la zona Aluvial 100, según la microzonificación sísmica de Bogotá. En la Tabla 5.2.1-68, se presenta la estratigrafía del Tramo 3.4.4, la cual corresponde a un perfil cohesivo con presencia de arcillas de consistencia medio firme a firme. En los primeros 30m, se presentan restos vegetales y presencia de turbas, las cuales se evidencian en los mayores porcentajes de humedad natural e índice de plasticidad de la U1. Los estratos U2 y U3 presentan valores de humedad promedio de 20% e índices de plasticidad menores a 30%. A los 65 metros se encuentran arcillolitas de tonos rojizos abigarrados de la Formación Bogotá (Tpb), las cuales muestran un perfil de meteorización donde se diferencian los niveles IIA y IIB, fracturamiento bajo a moderado con RQD entre 40 y 90% y resistencia blanda. Cabe destacar que rocas de la Formación Bogotá fueron encontradas a profundidades de 66.70m en la perforación PT-PLMB-VDT-12 y de 52.0m en la perforación PT-PLMB-VDT-11.

Tabla 5.2.1-68 Estratigrafía del Tramo 3.4.4

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	30	(Qsa) Arcillas de tonalidades beige a marrón oscuro, con presencia de restos vegetales y turba limo-arcillosa de color negro, intercalaciones de arenas de grano medio sueltas, con humedad moderada a media, plasticidad media a alta, consistencia medio firme.
U2	30	45	(Qsa) Arcillas de color beige a marrón oscuro, con intercalaciones esporádicas de arenas beige de grano fino, algo de gravas de areniscas cuarzosas de grano fino, contenido de materia orgánica medio a bajo, humedad baja a media, plasticidad media a alta, consistencia firme.
U3	45	65	(Qsa) Arcillas de tonalidades beige a grisáceas con algunos fragmentos de gravas de areniscas cuarzosas blancas, lentes de arena de grano fino, presencia de niveles de turba limo-arcillosa negra (espesor máximo 5mm), humedad baja, plasticidad media a baja, consistencia firme.
U4	65	75	(Tpb) Arcillolitas grisáceas a amarillo o rojo abigarrado, presenta oxidación violácea en fracturas y superficie, perfil de meteorización de IIA a IIB, humedad baja a media, plasticidad media a baja, RQD de 40 a 90%

Dada la poca cantidad de datos de resistencia al corte no drenada en los estratos U2 y U3, producto de la dificultad de realizar ensayos in-situ y extracción de muestras inalteradas por la presencia de lentes de grava y arenas en el perfil, el análisis estadístico para determinar los parámetro de diseño de S_u se realizó únicamente para el estrato U1. En la Tabla 5.2.1-69 se presentan los valores obtenidos en el estrato U1 a partir de los diferentes análisis estadísticos

realizados. Para determinar el valor promedio de S_u para el estrato U2, se utilizó el promedio de los resultados obtenidos con Dilatómetro de Marchetti (DMT), mientras que para el estrato U3 se tomó el promedio a partir de correlaciones de SPT, únicos ensayos presentes a esa profundidad.

Tabla 5.2.1-69 Resultados de análisis estadístico para el estrato U1 del tramo 3.4.4

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0,0	30,0	51,0	29,2	51,8

En la Tabla 5.2.1-70 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizados para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 3.4.4, correspondientes a un suelo de perfil de tipo E.

Tabla 5.2.1-70 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.4.4

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	σ_{ci} (MPa)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 30,00	19	44		9.4	0.58	0.08	1.49
U2	30,00 - 45,00	25	55		16.5	0.19	0.02	0.98
U3	45,00 - 65,00	32	65		19.5	0.21	0.02	0.59
U4	65,00 - 70,00	30		0.70	205.0			

- Tramo 3.5

El tramo 3.5 ubicado en el corredor de la Av. Caracas entre las calles 71 y 77, es el único tramo del trazado que se ubica en Lacustre 200, según la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá. La estratificación del tramo se presenta en la Tabla 5.2.1-71, en la cual se evidencia la presencia de arcillas y limos muy plásticos, con valores promedio del índice de plasticidad de 85% y contenidos de humedad natural mayores a 120%, para los primeros 35m. En la unidad U5 se presentan lentes de arena y gravas, provocando una disminución de la plasticidad del estrato, con valores promedio de 30%. El estrato de (U6) es granular, compuesto por arenas finas, de plasticidad baja a no plástica.

Tabla 5.2.1-71 Estratigrafía del Tramo 3.5

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	4	(Qsa) Arcilla marrón oscura, presencia de turba, restos vegetales, con fragmentos de gravas de areniscas grisáceas cuarzosas, humedad alta, plasticidad alta a muy alta, consistencia muy blanda.
U2	4	23	(Qsa) Arcilla y arcilla limosa marrón oscura a gris oliva, con trazas de arena fina y gruesa, trazas de gravas finas, entre 20 - 22m presencia de turbas y materia orgánica, humedad muy alta, plasticidad muy alta, consistencia de blanda a muy blanda.
U3	23	35	(Qsa) Arcilla y arcilla limosa de tonalidad grisácea a beige, presencia de materia orgánica, turba y restos vegetales, presencia de lentes de arena de granos finos, trazas de gravas sub-angulares, humedad alta, plasticidad media a alta, consistencia medio firme a firme.
U4	35	45	(Qsa) Arcilla de tonalidades marrón oliva a grisácea, con presencia de turba negra limo-arcillosa y restos vegetales, algo de arena y fragmentos de gravas de grano fino, humedad media, plasticidad media a alta, consistencia firme.
U5	45	62	(Qsa) Arcilla y arcilla arenosa de color gris verdoso a gris pardusco, con presencia de arenas finas a gruesas y lentes de gravas gruesas sub-redondeadas y angulosas de hasta 8 cm, presencia de materia orgánica,

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estrato	Prof. (m)		Descripción
			húmeda media a muy alta, plasticidad alta a muy alta, consistencia medio firme.
U6	62	81	(Qsa) Arenas de grano fino a medio de tonalidades blancas y amarillas, con algunos fragmentos de gravas redondeadas de arenisca, con algo de arcilla arenosa, humedad muy baja, plasticidad baja a no plásticas, densas.

Para determinar el parámetro de diseño de S_u se realizó un análisis estadístico en cada uno de los estratos a partir de los resultados de ensayos de compresión inconfiada (C.I.), VST de campo, Veleta de laboratorio, penetrómetro de bolsillo (R_{pi}), ensayos DMT, ensayos PMT, correlación a partir del valor de esfuerzo de preconsolidación, correlaciones de SPT y valores de CPTu. En la Tabla 5.2.1-72 se presentan los valores obtenidos en los diferentes análisis estadísticos realizados. Cabe destacar que por el número de datos presentes en la U1, no se pudo ponderar el valor de S_u por el análisis de Intercuartiles, por lo cual el valor promedio de este estrato corresponde al valor de la mediana y del percentil 33.

Tabla 5.2.1-72 Resultados de S_u obtenidos a partir del análisis estadístico.

Estrato	Prof. (m)		S_u (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0,0	4,0	15,1		14,9
U2	4,0	23,0	16,0	13,4	15,5
U3	23,0	35,0	28,6	18,7	27,7
U4	35,0	45,0	50,0	146,3	40,7
U5	45,0	62,0	41,2	12,2	36,7

En el tramo 3.5 se realizaron las líneas de refracción sísmica MASM-MAM LS-PLMB-CLL76 y LS-PLMB-CLL72 (Figura 5.2.1-34 y Figura 5.2.1-35) y un ensayo Down-Hole en la perforación PT-PLMB-VDT-13 (Tabla 5.2.1-73). En la línea sísmica de la Calle 76 se evidencia la presencia de suelos blandos a partir de una velocidad de onda de corte promedio de 106.1m/s en los primeros 30 metros.

En el caso de la línea sísmica realizada en la estación de la calle 72, se presenta una velocidad de onda de corte (V_s) promedio de 76.1m/s en los primeros 30m. Los resultados del ensayo Down-Hole realizado en la perforación PT-PLMB-VDT-13, arrojan una velocidad de onda de corte de 81.1m/s en los primeros 30m. A partir de los tres ensayos dinámicos realizado in-situ se clasifica el perfil de suelo como de tipo E.

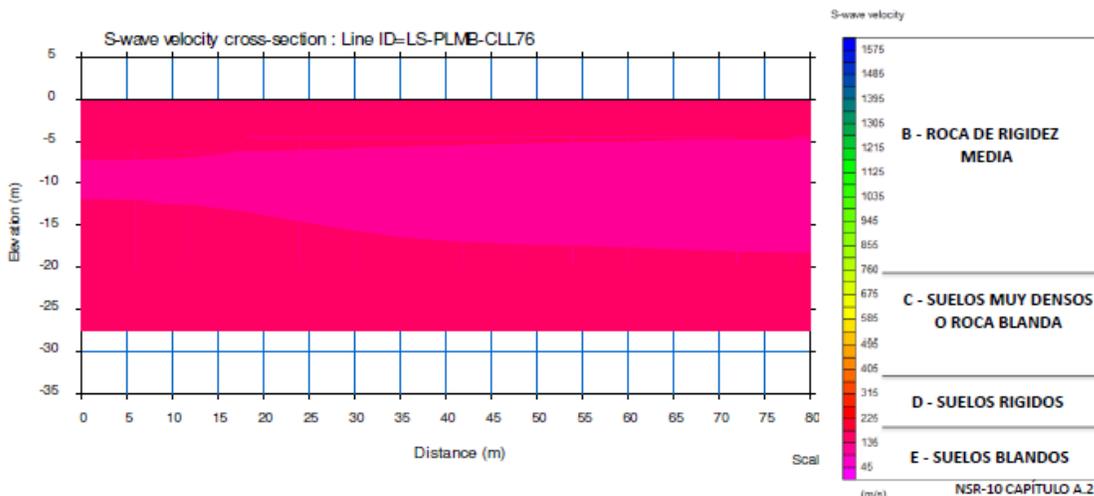


Figura 5.2.1-34 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL76

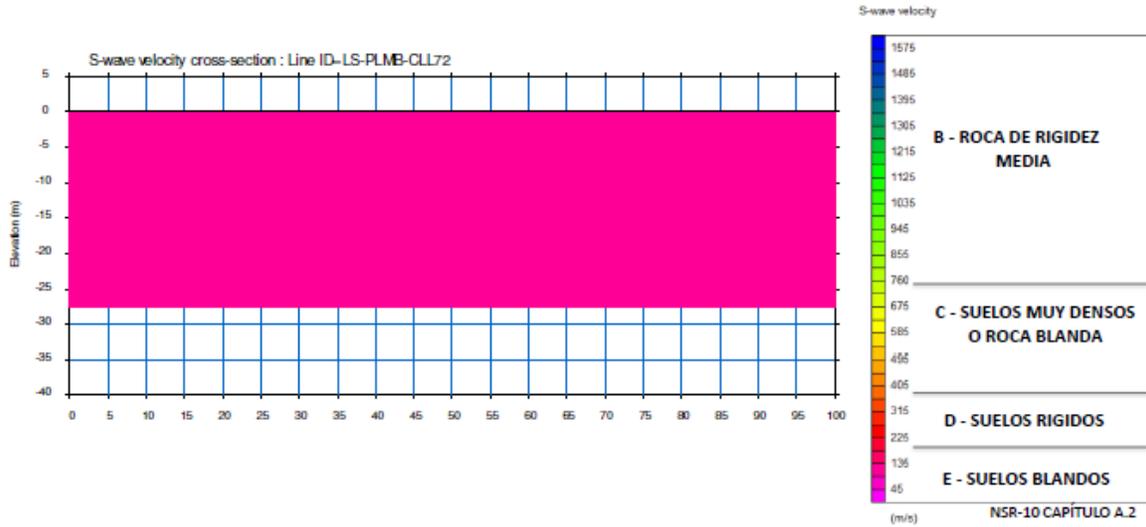


Figura 5.2.1-35 Resultados de línea MASW-MAM LS-PLMB-CLL72

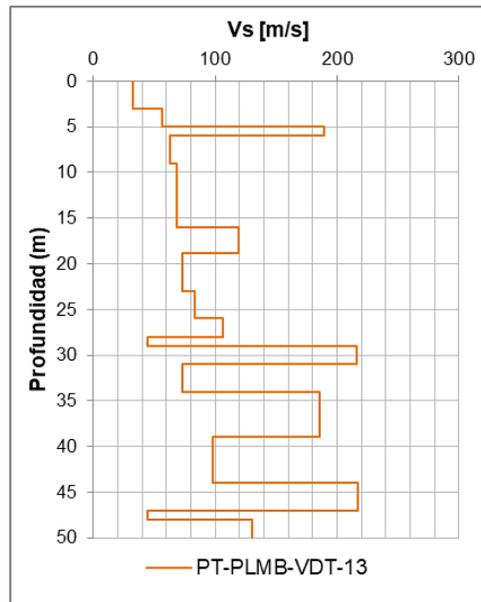


Figura 5.2.1-36 Curva de V_s obtenida del ensayo Down-Hole PT-PLMB-VDT-13

En la Tabla 5.2.1-73 se presentan los parámetros de diseño de resistencia, deformación y consolidación utilizadas para el diseño de la cimentación de viaducto en el tramo 3.5, los cuales conllevan a clasificar el perfil de suelo como de tipo E - Suelos Blandos.

Tabla 5.2.1-73 Resumen de parámetros de diseño de Tramo 3.5

Estrato	Prof (m)	N ₆₀	Su (kPa)	φ (°)	Es (MPa)	C _c	C _c	e ₀
U1	0,00 - 4,00	4	15		1.6	1.09	0.12	3.436
U2	4,00 - 23,00	6	15		2.8	1.43	0.21	2.673
U3	23,00 - 35,00	8	25		9.7	0.51	0.09	1.000
U4	35,00 - 45,00	8	79		23.6	0.76	0.09	1.768
U5	45,00 - 62,00	16	30		10.1	0.58	0.06	1.507
U6	62,00 - 70,00	20		31	30.5			

5.2.1.10 Suelos

El suelo es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, y que se caracteriza por horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (USDA, 2010).

El suelo es un recurso natural esencial que cumple funciones fundamentales dentro de los ecosistemas; es el elemento integrador entre las distintas esferas del planeta (pedósfera, hidrósfera, atmósfera, geósfera, biósfera) y constituye además, medio para el crecimiento de plantas naturales y cultivadas, filtro natural para el agua superficial y subterránea, sitio de ciclaje de nutrientes y descomposición de residuos orgánicos, productor y almacenador de gases y hábitat de una variada biodiversidad, entre otros (IGAC, 2003).

Para la ciudad de Bogotá, de acuerdo con lo presentado en el Decreto 190 de 2004, que conforma el Plan de Ordenamiento Territorial, se clasifica el suelo de la siguiente manera:

- Suelo Urbano: El suelo urbano lo constituyen las áreas del territorio distrital destinadas a usos urbanos que cuentan con infraestructura vial, redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitándose su urbanización y edificación, según sea el caso. Pertenecen a esta categoría aquellas zonas con procesos de urbanización incompletos, comprendidos en áreas consolidadas con edificación al igual que en las áreas del suelo de expansión que sean incorporadas.
- Suelo de Expansión Urbana: Está constituido por la porción del territorio Distrital, que se habilitará para el uso urbano durante la vigencia del presente Plan de Ordenamiento Territorial, según lo determinen los programas de ejecución. Este territorio sólo podrá incorporarse al perímetro urbano mediante planes parciales.
- Suelo Rural: Está constituido por los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas.

Sin embargo, y de acuerdo con el concepto jurídico con fecha del 18 de octubre del año 2017, emitido por la secretaria distrital de planeación, el cual se basa también en lo dispuesto en el Decreto 190 de 2004, así como en el decreto distrital 319 de 2006 (Plan Maestro de Movilidad), para dicha secretaria, "la instalación, construcción y localización de infraestructuras, como las relacionadas con el Patio-Taller, en su connotación de pobra publica y, por ende, como una de las manifestaciones de la acción urbanística, que a su vez es la materialización de la función pública de urbanismo, no requiere de la aplicación de instrumentos de planeación, ni de permisos

urbanísticos y/o licencias urbanísticas, de acuerdo con lo establecido en especial en los artículos 3 y 8 de la Ley 388 de 1997 y el artículo 192 del decreto Ley 019 de 2012.”

El concepto jurídico, concluye que, no se requiere de actuaciones, procedimientos o instrumentos para la construcción e implantación del Patio-Taller para el metro de Bogotá en predios que se localizan en suelos clasificados como de expansión urbana en el POT y que conforme a las normas establecidas y estudiadas, no se requiere licencia urbanística para la construcción de proyectos de infraestructura de la red férrea, a la cual pertenece el metro.

Teniendo en cuenta la clasificación del POT y de acuerdo con el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000), el total del trazado del PLMB, a excepción del área contemplada para la construcción del Patio-Taller, se encuentra por completo distribuido en Zona urbana y son suelos que ya no presentan las condiciones originales debido a la intervención antrópica que se ha presentado intensamente en el perímetro urbano de Bogotá, lo cual ha jugado un papel importante al modificar significativamente las propiedades de los suelos.

En el área clasificada como “Suelo de Expansión Urbana”, se alcanza a contemplar la construcción y operación del Patio-Taller y, de acuerdo al Estudio de Suelos de Cundinamarca (IGAC, 2000), los suelos se ubican en la unidad cartográfica denominada RMOa, que corresponden a la asociación *AericEpiaquents* (60%) - *FluvaquenticEndoaquepts* (40%) y que se caracterizan por estar formados a partir de depósitos clásticos hidrogénicos, con sectores mantos de ceniza volcánica en algunos sectores, típicos del plano de inundación del Río Bogotá; presentan un relieve ligeramente plano a ligeramente inclinado, con pendientes 1 a 7%; muy superficiales, pobre a muy pobremente drenados, de texturas finas, reacción fuerte a medianamente ácida, saturación de aluminio media a baja y fertilidad moderada. Sin embargo, de acuerdo con lo observado en campo, la zona destinada para la construcción del Patio-Taller, se ubica sobre planicies principalmente conformadas por material de relleno (escombros y residuos de construcción).

A continuación se realiza la descripción del perfil encontrado en el área destinada para la construcción del Patio-Taller (Fotografía 5.2.1-2 y Tabla 5.2.1-74):



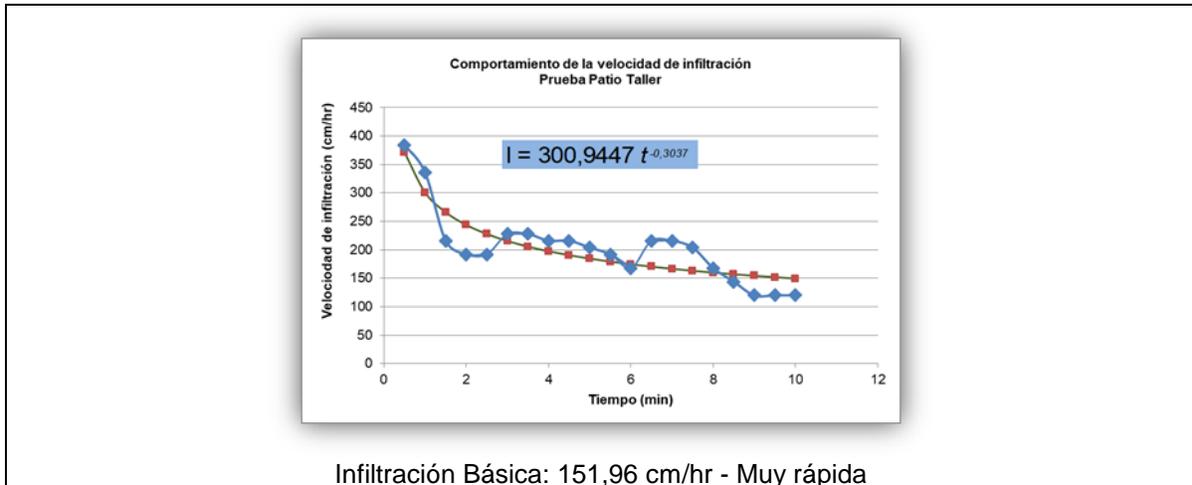
Fotografía 5.2.1-2: Perfil en Patio-Taller. Suelo de relleno antrópico en Clima frío, seco
Fuente: INGETEC, 2017

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-74 Información Tomada del Perfil Descrito en Campo

UBICACIÓN					
Departamento	Cundinamarca	Municipio	Bogotá D.C.	Localidad	Bosa
Altitud	2544 m		Fecha	18-08-2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	986 719	
			Norte	1 005 498	
DATOS DE CAMPO					
Paisaje	Planicie		Tipo de Relieve	Rellenos antrópicos	
Clima	Frío, seco	Pendiente (%)	0 – 3%	Erosión	No apreciable
Afloramientos rocosos (%)	0	Pedregosidad superficial	No	Profundidad efectiva	Superficial (50 cm)
Drenaje natural	Excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Zona de vida	Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB)	Cobertura vegetal	Pastos	Uso actual	Conservación
PROPIEDADES FÍSICAS					
Horizonte	Ap1		Ap2	A	
Profundidad (cm)	0 - 25		25 - 60	60 – 90	
Limites	Difuso		Difuso		
Color en húmedo	7.5 YR 4/4 Marrón		10 YR 3/4 Marrón oscuro	10 YR 5/3 Marrón mate	
Textura	A		AF	Ar	
Estructura	Bloques subangulares		Granular	Bloques subangulares	
Macrorganismos	Si		Si	No	
Raicillas	Si		Si	No	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	5,5		4,5	5,0	
Reactividad HCL	Nula		Nula	Nula	
Reactividad H ₂ O ₂	Moderada		Leve	Fuerte	
Reactividad NaF	Nula		Nula	Nula	

DESCRIPCIÓN
<p>Ubicado en predio de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C., sobre zona de rellenos antrópicos entre el Canal Cundinamarca y el Río Bogotá.</p> <p>Ap1: Suelo antrópico arenoso de color marrón, con gravas de 2 a 8 cm, color amarillo, estructura de Bloques subangulares de grado medio; fácil penetración durante la construcción de la calicata. Se evidencia presencia de lombriz de tierra; gran cantidad de raicillas medias y finas. No plástico y poco pegajoso.</p> <p>Ap2: el cambio desde la capa superior, se presenta con un cambio en la resistencia a la penetración, hacia un material más compactado; gravillas de 1 a 3 cm; estructura granular con desarrollo medio; se evidencia actividad de macrorganismos y abundante cantidad de raicillas finas y muy finas. Poco plástico y poco pegajoso.</p> <p>A: con un cambio difuso desde la capa superior, hacia un horizonte arcilloso y más consolidado, con resistencia moderada a la penetración; no se evidencia actividad de macrorganismos ni presencia de raicillas; plástico y pegajoso en húmedo.</p>



5.2.1.10.1 Capacidad de uso de los suelos (uso potencial) y su relación con el proyecto

Después de conocer los suelos de una zona determinada y el patrón de distribución en la dimensión espacial, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que en el área de estudio, las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo con la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre (IGAC, 2010).

Considerando lo anterior, y para establecer el uso potencial del suelo y su relación con el proyecto, se procedió a revisar y comparar la información y reglamentación referente a usos de los suelos, contenida en el instrumento de ordenamiento territorial de la ciudad de Bogotá, con el fin de identificar los principales usos reglamentados especialmente para el perímetro urbano y de esta manera poder conectar el uso potencial de los suelos entre lo establecido por la ciudad de Bogotá y los hallazgos del presente estudio; de acuerdo con lo anterior, se empleó el mapa No 25 del POT (Decreto 190 de 2004), en el cual se presentan los usos del suelo urbano y de expansión del Distrito (ver Figura 5.2.1-37).

En cuanto al área destinada para el Patio-Taller, considerando las observaciones realizadas en campo y los análisis fisicoquímicos realizados a los suelos en dicha zona, se considera que la vocación principal de uso de los suelos en esta área corresponde a una zona para conservación y recuperación de los recursos naturales.

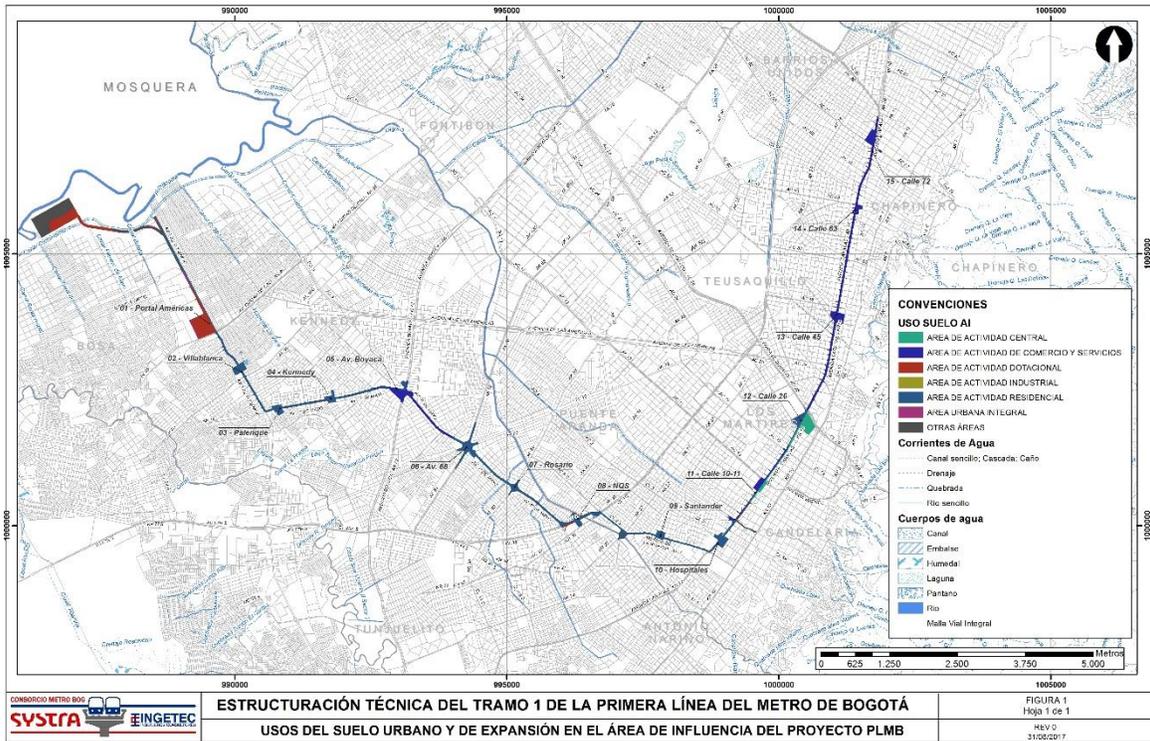


Figura 5.2.1-37 Usos del suelo urbano y de expansión en el Área de influencia del proyecto PLMB

5.2.1.10.2 *Uso actual de los suelos y su relación con el proyecto*

Existen numerosas acepciones que se asignan a los términos “Uso” y “Cobertura” los cuales dependen de la disciplina dentro de la cual se emplean. Así, el termino cobertura se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre esta. El término uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de coberturas, cíclica o permanentemente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (IGAC - CORPOICA, 2002).

Lo anterior, hace referencia a la forma como las comunidades hacen el aprovechamiento del territorio, principalmente de las coberturas de la tierra. El uso del suelo puede evidenciarse a través de métodos indirectos utilizando información proveniente de los sensores remotos como aerofotografías, imágenes satelitales, que sirven para determinar los tipos de coberturas de la tierra; a partir de la información de coberturas, se puede inferir el tipo de uso que se está realizando en una determinada región.

Para el presente, el uso actual de los suelos se determina a partir de la capa de coberturas de la tierra, escala 1:100.000 (periodo 2010-2012), cuya información se compiló por los institutos de investigación del SINA (IDEAM, SINCHI), PNN e IGAC aplicando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000 (IDEAM, 2014). En la Tabla 5.2.1-75 y la Figura 5.2.1-38, se describen e ilustran los usos actuales del suelo para el área de influencia del proyecto:

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-75: Uso Actual de los Suelos en el Área de estudio

Código cobertura	Descripción	Uso actual		Sigla Uso	Área (ha)	%
		Grupo	Subgrupo			
231	Pastos limpios	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE	49,52	23,4
111	Tejido urbano continuo	Asentamiento	Zona Urbana	ZU	162,08	76,6
TOTAL					211,60	100

Fuente: INGETEC, 2017.

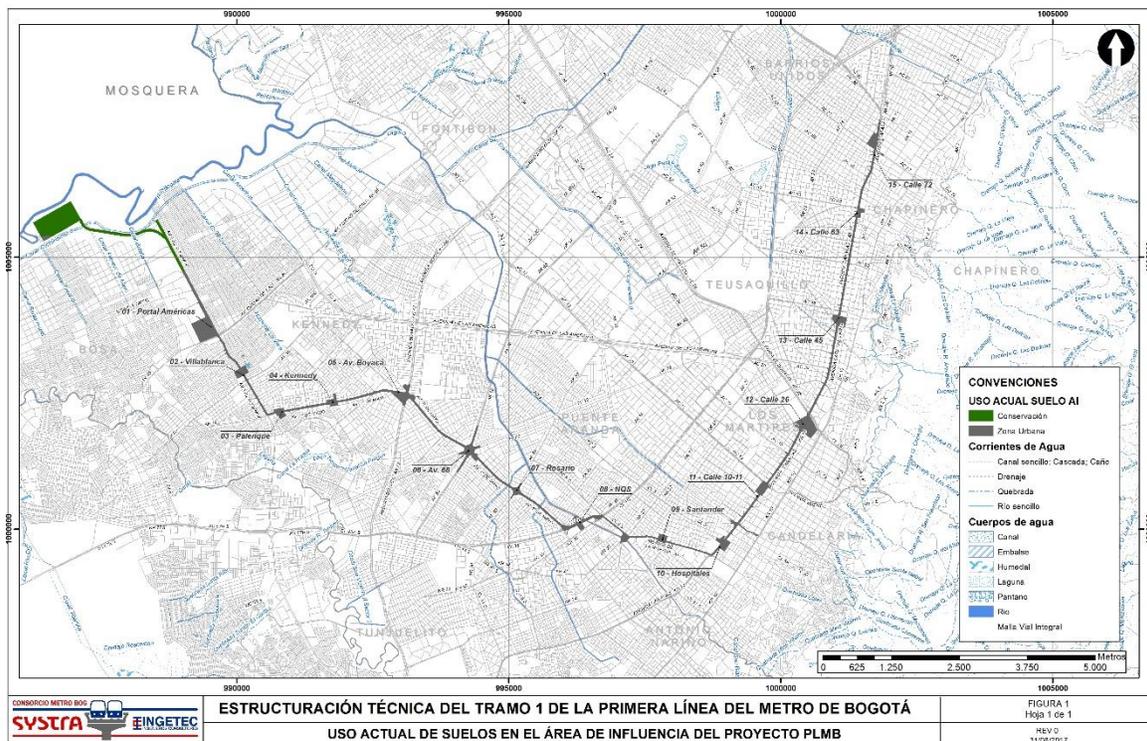


Figura 5.2.1-38 Uso Actual de Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB

Fuente: INGETEC, 2017.

5.2.1.10.3 Conflictos de uso de los suelos y su relación con el proyecto

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso - tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente y sea por sobreutilización o subutilización.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En la determinación de conflictos, se aplica el procedimiento, que se está utilizando en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio. Se compara espacialmente mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (uso potencial). El objetivo es identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden con la capacidad de uso del territorio, y en donde esto ocurre, no hay conflictos de uso; cuando los usos actuales no corresponden con la capacidad de uso del territorio, se presenta el conflicto de uso.

La correspondencia indica que el suelo está siendo utilizado adecuadamente, situación que se define como el equilibrio y significa que el uso existente o actual en el suelo presenta exigencias iguales a su oferta ambiental. Aquellos suelos donde corresponde la vocación de uso con un uso compatible, sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras. Estos suelos se definen entonces como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto. Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

- Subutilización del suelo: Hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.
- Sobreuso del suelo: Cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo, de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social.

Lo anterior, y tal como se muestra en la Tabla 5.2.1-76, permite establecer que para el área de influencia en la cual se ejecutará el proyecto, existe un porcentaje en conflicto por subutilización:

Tabla 5.2.1-76 Conflictos de uso de los Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB

Uso potencial (POT)	Uso actual (Coberturas)	Áreas (ha)	Conflicto de uso	Área Conflicto (ha)	%
Área de actividad central	ZU	11,21	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado A	157,17	74,3
Área de actividad de comercio y servicios		53,75			
Área de actividad dotacional		15,89			
Área de actividad industrial		0,23			
Área de actividad residencial		74,31			
Área urbana integral		1,78			
Área de actividad dotacional	CRE	15,12	Conflicto por subutilización S	17,96	8,5
Área de actividad residencial		2,18			
Área urbana integral		0,66			
Otras áreas	CRE	31,56	Otras Áreas OA	36,47	17,2
	ZU	4,91			
TOTAL				211,60	100

Fuente: INGETEC, 2017.

Se evidencia, que para el área definida para el Patio-Taller y parte del tramo las condiciones actuales del suelo están definidas como zonas para conservación y recuperación de los recursos naturales, no obstante el área está clasificada como “Suelo de Expansión Urbana”, presenta un

relieve ligeramente plano a ligeramente inclinado, con pendientes 1 a 7 %; muy superficiales, pobre a muy pobremente drenados, de texturas finas, reacción fuerte a medianamente ácida, saturación de aluminio media a baja y fertilidad moderada. Sin embargo, teniendo en cuenta lo observado en campo, la zona se ubica sobre planicies principalmente conformadas por material de relleno (escombros y residuos de construcción). Por otro lado, es importante tener en cuenta que las zonas de conservación y recuperación pueden cambiar su delimitación teniendo en cuenta los manejos que se le están dando al Río Bogotá, en cuanto la construcción de diques de protección.

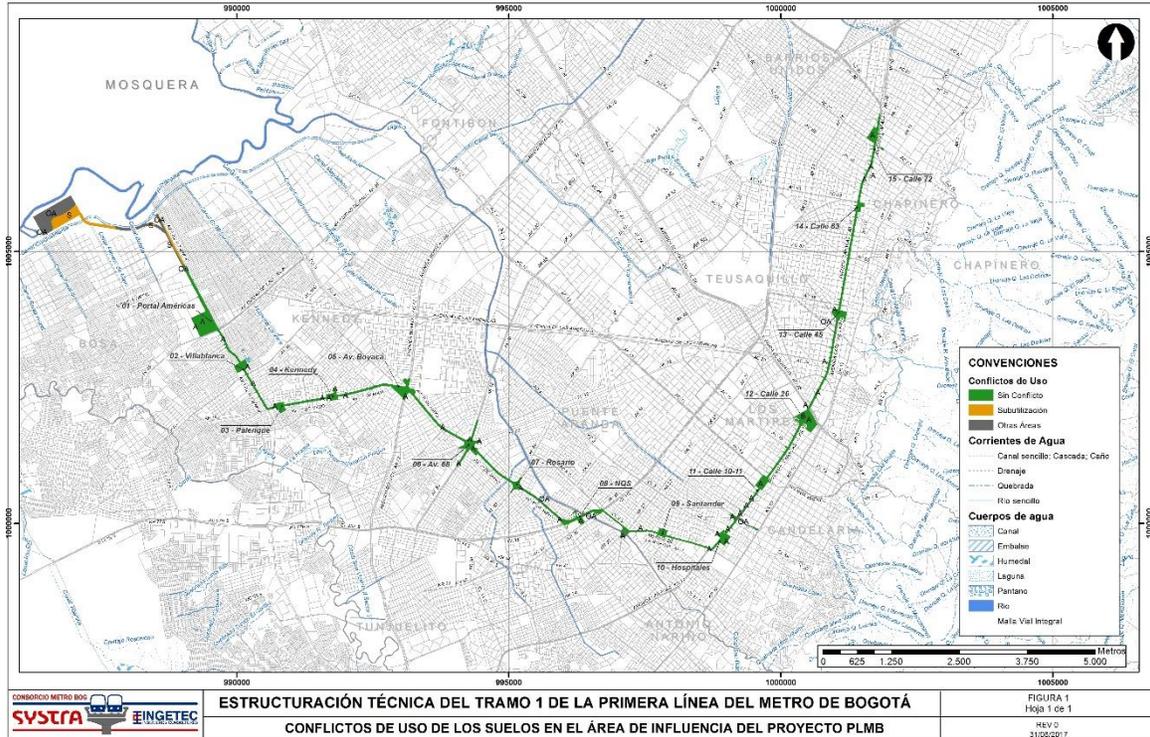


Figura 5.2.1-39 Conflictos de uso de los Suelos en el Área de influencia del proyecto PLMB

Fuente: INGETEC, 2017.

5.2.1.10.4 Vulnerabilidad de los suelos a la contaminación por las actividades del proyecto

El análisis se orienta a evaluar la vulnerabilidad del suelo frente a situaciones de contaminación asociadas a combustibles, materiales residuales, derrames de sustancias tóxicas, entre otros. Las condiciones con las que se define la localización y profundidad de las muestras de suelo, objeto de análisis químicos en el laboratorio, son:

- Elección de sitios de monitoreo:
 1. Área de influencia del proyecto
 2. Uso del suelo
 3. Estaciones de servicio en trazado
 4. Perforaciones realizadas y piezómetros instalados
- Elección de la profundidad de muestras:

1. Nivel freático
2. Profundidad estándar de los tanques de combustible subterráneos
3. Características del suelo

En la Tabla 5.2.1-77 y en la Figura 5.2.1-40, se presentan los 7 puntos de monitoreo de suelos donde se realizó la toma de muestras para análisis químicos en laboratorio. Las muestras analizadas para los primeros 6 puntos de monitoreo, corresponden a parte del material retirado de las perforaciones realizadas para el componente de geotecnia, mientras que los últimos tres puntos corresponden al lugar donde se realizó la descripción del perfil de suelo en el Patio-Taller con muestreo en las tres primeras capas identificadas en campo (ver Tabla 5.2.1-74), donde se realizaron análisis fisicoquímicos para la caracterización correspondiente.

Tabla 5.2.1-77 Coordenadas Puntos de Monitoreo de Suelos

N°	Identificación del punto	Coordenadas planas Magna Sirgas Origen Bogotá	
		Este	Norte
1	PT-CALLE 72	1.001.741	1.007.036
2	PT CALLE 45	1.001.086	1.003.892
3	PT HOSPITALES	998.952	999.774
4	PT-AV 1 DE MAYO BOY	992.648	1.002.574
5	PT-VIBLA-01	990.141	1.002.823
6	PT-PLMB-PT -01	986.685	1.005.515
7	PT-PLMB-AGRO-02-S	986.719	1.005.498
8	PT-PLMB-AGRO-02-M	986.719	1.005.498
9	PT-PLMB-AGRO-02-F	986.719	1.005.498

Fuente: INGETEC, 2017.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

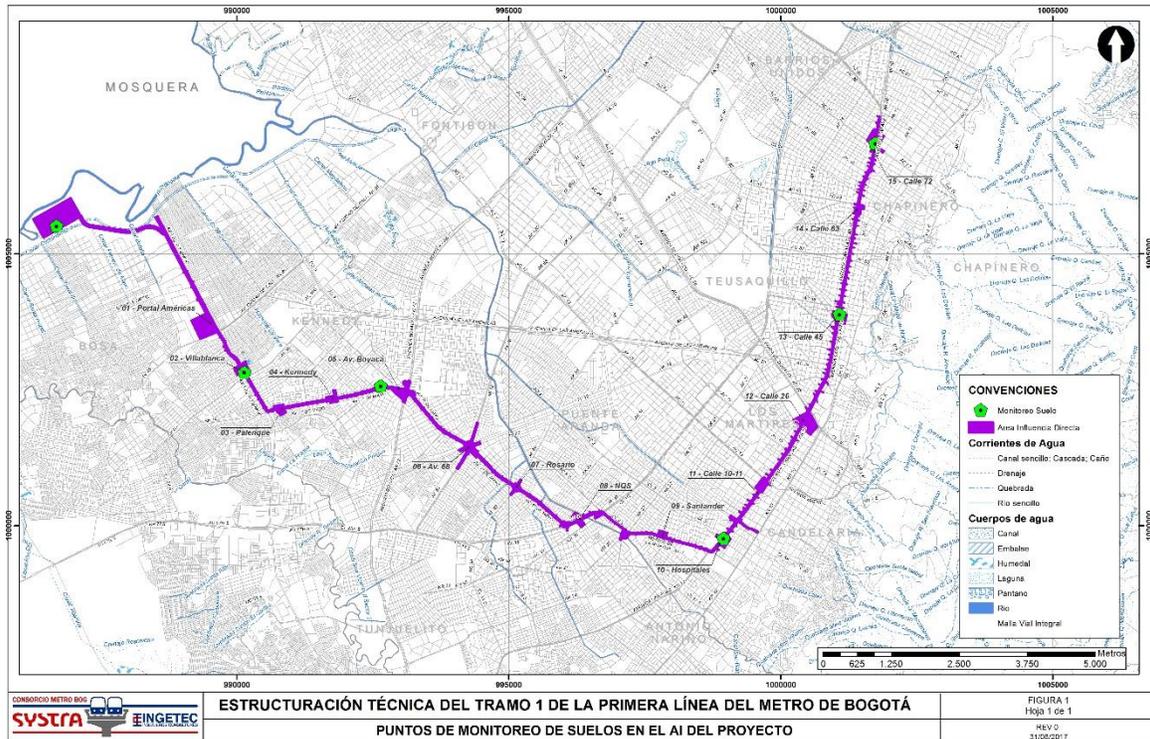


Figura 5.2.1-40 Puntos de Monitoreo de Suelos en el AI del proyecto
Fuente: INGETEC, 2017.

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados por el laboratorio K2 INGENIERÍA S.A.S., siguiendo los métodos analíticos consignados a continuación en el Tabla 5.2.1-78.

Tabla 5.2.1-78 parámetros analizados dentro del Monitoreo de Suelos

Ensayo	Método	Unidades
Arsénico Total	Digestión AA	mg/kg
Bario Total	Digestión AA	Mg/kg
Cadmio Total	Digestión AA	mg/kg
Cobre Total	Digestión	mg/kg
Cromo Total	Digestión	mg/kg
Mercurio Total	Espectrofotometría	mg/kg
Molibdeno	Digestión	mg/kg
Níquel Total	Digestión	mg/kg
Plata Total	Digestión AA	mg/kg
Plomo Total	Digestión AA	mg/kg
Selenio Total	Digestión AA	mg/kg
Zinc Total	Digestión AA	mg/kg
Hidrocarburos Totales	Extracción	%
Humedad Natural	Gravimétrico	%
Conductividad Eléctrica	Pasta de saturación	mmhos/cm
pH	Electrometría	Und. de pH

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Ensayo	Método	Unidades
% Sodio Intercambiable (PSI)	Na Extraído	%
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	Soluble en pasta de saturación	Sin und.

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

Actualmente, el país no cuenta con legislación nacional vigente que regule los contenidos de metales pesados en los suelos (Mahecha Pulido, Trujillo González, & Torres Mora, 2015) para evaluar la alteración del recurso suelo y comparar los análisis de suelo con los parámetros analizados en las muestras tomadas. Por tal razón, el establecimiento de la contaminación no debe realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de cada uno, dado que el contenido natural de metales pesados en suelos es muy variable, en la medida que en algunos sitios los niveles de fondo podrán ser superiores o inferiores (Rueda Saa, Rodríguez Victoria, & Madriñán Molina, 2011). De esta forma, los resultados obtenidos de los suelos del área de influencia proyecto de Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá, se evalúan con los criterios de Guía Canadiense para la Calidad del Suelo para la Protección de la Salud Ambiental y Humana Y Guidelines British Columbia, donde se establecen los criterios para suelos de tipo Residencial.

Por otra parte, en cuanto a parámetros propios de las propiedades químicas del suelo, las comparaciones se pueden hacer con los valores de referencia para interpretar análisis de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, que se presentan en la Figura 5.2.1-41.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI												
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS												
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS												
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	P mg Kg ⁻¹ (BRAY II)	K cmol (+) Kg ⁻¹	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg ⁻¹	SATURACIÓN DE BASES (SB) %	
				CLIMA			CLIMA					
1:1				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO			
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35	
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50	
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50	
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I)		APRECIACIÓN		
5.1 - 5.5	APRECIACIÓN	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca-Mg)/K	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	CLASE				
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	dS m ⁻¹			<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES		
5.6 - 6.0	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2	INFERIOR	NORMAL	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES		
6.1 - 6.5					2 - 4	LÍMITE						
LIGERAMENTE ÁCIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			4 - 8	A	S1	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES		
6.6 - 7.3					8 - 16	S2						
NEUTRO	CONTENIDO ÓPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16	SUPERIOR	S3	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES		
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4		Na				
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	A	NaS1	>60	NIVELES TOXICOS PARA LA MAYORIA DE CULTIVOS		
7.9 - 8.4						8 - 16		NaS2				
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	15%	NaS3				
8.5 - 9.0												
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos: digestión húmeda en tejido vegetal.							ÁREA DE QUÍMICA				
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .											
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .											

Figura 5.2.1-41 Consideraciones Generales para Interpretar Análisis Químicos de Suelos

Fuente: IGAC, 2017

En el “INFORME CARACTERIZACIÓN SUELOS INGETEC” se relacionan los resultados de análisis de laboratorio de los suelos del área de influencia del proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá y se observa el comportamiento de los análisis con respecto a las legislaciones anteriormente nombradas. Los suelos analizados, reportan concentraciones que se ajustan a los criterios que establece en las normativas.

Referente al pH, se evidencia que los suelos evaluados se clasifican como suelos muy ácidos conforme a los niveles reportados de pH (entre 3.51 y 5.34 Uni. pH) para los puntos PT-CALLE 72, PT –CALLE45, PT-PLMB-AGRO 02M y PT-PLMB-AGRO-02F., suelos ácidos PT-PLMB-AGRO-02 S y PT-HOSPITALES, suelos neutros PT-PLMB-PT-01 y suelos alcalinos los puntos PT-VIBLA-01 Y PT-AV1 DE MAYO BOYACA. Los suelos que se clasifican en las categorías de muy ácidos y ácidos corresponden a suelos con presencia de aluminio intercambiable, deficiencia de fósforo, baja disponibilidad de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio).

A partir de los datos de conductividad y los criterios para evaluar la salinidad de un suelo, según lo estipulado en el Instituto Nacional de Ecología (INE), 2006; los suelos del área de estudio, se consideran suelos No Salinos por registrar valores de conductividad inferiores a 2.0 mmhos/cm, niveles que se ajustan al criterio establecido en la norma aplicada (<2.0 mmhos/cm), a excepción de los puntos PT-PLMB-AGRO-02- M y PT-PLMB-AGRO-02- F que superan la normativa, así mismo estos dos puntos se clasifican suelos poco salinos. Así mismo, los suelos analizados presentan sodicidad ligeramente sódico para todos los puntos monitoreados.

La relación de RAS es un índice efectivo de peligro de sodificación de un suelo y está directamente relacionado con el PSI; de acuerdo al análisis, se confirma que los suelos del AI del proyecto PLMB, presentan condición No sódica a excepción del punto identificado como PT-AV 1 DE MAYO BOYACA

Con respecto a los análisis de metales realizados a los suelos del proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá los parámetros de Cadmio, Cromo total, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata y Selenio reportan concentraciones correspondientes a las mínimas concentraciones cuantificables de las técnicas analíticas aplicadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye:

- Los suelos analizados en el área de influencia del proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá, reportan concentraciones que se ajustan a los criterios que establece en las normativas:
- Guía Canadiense para la Calidad del Suelo para la Protección de la Salud Ambiental y Humana: cumple con los parámetros de pH (PT-HOSPITALES y PT-PLMB-PT-01), conductividad, relación de adsorción de sodio, plata total, a excepción de los análisis de pH en los puntos PT-CALLE 72, PT-CALLE 45, PT-VIBLA-01, PT-PLMB-AGRO-02 S, PT-PLMB-AGRO 02-M, PT-PLMB-AGRO-02-F y PT-AV 1 DE MAYO BOYACA y de la relación de adsorción de sodio en los puntos identificados como PT CALLE 45, PT HOSPITALES, PT-VIBLA-01 y PT-AV 1 DE MAYO BOYACA.
- Guidelines British Columbia Criterio Nivel A: cumple con los parámetros hidrocarburos totales (PT CALLE 45, PT-VIBLA-01 y PT-AV 1 DE MAYO BOYACA), arsénico, bario, cobre, cromo, mercurio, plomo, selenio, zinc, se excluyen los análisis de hidrocarburos totales PT CALLE 72, PT HOSPITALES, PT-PLMB-AGRO-02-S, PT-PLMB-GRO-02-M y PT-PLMB-AGRO-02-, Bario en el punto PT-AV 1 DE MAYO BOYACA, zinc total en los puntos PT-CALLE 72, PT HOSPITALES, PT-PLMB-PT -01, PT-VIBLA-01, PT-PLMB-AGRO-02- S, PT-PLMB-AGRO-02- F.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

- Los suelos del proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá se clasifican como suelos muy ácidos conforme a los niveles reportados de pH (entre 3.51 y 5.34 Uni. pH) para los puntos PT-CALLE 72, PT –CALLE45, PT-PLMB-AGRO 02M y PT-PLMB-AGRO-02F., suelos ácidos PT-PLMB-AGRO-02 S y PT-HOSPITALE, suelos neutros PT-PLMB-PT-01 y suelos alcalinos los puntos PT-VIBLA-01 Y PT-AV1 DE MAYO BOYACA.

5.2.1.10.5 Pasivos ambientales

De acuerdo al recorrido realizado sobre el trazado se permitió identificar el tipo de actividades económicas desarrolladas en el AID lo que permitió distribuir las de forma relativamente homogénea.

A continuación y con base en la información obtenida desde la línea base socioeconómica se presenta una identificación general preliminar de las actividades y sitios con potenciales riesgos de pasivos ambientales, los cuales se evaluarán en una fase posterior (ver Capítulo 7 Impactos) previo proceso de construcción:

Tabla 5.2.1-79 Actividades económicas

Actividad económica	Número de establecimientos o actividades inventariadas						Subtotal
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	
Cerámicas, acabados (Drywall, cocinas integrales), depósito de materiales de construcción, pinturas	160	39	22	12	0	4	237
Plásticos, impermeables, señalización	0	4	0	11	48	0	63
Taller de reparación de electrodomésticos. Equipos de oficina	24	19	13	8	0	0	64
Bodegas de reciclaje, chatarrerías, materiales de demolición	56	11	0	0	17	0	84
Almacén de autopartes, repuestos	72	31	52	76	13	0	244
Taller de mecánica, lavadero de carros, montallantas, aceites, exostos, radiadores	96	59	27	81	6	11	280
Estación de servicio	14	7	8	6	3	8	46
Parqueaderos públicos	4	5	5	6	3	12	35
Lavandería	2	3	0	0	0	0	5
Muebles (Fábrica y vitrinas)	8	2	0	0	0	2	12

Actividad económica	Número de establecimientos o actividades inventariadas						Subtotal
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	
Bodegas, Industrias	56	8	0	0	6	0	70
Total	492	188	127	200	96	37	1140

5.2.1.11 Paisaje

5.2.1.11.1 *Metodología*

El paisaje es el ambiente múltiple que percibimos visualmente (Gómez-Alzate, 2012), este cambia con las costumbres y acciones humanas. El proceso de urbanización es uno de los procesos que mayor impacto ejerce sobre el cambio del uso del suelo, la pérdida de diversidad y los cambios en la percepción del paisaje (Jianguo-Wu, 2002).

El crecimiento poblacional producto de la llegada de habitantes de otros municipios a la ciudad de Bogotá ha provocado una reducción y transformación de los espacios naturales (Almanza-Castañeda, Preciado-Beltrán, & Leal-Pulido, 2005), que a largo plazo han provocado un cambio en la percepción del paisaje.

El paisaje es una herramienta de ordenamiento importante, mediante la que es posible construir el territorio a partir de las modificaciones que a este se realizan y lograr el bienestar de la comunidad a través del sentido de pertenencia (Matsuoka & Kaplan, 2008). El paisaje urbano es valorado principalmente a partir de seis elementos, el contacto con la naturaleza, la preferencia estética, la recreación, la interacción social, la participación ciudadana y la identidad comunitaria (Matsuoka & Kaplan, 2008). Para la caracterización de la calidad visual sobre el área del proyecto de la PLMB, estos elementos fueron valorados metodológicamente por el consorcio Metrobog y especializados de acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización social y recorridos por el área de estudio. Se presenta a continuación la valoración dada a estos elementos:

Contacto con la naturaleza: se encuentra relacionada con la presencia de parques locales, zonales o metropolitanos, reservas urbanas y la facilidad de acceso a estas. Se incluye también en esta categoría la presencia de arbolado y jardines urbanos, ya que a nivel estético reducen las modificaciones que se realizan al medio (Tabla 5.2.1-80).

Tabla 5.2.1-80 Valoración del contacto con la naturaleza

Valoración del contacto con la naturaleza	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Preferencia estética: corresponde a aquellos elementos definidos por la percepción humana a través de la belleza intrínseca de las formas de la tierra, como la presencia de recursos históricos y arquitectónicos que son de gran importancia, la presencia de árboles o jardines y en algunos casos coberturas naturales o afloramientos rocosos (Tabla 5.2.1-81).

Tabla 5.2.1-81 Valoración de la preferencia estética

Valoración de la preferencia estética	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Recreación: Hace referencia a la disponibilidad de zonas verdes y parques en los que los habitantes pueden interactuar con su familia. Para este caso son considerados los parques metropolitanos, parques zonales y parques locales presentes en el área de influencia (Tabla 5.2.1-82).

Tabla 5.2.1-82 Valoración de la presencia de espacios recreativos

Valoración de la presencia de espacios recreativos	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Interacción social: el lazo o vínculo que existe entre las personas y que son esenciales para el grupo, de tal manera que sin ella la sociedad no funcionaría. Las relaciones sociales y los modos de interacción no se limitan al ámbito familiar o de parentesco; también incluye las relaciones laborales, políticas, o asociadas a un lugar en especial, así como a los centros educativos, etc. (Tabla 5.2.1-83).

Tabla 5.2.1-83 Valoración de la Integración social

Valoración de la Integración social	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Participación ciudadana: La participación ciudadana es un conjunto de mecanismos para que la población acceda a las decisiones del gobierno de manera independiente sin necesidad de formar parte de la administración pública o de un partido político. Para el presente estudio, esta información se relaciona con la presencia de grupos y organizaciones que interactúan entre sí con el fin de llegar a un objetivo común, en este caso el bienestar de la comunidad donde habitan (Tabla 5.2.1-84).

Tabla 5.2.1-84 Valoración de la Participación ciudadana

Valoración de la Participación ciudadana	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Identidad comunitaria o sentido de pertenencia: se define como a satisfacción de una persona al sentirse parte integrante de un grupo, el cual se caracteriza y la distingue de las demás por sus tradiciones, preferencias o conocimientos (Tabla 5.2.1-85).

Tabla 5.2.1-85 Valoración del sentido de pertenencia y la identidad comunitaria

Valoración del sentido de pertenencia y la identidad comunitaria	Calificación
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Espacializados cada uno de los elementos evaluados en el área de estudio se realizó una ponderación de las variables dando peso a cada una de las zonas definidas para el tramo de la primera línea del metro de Bogotá, ya que de acuerdo a la matriz de consolidación de recomendaciones ciudadanas, estos sectores se caracterizan por una preferencia diferente de cada uno de los elementos que componen el paisaje descritos anteriormente. En la Tabla 5.2.1-86 se presentan los pesos dados a cada una de las variables evaluadas para el análisis de paisaje.

Tabla 5.2.1-86 Pesos dados a cada una de las unidades de paisaje de acuerdo a la percepción local

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Contacto con la naturaleza	0,30	0,25	0,11	0,13	0,15	0,21
Preferencia estética	0,17	0,20	0,20	0,13	0,20	0,20
Recreación	0,17	0,20	0,11	0,13	0,20	0,13
Interacción social	0,12	0,12	0,20	0,21	0,20	0,20
Participación ciudadana	0,12	0,12	0,20	0,20	0,11	0,13
Identidad comunitaria o sentido de pertenencia	0,12	0,11	0,20	0,20	0,14	0,13

Estimada la calidad visual para el área de estudio, se procede a clasificarla de acuerdo a los valores presentados en la Tabla 5.2.1-87, de los cuales se obtuvo un mapa de distribución de la calidad visual en el área de estudio.

Tabla 5.2.1-87 Clasificación de la calidad visual

Valor	Calidad Visual
1,35-1,82	Baja
1,82-2,44	Media
2,44-3,06	Alta

5.2.1.11.2 Resultados

El paisaje que se describe a continuación es propiamente urbano y en él la percepción del entorno no se centra en las características físicas del medio en el que habitan los seres humanos, sino en el componente social y principalmente en las relaciones sociales, ya que incluye una valoración significativa de estos elementos, los cuales son importantes para el bienestar y la habitabilidad del territorio, principalmente en lugares con modificaciones notorias al medio y en el que no es común observar elementos naturales, tal como sucede en el paisaje rural.

Los resultados obtenidos de la calidad visual se presentan para el área de influencia indirecta de la primera línea del metro Bogotá denominada de ahora en adelante AIPLMB y se describirán para cada una de las zonas definidas en la línea base social (Figura 5.2.1-42).

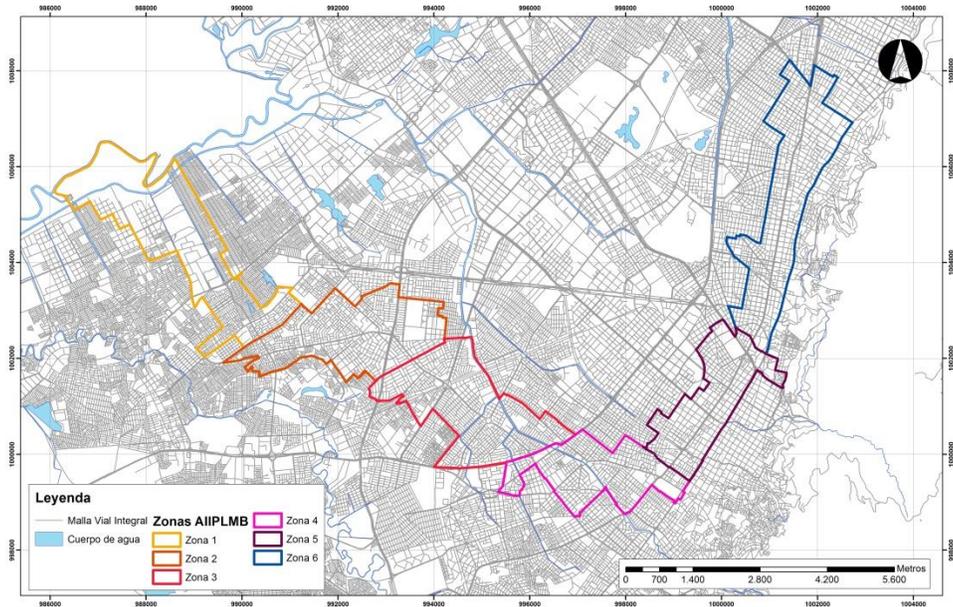


Figura 5.2.1-42 Zonas del AIPLMB

- **Zona 1: Cabecera portal Américas Río Bogotá – Carrera 79**

Esta zona se caracteriza por la presencia de edificaciones en su mayoría de dos o tres pisos y algunos cuerpos de agua en la parte inicial del tramo que corresponden al río Bogotá y el canal Tintal II (Fotografía 5.2.1-3). De acuerdo con el parámetro de contacto con la naturaleza, para el área de estudio en la zona 1, predominan las superficies ocupadas por un valor medio, con poca vegetación o vegetación asociada a las zonas verdes, parques y separadores viales que presentan una abundancia baja de individuos arbóreos y arbustivos (Fotografía 5.2.1-3 y Figura 5.2.1-43).





Fotografía 5.2.1-3 Zonas con pastos y árboles ubicadas en el Tramo 1 del AII PLMB

A nivel de preferencia estética, en esta zona la presencia de residuos sólidos sobre el cuerpo de agua y en las áreas verdes provoca una reducción en la calidad visual, la cual sumada a la infraestructura deteriorada (vías sin pavimentar) reduce la valoración de esta. En este caso para la zona 1, predominan las superficies con una preferencia estética baja con el 55%, seguidas de las superficies con preferencia estética alta (45%), que corresponden principalmente a las superficies ocupadas por parcos y zonas verdes ubicadas en el AII PLMB para la zona 1 (Figura 5.2.1-43).



Fotografía 5.2.1-4 Construcciones y Superficies naturales con presencia de residuos solidos en la Zona 1 del AII PLMB

Con relación a las áreas recreativas, para la zona 1 existe la presencia de parques con zonas verdes, juegos infantiles y áreas deportivas; sin embargo, estos son considerados insuficientes para la cantidad de habitantes. Esto no se evidencia en la distribución de las superficies con una valoración alta para este parámetro en esta zona, ya que dentro del análisis se incluye la superficie

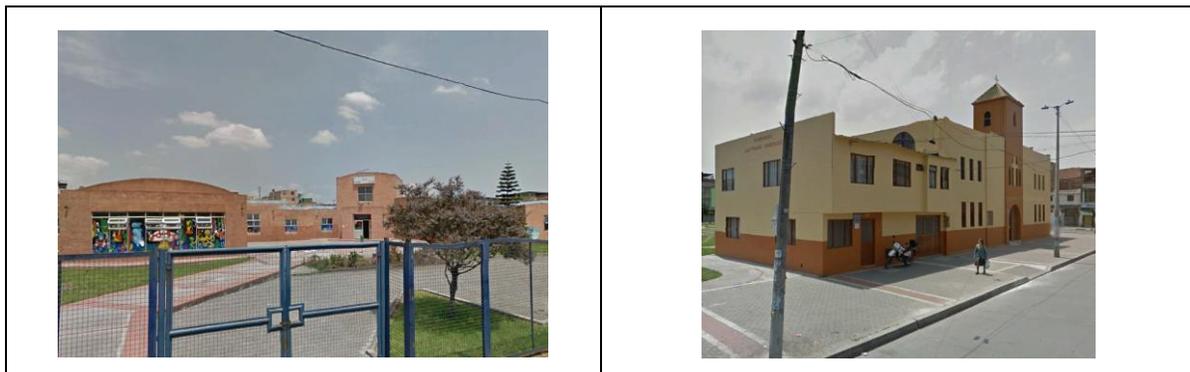
ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

el área del Patio-Taller la cual se encuentra ocupada por pastos limpios que agregan un valor alto al paisaje, ocupando esta unidad para la zona 1 el 45% del área total en esta zona (Figura 5.2.1-43). En la Fotografía 5.2.1-5 se presentan las áreas recreativas de la zona 1.



Fotografía 5.2.1-5 Zonas recreativas del Tramo 1

Con relación a la interacción social existe variedad de equipamientos culturales, religiosos y educativos para el AII PLMB donde los habitantes de esta zona interactúan, lo cual provoca una valoración alta para la zona 1 ocupando esta el 46%, seguida por aquellas superficies que no se encuentran ocupadas por este tipo de infraestructura ocupando la superficie restante, (54%) (Fotografía 5.2.1-6).





Fotografía 5.2.1-6 Equipamientos culturales y educativos

Con respecto a la participación comunitaria para la zona 1 del AII PLMB, existen variedad de fundaciones, grupos sociales y juntas de acción comunal que velan por los derechos de los habitantes del sector, lo que indica que existe un alto interés de las comunidades por el bienestar de los habitantes del sector, por lo anterior para este parámetro en la zona 1 la valoración es alta.

Por último en la zona 1 del AII PLMB, de acuerdo a la matriz de resultados de consolidación de recomendaciones se identifica que en el área de estudio no se presenta un alto sentido de pertenencia; sin embargo, se evidencia que en el área de estudio existe un amplio interés por la mejora en la calidad estética y la búsqueda de espacios para interacción social, por lo que la valoración dada al tramo 1 en este parámetro corresponde a media (Figura 5.2.1-43).

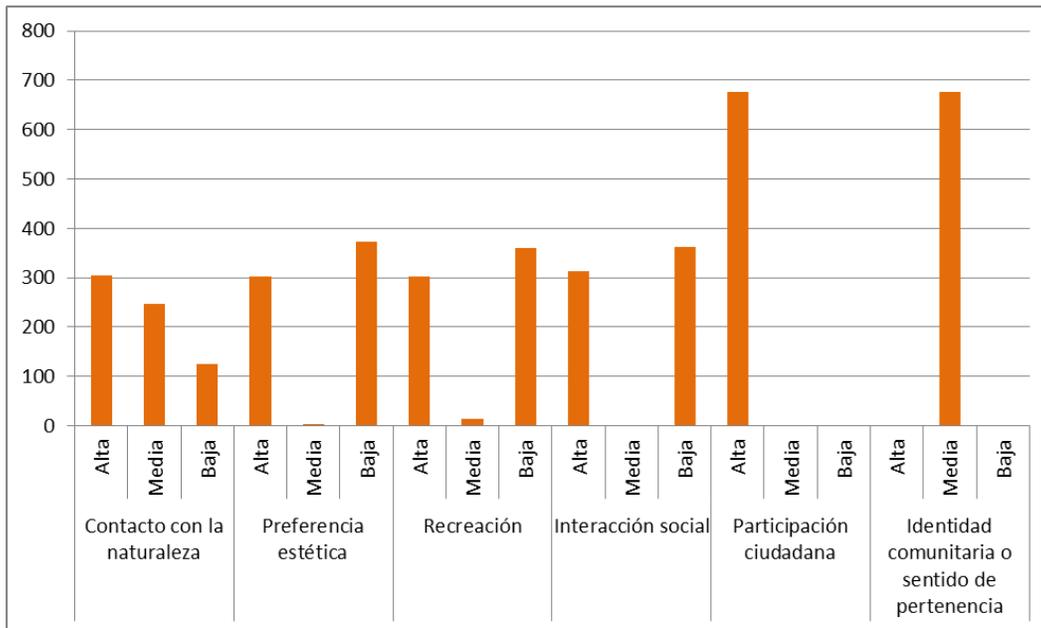


Figura 5.2.1-43 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual

De acuerdo a los pesos dados a cada uno de los elementos que componen el análisis de calidad visual, para la zona 1 del AII PLMB, se identifica que la zona se encuentra dominada por superficies con una calidad visual baja (53%), dadas por las condiciones actuales del territorio, la baja presencia de elementos naturales y la baja densidad de elementos recreativos e infraestructura recreativa. No obstante, existe una alta representatividad de superficies con una

calidad visual alta asociadas a las zonas naturales presentes en este tramo y principalmente aquellas ubicadas en el área del Patio-Taller, las cuales reducen la percepción baja en la calidad visual del entorno, adicionalmente en estas superficies se incluyen las zonas verdes y los parques.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos en este tramo se encuentran relacionados con el peso dado a cada una de las variables evaluadas, pues en este sector se evidenció la importancia que los habitantes dan al contacto con la naturaleza, siendo este un factor significativo ya que existe un bajo volumen de elementos naturales. En la Figura 5.2.1-44 se presenta la distribución de la calidad visual para esta zona.

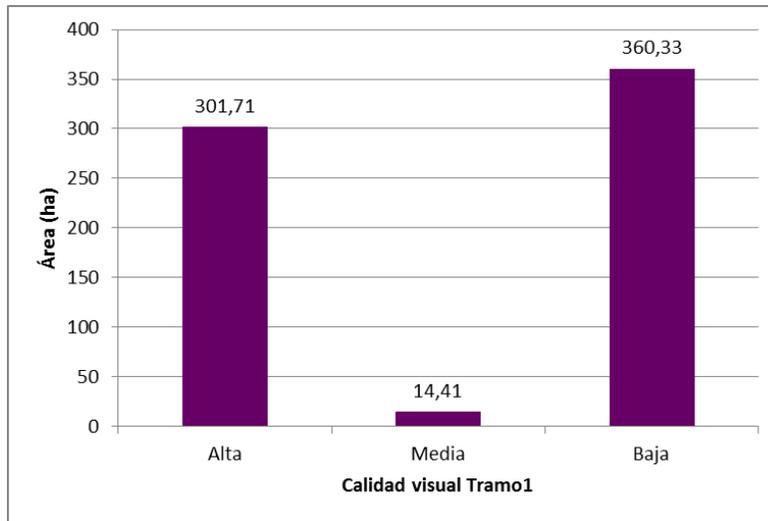
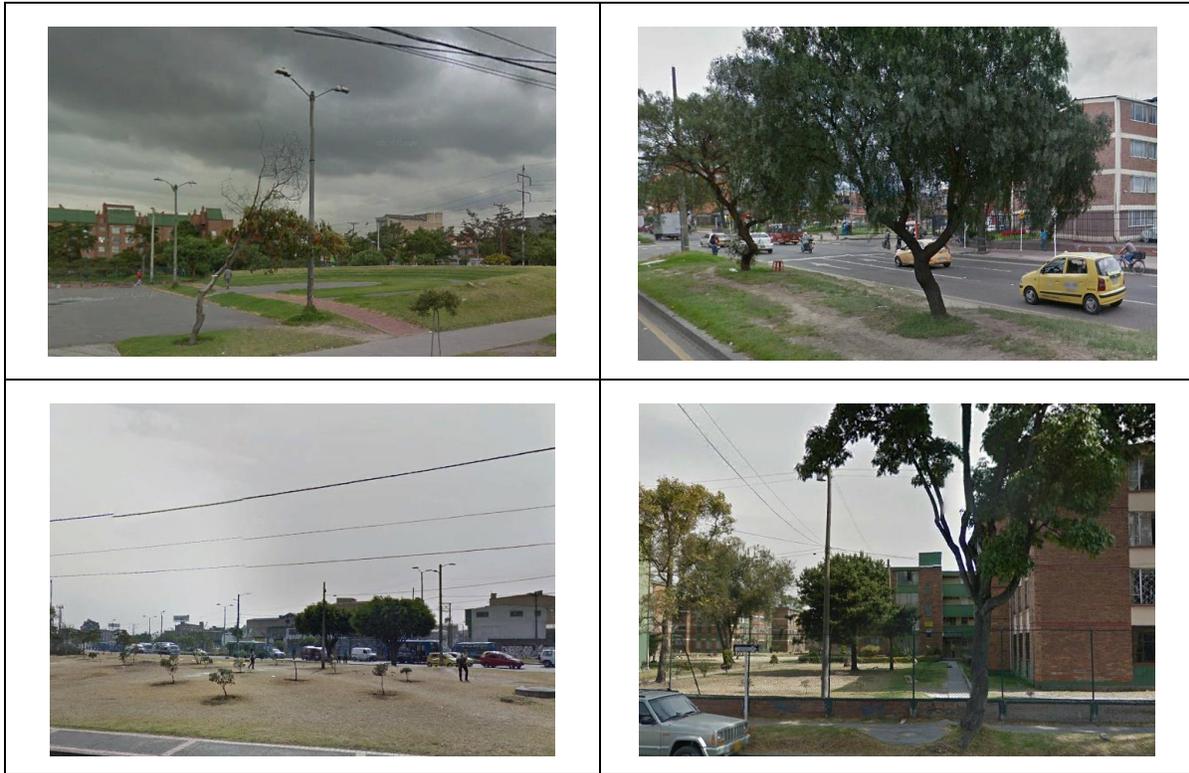


Figura 5.2.1-44 Distribución de la calidad visual para la zona 1 en superficie (ha)

- **Zona 2: Kennedy carrera 79 – Carrera 69B**

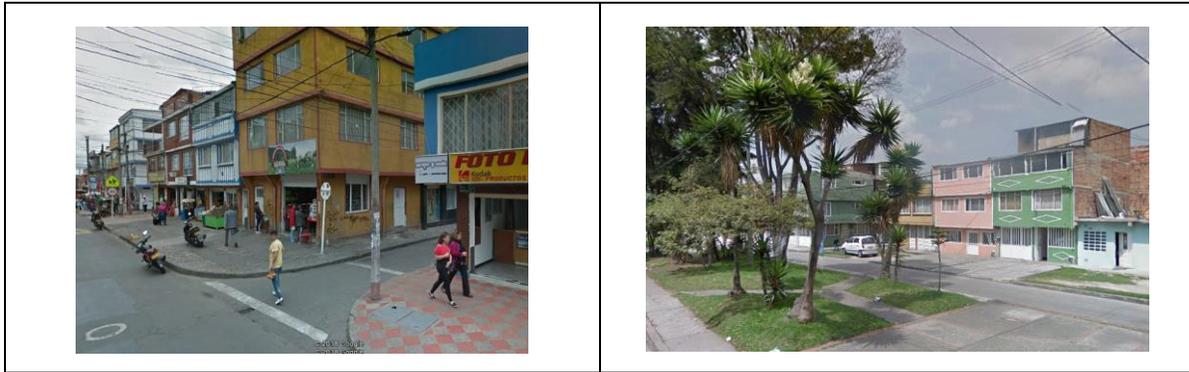
A diferencia de la zona 1, en esta se observa la presencia de variedad de edificaciones con más de dos pisos y presencia de conjuntos residenciales, sin embargo no se destaca la presencia de zonas naturales o con algunos elementos naturales (Fotografía 5.2.1-7); esto indica que en este tramo del AII PLMB, el análisis de contacto con la naturaleza se centró en la presencia individuos arbóreos emplazados en los separadores, andenes, zonas verdes de los conjuntos residenciales y en algunos parques que se encuentran distribuidos en la zona. Para el AII PLMB, las zonas con espacios naturales o elementos naturales ocupan el 15% correspondientes a zonas con presencia de parques, seguido por aquellas superficies relacionadas con las edificaciones y sus zonas verdes, las cuales ocupan el 57% del área de esta zona (Figura 5.2.1-45).



Fotografía 5.2.1-7 Zonas con individuos arbóreas ubicadas en el Tramo 2 del AII PLMB

En cuanto a la preferencia estética, para la zona 2 predominan las superficies con una valoración baja (Figura 5.2.1-45) con cerca del 85% del área de la zona 2, las cuales se encuentran asociadas a la presencia de vías y edificaciones; estas últimas presentan una baja densidad de zonas verdes, por lo que la percepción hacia este criterio es baja. Le siguen en una menor proporción aquellas superficies ocupadas por una valoración alta, en las que como se mencionó se incluyen los parques y zonas recreativas (13%) y en menor proporción se presentan las superficies con una valoración media, las cuales corresponden a los separadores (Fotografía 5.2.1-8).





Fotografía 5.2.1-8 Construcciones y zonas verdes en la Zona 2 del AII PLMB

La zonas recreativas, para la zona 2 como se ha mencionado no son dominantes en el área, motivo por el cual representan tan solo el 13% de la superficie total de esta zona (Figura 5.2.1-45). Se destacan entre ellas el Parque Mundo Aventura y el Parque Carimagua (Fotografía 5.2.1-9).



Parque Carimagua

Parque Mundo Aventura

Fotografía 5.2.1-9 Zonas recreativas del Zona 2

La interacción social de acuerdo a la mapiificación indica que la zona 2 cuenta con superficies en su mayoría con una baja valoración relacionadas con la poca presencia de equipamientos donde es posible la interacción social, como colegios, bibliotecas o parques (Fotografía 5.2.1-10). Las superficies con baja valoración ocupan el 81%, mientras que aquellas con una valoración alta ocupan el 19% como se presenta en la Figura 5.2.1-45.





Fotografía 5.2.1-10 Equipamientos culturales y educativos

Para la zona 2 se registró de acuerdo a la línea base social la presencia de una cantidad representativa de fundaciones y organizaciones que velan por la comunidad y la diversidad de saberes que se dan en torno al territorio por lo que esta fue valorada para el parámetro de participación comunitaria como alta en la zona 2 (Figura 5.2.1-45).

Por último, con relación al sentido de pertenencia o identidad comunitaria, no se evidencian rasgos de un arraigo hacia el territorio en esta zona, aunque existe un interés por el mejoramiento de las áreas recreativas y de apreciación paisajística y la búsqueda de lugares más agradables en los que se observe la presencia de plantas como árboles y jardines verticales. Adicionalmente, en el área se evidencia la búsqueda de lugares donde sea posible la expresión artística, principalmente espacios culturales; por lo anterior la valoración para este elemento del paisaje es media en la zona 2 como se observa en la Figura 5.2.1-45.

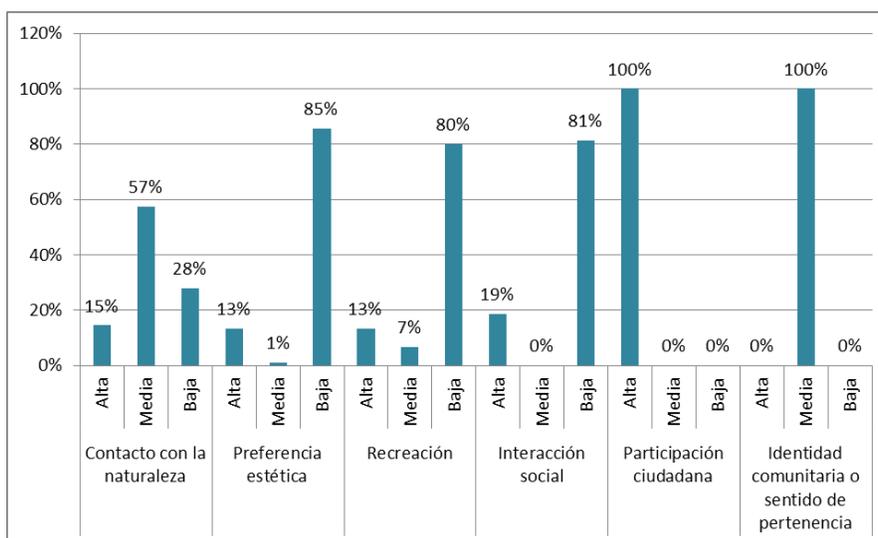


Figura 5.2.1-45 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual. Zona 2

Ponderados los parámetros de acuerdo a los pesos dados en esta zona, donde el principal interés se concentra en el contacto con la naturaleza los resultados obtenidos evidencian que la calidad visual es baja en su mayoría con un 80% (Figura 5.2.1-46) y se encuentra relacionada con la baja densidad de parques y zonas verdes y la presencia de unidades de residenciales que en algunos casos no son percibidas como agradables por los habitantes. En la Figura 5.2.1-52 se presenta la distribución de la calidad visual para esta zona.

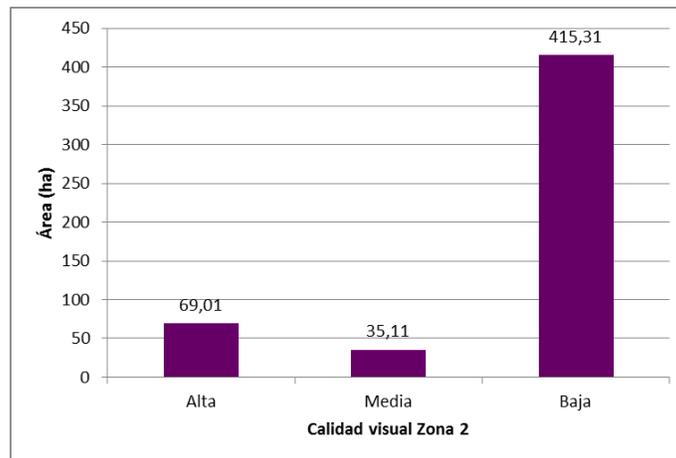


Figura 5.2.1-46 Distribución de la calidad visual para la zona 1 en superficie (ha)

- **Zona 3: Puente Aranda Carrera 69B – Av. NQS CI 8 Sur**

De forma similar a la zona 2, el paisaje de este sector se encuentra dominado por variedad de construcciones habitacionales, comerciales, educativas, culturales e industriales; no obstante, en esta zona se evidencia una mayor presencia de zonas naturales, lo que provoca una variación en la calidad visual (Fotografía 5.2.1-11). Por lo anterior a nivel del contacto con la naturaleza las zonas con una valoración media ocupan el 55% (Figura 5.2.1-47) de la superficie, lo que indica que en la zona aunque no se presenta una alta densidad de individuos arbóreos (elementos que pueden propiciarían la llegada de avifauna) existe una dominancia de zonas verdes y la presencia de separadores con elementos arbóreos que mejoraran la percepción de la calidad visual en el sector.





Fotografía 5.2.1-11 Zonas verdes en el Tramo 3 del AII PLMB

La preferencia estética para la Zona 3 del AII PLMB, se encuentra dominada por superficies con una valoración baja las cuales ocupan el 84% y están relacionadas con las presencia de edificaciones y vías, mientras que las superficies con una valoración media y alta ocupan el 35 y 13% respectivamente (Figura 5.2.1-47), la relación entre la presencia de vías, parques y vegetación y las edificaciones provoca cierto grado de armonía que indica que la calidad visual general en el sector es media como se verá más adelante. En la Fotografía 5.2.1-12, se presentan algunos puntos de observación identificados en el sector que evidencian la calidad visual del mismo.



Fotografía 5.2.1-12 Construcciones y zonas verdes en la Zona 3 del AII PLMB

Las áreas recreativas para la zona3 ocupan cerca del 21% (Figura 5.2.1-47) e incluyen aquellas superficies con una valoración media (separadores) y alta (parques y zonas recreativas). Dentro de las áreas recreativas que se destacan en el sector se encuentran: Parque Milenta Tejas San Eusebio y el Parque Ciudad Montes (Fotografía 5.2.1-13).



Fotografía 5.2.1-13 Áreas recreativas del Zona 3

De acuerdo a la espacialización de las áreas educativas, para la zona 3 del AII PLMB se identifica que en el área de estudio estas ocupan cerca del 19% (Figura 5.2.1-47), la superficie restante corresponde a aquellas zonas donde no se registra la presencia de este tipo de elementos. En la Fotografía 5.2.1-14 se presentan algunas de las Instituciones educativas que se destacan en el sector.





Fotografía 5.2.1-14 Equipamientos culturales y educativos

Con relación a la participación ciudadana en la zona 3 se registró la presencia de una cantidad representativa de fundaciones y organizaciones que velan por la comunidad y la diversidad de saberes que se dan en torno al territorio, por lo que para esta zona el parámetro de participación comunitaria fue valorada como alta (Figura 5.2.1-47).

Por último, con relación al sentido de pertenencia y la identidad comunitaria varios habitantes del sector se identifican con el barrio el tejear ya que en este lugar aún habitan los hijos de los fundadores y es un símbolo de gestión comunitaria, por lo que dentro de sus objetivos principales se encuentra promover el conocimiento acerca de la fundación del barrio y fortalecer las dinámicas culturales. Por lo anterior, para la zona 3 la valoración de este parámetro es alta (Figura 5.2.1-47).

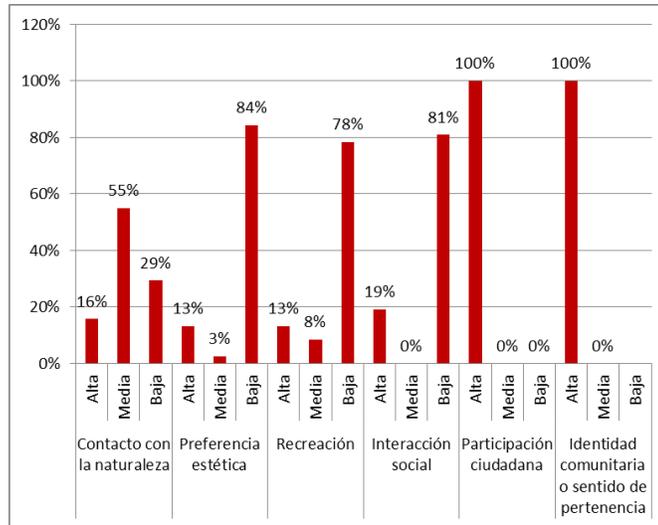


Figura 5.2.1-47 Superficie cubierta por cada uno de los parámetros evaluados para estimar la calidad visual. Zona 3

De acuerdo a valor dado a cada uno de los parámetros y teniendo en cuenta que para esta zona, los parámetros que mayor importancia presentan son: preferencia estética, participación ciudadana, Identidad o sentido de pertenencia e Interacción social; la valoración de calidad visual que mayor superficie ocupa corresponde a media con un 58%, seguida de calidad visual baja con

29% y la calidad visual alta con un 19% (Figura 5.2.1-47). Esto indica que el sentido de pertenecía, la presencia de áreas verdes y parques y los equipamientos educativos provocan una mejora en la calidad visual del sector. En la Figura 5.2.1-48 se presenta la distribución de la calidad visual para esta zona.

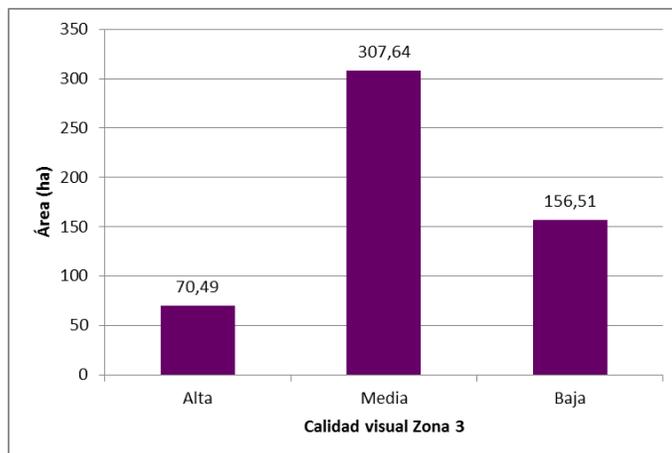


Figura 5.2.1-48 Distribución de la calidad visual para la zona 3 en superficie (ha)

- Zona 4: Antonio Nariño Av. NQS CI 8 Sur – Av. Caracas con CI. 2**

En el caso de la Zona 4 predomina el contacto con la naturaleza valorado en medio en el 58.72% del territorio estudiado, lo que equivale a 211.74 ha (véase Tabla 5.2.1-88). En la urbe, el contacto con la naturaleza se relaciona directamente con la presencia de parques o espacios verdes de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental, quienes además son elementos representativos del patrimonio natural y garantizan el espacio libre destinado a la recreación, contemplación y ocio para todos los habitantes de la ciudad. Los cuales deben ser de fácil acceso para el disfrute de los habitantes.

En la zona se destacan dos parques de carácter Zonal (dimensión entre 1 a 10 ha, y que pueden albergar equipamiento especializado como polideportivos, piscinas, canchas, pistas de patinaje, entre otros); El parque la Fragua y el parque zonal Santa Isabel (véase Fotografía 5.2.1-15). Hacia 1970 se realizan las obras de canalización del río Fucha lo que genera un cambio en el paisaje y en las condiciones sanitarias del sector.

Nombre del parque	Valor	Imagen
La Fragua	Cancha futbol once recientemente inaugurada	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Nombre del parque	Valor	Imagen
	<p>Zonas verdes y ciclo rutas con arbolado y jardines urbanos que reducen las modificaciones hechas al medio</p>	<p>https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/la_fragua.png</p>  <p>http://www.filmingbogota.gov.co/?q=es/content/parque-la-fragua</p>
	<p>Senderos peatonales con arbolado y jardines urbanos que reducen las modificaciones hechas al medio</p>	 <p>http://www.filmingbogota.gov.co/?q=es/content/parque-la-fragua</p>
<p>Santa Isabel</p>	<p>Sede regular de festivales de fútbol, patinaje y baloncesto, además es el escenario predilecto de actividades organizadas por la Alcaldía Local y el IDRD.</p>	 <p>http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/node/286</p>

Fotografía 5.2.1-15 Presencia de parques locales

En segundo lugar, en la zona 4 se encontró la predominancia de valores bajos en el parámetro de preferencia estética, esta unidad de la calidad del paisaje se relaciona con la percepción humana de la belleza intrínseca de las formas de la tierra, en gran medida con la presencia de arbolado urbano y jardines así como de espacios naturales, además de recursos históricos y arquitectónicos.

En la zona 4 el 78.19% del territorio evaluado (281.95 ha) obtuvo la mínima puntuación (véase Tabla 5.2.1-88 y Figura 5.2.1-49). Resultado que puede corresponder a la relación que tiene, según los habitantes del lugar, ciertas condiciones de inseguridad con los árboles plantados, los cuales son usados como refugio de la delincuencia y debido a esto su presencia en los andenes es mínima. (Fotografía 5.2.1-16).



Fotografía 5.2.1-16 Calles con pocos individuos arbóreos dentro de la zona 4

En cuanto a la evaluación de espacios recreativos para la Zona 4 fueron considerados los parques y la disponibilidad de zonas verdes en los que los habitantes pudiesen interactuar dentro del área valorada, dando como resultado una baja estimación en esta unidad del paisaje; en el lugar priman las edificaciones en el 82.30% de los casos (296.79 ha), véase Tabla 5.2.1-88 y Figura 5.2.1-49. Sin embargo, como se mencionó anteriormente los habitantes pueden disponer de al menos dos parques de tipo zonal para su recreación (véase Fotografía 5.2.1-15).

Por otro lado, en la estimación de la integración social se encontró una dominancia de valores bajos (75.75% del área estudiada). Este parámetro evalúa el vínculo entre los habitantes no limitado al ámbito familiar, sino que incluye el lazo asociado a un lugar especial, en este caso la integración social tiene en cuenta los centros educativos y las zonas culturales y de interés para la comunidad, dos de los establecimientos que sobresalen en este aspecto son el Colegio Eduardo Santos I.E.D y el Centro de tecnologías para la construcción y la madera del SENA, ver Figura 5.2.1-49 y Tabla 5.2.1-88. En la década del sesenta se inaugura la sede del SENA ubicada en la carrera 30, lo que posibilita el acceso de los jóvenes del sur occidente a la formación técnica.

Otros referentes importantes para los residentes son los hospitales de la zona: Hospital Universitario San Juan de Dios y la Fundación Hospital de la Misericordia-HOMI.



Fotografía 5.2.1-17 Instituciones educativas presentes en la Zona4

Finalmente, la evaluación del sentido de pertenencia y participación ciudadana de la zona 4 tuvo en cuenta el alto grado de arraigo de los habitantes producto de la autoconstrucción y el trabajo colaborativo entre las familias, el cual jugó un papel muy importante desde la década de los sesenta cuando se fundó el barrio La Fragua con auxilios en dinero y terrenos para familias de bajos recursos. El proyecto, novedoso para la época, permitió la construcción de más casas de las que se habían pensado inicialmente gracias a que se diseñó un barrio con calles peatonales; según la *MATRIZ DE CONSOLIDACIÓN DE RECOMENDACIONES CIUDADANAS PARA EL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ*, muchas de estas familias aún se mantienen en el sector y se sienten ligados a la zona que habitan. Por esta razón se obtuvieron los valores más altos en la evaluación de estas unidades de la calidad visual del paisaje, véase Tabla 5.2.1-88 y Figura 5.2.1-49.

Tabla 5.2.1-88 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona 4.

Unidades del paisaje	Valoración de las unidades	Área en ha	%
Contacto Naturaleza	Bajo	105,22	29,18
	Medio	211,74	58,72
	Alto	43,63	12,10
Preferencia estética	Bajo	281,95	78,19
	Medio	5,37	1,49
	Alto	73,28	20,32
Presencia espacios recreativos	Bajo	296,79	82,30
	Medio	25,54	7,08
	Alto	38,26	10,61
Integración social	Bajo	269,55	74,75
	Alto	91,05	25,25
Participación ciudadana	Alto	360,60	100,00
Sentido de pertenencia	Alto	360,60	100,00

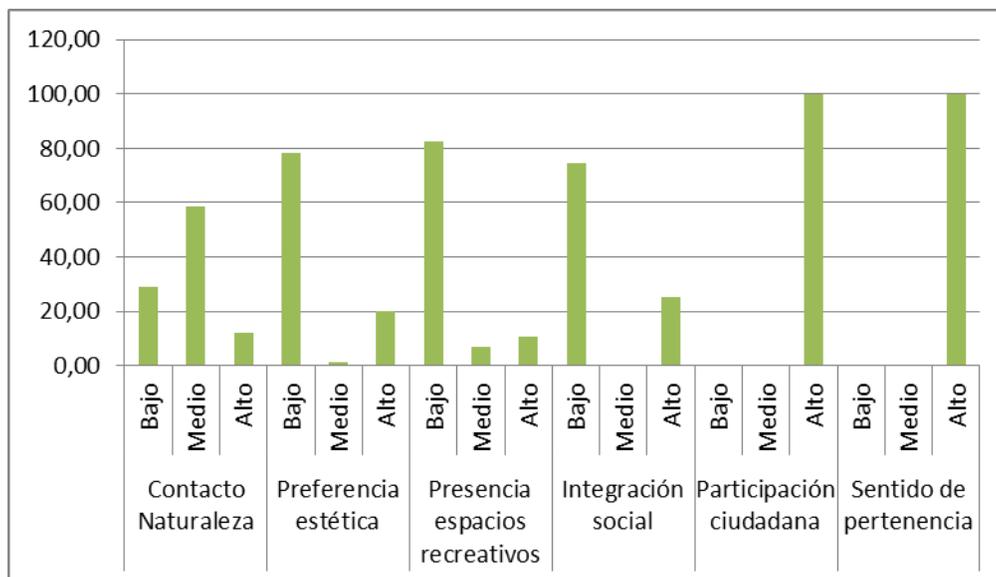


Figura 5.2.1-49 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona 4

La evaluación final de la calidad visual del paisaje de la zona 4 dio como resultado una valoración media este resultado es producto de la ponderación de las variables mencionadas anteriormente, teniendo en cuenta las diferencias de preferencia de cada uno de los elementos que componen el paisaje en cada una de las zonas evaluadas de acuerdo con la matriz de consolidación de recomendaciones ciudadanas (Tabla 5.2.1-86), siendo las más importantes para este sector las unidades de interacción social, participación ciudadana e identidad comunitaria o sentido de pertenencia, relacionadas con el arraigo y los lazos de las familias con el espacio estudiado, véase Tabla 5.2.1-89.

Tabla 5.2.1-89 Calidad visual Zona 4

Unidades del paisaje	Valoración de las unidades	Área en Ha
Calidad visual	Bajo	95,91
	Medio	173,64
	Alto	91,05
	Total general	360,60

• **Zona 5: Centro histórico Av. Caracas con Cl. 2 – Cl. 28**

La zona es de uso principalmente comercial y en menor proporción residencial, por lo cual en el área de influencia la cantidad de parques es baja con respecto a otras zonas; sin embargo, al igual que en la Zona 4 existen dos parques de gran área, el parque Tercer Milenio y el parque del Renacimiento, ambos de escala metropolitana (con una superficie superior a 10 hectáreas, destinadas al desarrollo de usos recreativos y a la generación de valores paisajísticos y ambientales) y resultado del proceso de renovación urbana del centro.

En primer lugar el parque del Renacimiento se caracteriza por un espejo e hilo de agua rodeado de abundante arborización con especies nativas, que propician el disfrute de actividades de

recreación y eventos culturales, se encuentra ubicado cerca al centro internacional. Por otro lado, el Parque Metropolitano Tercer Milenio está ubicado en el centro de Bogotá, en la localidad de Santa Fe, nació como parte de la Política de Recuperación de Bogotá, y surgió dada la necesidad de darle un respiro más limpio a esta zona denominada antiguamente como la “calle del cartucho” o antiguo barrio Santa Inés. Adicionalmente, en la zona 5 se encuentran algunos parques de tipo vecinal como el del barrio San Bernardo, véase Fotografía 5.2.1-18

Consecuentemente con lo expuesto, y teniendo en cuenta parques, zonas verdes, jardines y arbolado urbano, la valoración del contacto con la naturaleza de la Zona 5 dio un resultado medio en el 57,82% de los casos, lo cual representa 213.05 ha que ayudan a reducir las modificaciones hechas al paisaje, véase Tabla 5.2.1-90 y Figura 5.2.1-50. Adicionalmente, según la matriz de consolidación de recomendaciones ciudadanas, en este sector las comunidades reconocen que existe poca vegetación y manifiestan la necesidad de renovación y mejoramiento en ese aspecto sobre la Avenida Caracas.

Otro de los elementos del paisaje que tiene como base la belleza intrínseca de las formas de la tierra es la preferencia estética; en la zona 5 se presentaron valores predominantemente bajos (75,71% del área estudiada), véase Tabla 5.2.1-90 y Figura 5.2.1-50, lo que está relacionado con la presencia de pocos lugares naturales. Es importante ya que la vegetación en la ciudad, no sólo tiene una función de regulación ecológica, sino que juega un rol ornamental, recreativo y perceptual-paisajístico, este último relacionado con la necesidad psicológica del habitante de la ciudad por acercarse a la naturaleza. La infraestructura verde de las ciudades, es la única que da respuesta a ciertas necesidades de convivencia, agrupación y socialización, cumpliendo una función social que llega a ser de interés incluso en la ratificación de la persona en cuanto que facilita su conexión con el pasado (jardines de origen histórico, acompañamiento verde en zonas de interés arquitectónico) o lo que es lo mismo, facilita la ubicación de la persona en un orden cultural, pero también en un orden natural gracias a la unión de aspectos biológicos (temperaturas, período diario de luz) con estos espacios vivos urbanos.

Estrechamente relacionado con este parámetro, se encuentra la medida de la presencia de espacios recreativos y la disponibilidad de zonas verdes en los que los habitantes puedan interactuar con sus allegados. En el caso de la zona expuesta, la valoración de esta unidad del paisaje fue predominantemente baja en el 84.62% del área evaluada, véase Tabla 5.2.1-90 y Figura 5.2.1-50. Dentro de los espacios recreativos a los que los habitantes pueden acceder dentro de la zona 5 el parque el Renacimiento sobresale por la escultura Hombre a Caballo, obra de Fernando Botero. Posee además una retreta cubierta para eventos culturales, mobiliario, iluminación y cafetería, véase Tabla 5.2.1-90 y Figura 5.2.1-50.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

<p>Parque Tercer Milenio</p>	<p>Parque Tercer Milenio</p>
 <p>RutasBogota.com</p>	 <p>http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/node/237</p>
<p>Parque Renacimiento</p>	<p>Parque Renacimiento</p>
 <p>Google Street View.</p>	 <p>Google Street View.</p>
<p>Parque vecinal del Barrio San Bernardo</p>	<p>Parque vecinal del Barrio San Bernardo</p>
 <p>http://www.bogota.gov.co</p>	 <p>Google Street View.</p>

Fotografía 5.2.1-18 Parques y zonas verdes disponibles en la Zona5

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En cuanto a la evaluación de la integración social en la zona 5 se encontró predominancia de una valoración baja (en el 74.05% del área estudiada); sin embargo, el porcentaje restante (considerado como alto en su totalidad) tiene que ver con el hecho de que la zona 5 está constituida por barrios tradicionales como San Bernardo, La Capuchina, La Alameda, San Victorino, Voto Nacional, que poseen gran cantidad de locaciones culturales y de interés social, político y formativo; estos barrios cuentan con sitios de interés como El Planetario Distrital, la Plaza de Toros La Santamaría, la Plaza de los Mártires, con iglesias muy reconocidas como la Capuchina y la Basílica menor del Voto Nacional, entre otros, véase Tabla 5.2.1-90, Figura 5.2.1-50 y Fotografía 5.2.1-19.

Estos barrios se configuraron como barrios burgueses a mediados del siglo XIX, posteriormente en algunos de ellos como en el Voto Nacional, alrededor de la Plaza España se conformó como el sector comercial de la zona.

<p>Basílica menor del Voto Nacional</p>  <p>Instituto Distrital de Turismo</p>	<p>Academia superior de artes</p>  <p>Google Street View</p>
<p>Iglesia de San Diego</p>  <p>Google Street View.</p>	<p>Plaza de los Mártires y Hospital de San José</p>  <p>Google Street View</p>
<p>Plaza de Toros La Santamaría</p>  <p>Google Street View</p>	<p>Planetario Distrital</p>  <p>IDT http://bogotaturismo.gov.co/planetario-de-bogota</p>

Fotografía 5.2.1-19 Referentes sociales, culturales y arquitectónicos de la Zona5

Por otro lado, la medida de participación ciudadana en el lugar fue alta al igual que en la zona 4; sin embargo, la valoración de identidad comunitaria o sentido de pertenencia fue media, esto

podría deberse a las características inseguridad expresadas en la matriz de recomendaciones ciudadanas, véase Tabla 5.2.1-90 y Figura 5.2.1-50.

Tabla 5.2.1-90 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona 5

Unidad del paisaje	Valoración de las unidades	Área en ha	%
Contacto Naturaleza	Bajo	113,87	30,90
	Medio	213,05	57,82
	Alto	41,55	11,28
	Total general	368,47	100,00
Preferencia estética	Bajo	278,98	75,71
	Medio	5,44	1,48
	Alto	84,05	22,81
	Total general	368,47	100,00
Presencia espacios recreativos	Bajo	311,84	84,63
	Medio	20,52	5,57
	Alto	36,11	9,80
	Total general	368,47	100,00
Integración social	Bajo	272,85	74,05
	Alto	95,62	25,95
	Total general	368,47	100,00
Participación ciudadana	Alto	368,47	100,00
	Total general	368,47	100,00
Sentido de pertenencia	Medio	368,47	100,00
	Total general	368,47	100,00

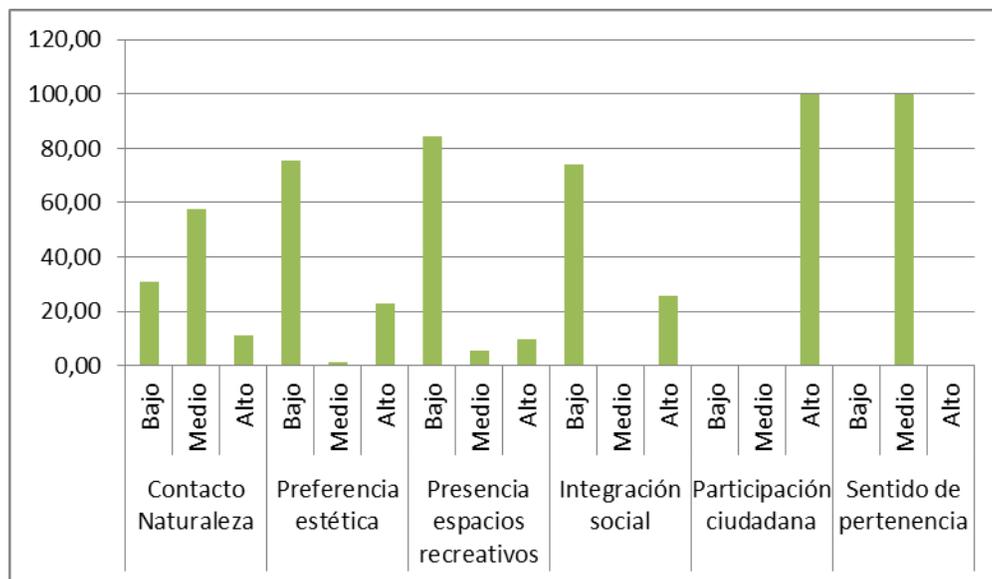


Figura 5.2.1-50 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona 5.

Estimados cada uno de los parámetros o unidades del paisaje se halló la calidad visual para la zona 5, la cual presentó de forma dominante valores bajos, según la matriz de recomendaciones ciudadanas las unidades de paisaje más importantes para esta zona son la preferencia estética, la recreación y la interacción social, véase Tabla 5.2.1-86 y Tabla 5.2.1-91.

Tabla 5.2.1-91 Calidad visual en la Zona 5.

Calidad visual	Área en Ha
Bajo	267,408793
Medio	61,439945
Alto	39,624101
Total general	368,472839

• **Zona 6: Teusaquillo Centro internacional Cl. 28 – Cl. 76**

Esta zona comprende un sector comercial y de servicios además de zonas residenciales; entre la calle 26 y 45 se encuentra parte de la localidad de Teusaquillo que posee barrios de conservación caracterizados por la riqueza de su arquitectura, en esta zona se localizan algunos parques de bolsillo como el parque Armenia, Pony y el Parque Central Bavaria como parte de un proyecto de renovación urbana para la zona de Centro Internacional. Entre la 58 y 76, los parques son espacios utilizados por residentes y transeúntes o empleados de la zona para descansar, con algunos juegos para niños dedicados a la recreación contemplativa y pasiva, además de andenes y separadores con jardineras y arbolado urbano. En la zona 6 el contacto con la naturaleza es valorado primordialmente como medio (en el 64.90% del área estudiada) estos espacios cumplen algunas funciones de gran interés ciudadano, como lo son ornamental de retención de las aguas atmosféricas, contribución a la evapotranspiración, como un filtro contra la contaminación y como regulador del intercambio de aire, calor y humedad con el entorno urbano, véase

Tabla 5.2.1-92, Figura 5.2.1-51 y Fotografía 5.2.1-20.

Parque Bavaria	Parque Pony
	
Google Street View	Google Street View

Fotografía 5.2.1-20 Parques disponibles en la Zona 6

En cuanto al parámetro de preferencia estética, en la zona 6 se hallaron valores principalmente bajos, esto debido a la gran cantidad de edificaciones. No obstante, el 30.07% del área obtuvo valores altos, relacionados con las zonas verdes presentes en el área estudiada y la presencia de recursos de interés cultural inmersos en sectores tradicionales de la ciudad, como Teusaquillo, Quinta Camacho, Chapinero, entre otros, véase Fotografía 5.2.1-21, Figura 5.2.1-51 y

Tabla 5.2.1-92.

Museo Gaitán	Teatro Astor Plaza
	
Google Street View	Google Street View
Museo Casa Lleras	Fundación Teatro Nacional
	

<p>Google Street View</p>	<p>Google Street View</p>
<p>Teatro Libre</p>	<p>Monumento a los Héroes</p>
 <p>Google Street View</p>	 <p>Google Street View</p>
<p>Teatro Vanguardia</p>	<p>Teatro, La casa de la Maldita Vanidad</p>
 <p>Google Street View</p>	 <p>Google Street View</p>

Fotografía 5.2.1-21 Lugares de interés cultural, arquitectónico e histórico en la Zona 6.

En el parámetro de presencia de espacios recreativos dio como resultado valores bajos en el 81.93% del territorio, lo cual hace referencia a la poca disponibilidad de parques en los que los habitantes pueden interactuar con sus familiares y amigos, en este caso se consideran parques metropolitanos, zonales y locales presentes en el área de influencia, véase

Tabla 5.2.1-92.

Por su parte la medida de la interacción social resultó Alta en un 40, 16% teniendo en cuenta la gran cantidad de instituciones educativas, centros espirituales, zonas culturales y en general lugares que permiten las relaciones interpersonales más allá del ámbito familiar, véase Fotografía 5.2.1-22, Figura 5.2.1-51 y

Tabla 5.2.1-92. A finales del siglo XIX se construye la iglesia de Lourdes, un elemento arquitectónico significativo para la zona, al igual que la iglesia de la Porciúncula que es posterior (se construye entre 1918 y 1940), pero que también se configura como un elemento significativo dentro de las creencias religiosas.

<p>Iglesia Santa Teresita</p>  <p>Google Street View</p>	<p>Basílica menor Nuestra Señora de Lourdes</p>  <p>Google Street View</p>
<p>Iglesia La Porciúncula</p>  <p>Google Street View</p>	<p>Colegio Champagnat</p>  <p>Google Street View</p>
<p>Gimnasio Moderno</p>  <p>Google Street View</p>	<p>Universidad Pedagógica</p>  <p>Google Street View</p>

Fotografía 5.2.1-22 Referentes sociales, culturales y educativos de la Zona6.

Finalmente, los resultados de la Matriz de recomendaciones ciudadanas definieron la identidad comunitaria o sentido de pertenencia como medio para toda la Zona 6. Es importante resaltar que la participación de las juntas de acción comunal u organizaciones comunitarias no fue destacada,

en este sector se contó con organizaciones como Corpopatrimonio, la cual ha mencionado como función proteger el patrimonio local, véase

Tabla 5.2.1-92 y Figura 5.2.1-51.

Tabla 5.2.1-92 Resultados de cada una de las unidades del paisaje evaluadas en la Zona

Unidad del paisaje	Valoración de las unidades	Área en ha	%
Contacto Naturaleza	Bajo	185,72	32,33
	Medio	372,84	64,90
	Alto	15,97	2,78
	Total general	574,52	100,00
Preferencia estética	Bajo	395,02	68,76
	Medio	6,77	1,18
	Alto	172,74	30,07
	Total general	574,52	100,00
Presencia espacios recreativos	Bajo	470,69	81,93
	Medio	94,65	16,48
	Alto	9,18	1,60
	Total general	574,52	100,00
Interacción social	Bajo	343,80	59,84
	Alto	230,72	40,16
	Total general	574,52	100,00
Participación ciudadana	Alto	574,52	100,00
	Total general	574,52	100,00
Sentido de pertenencia	Medio	574,52	100,00
	Total general	574,52	100,00

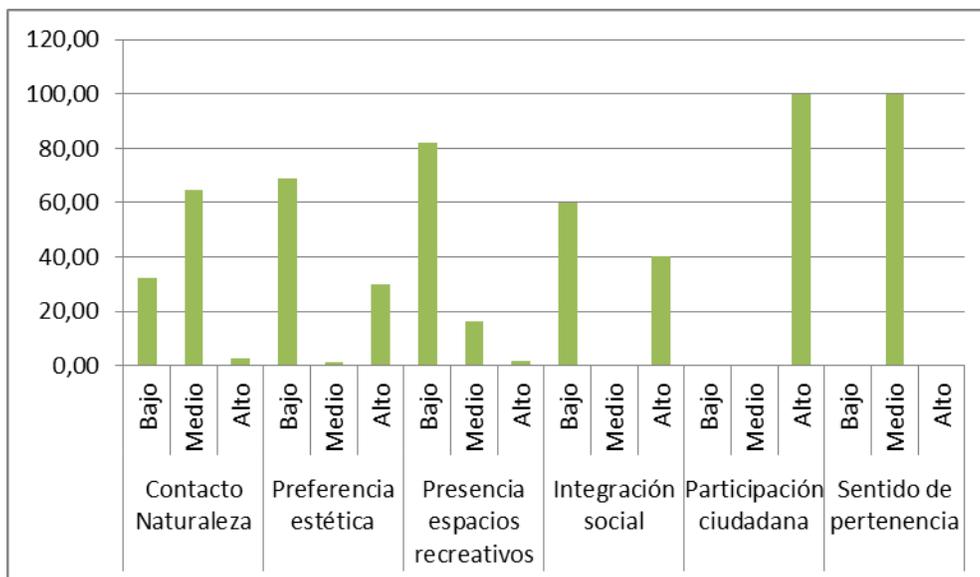


Figura 5.2.1-51 Distribución porcentual de las unidades del paisaje en la Zona 6

Por último, la calificación de la calidad visual en la Zona 6 tuvo en cuenta el valor primordial que le dan los habitantes de la zona al contacto con la naturaleza, la preferencia estética y la interacción social; dando como resultado una valoración baja de la calidad visual el 58,66% del área evaluada, véase Tabla 5.2.1-93.

Tabla 5.2.1-93 Claridad visual Zona 6.

Unidad del paisaje	Valoración de las unidades	Área en Ha
Calidad visual	Bajo	337,04
	Medio	198,40
	Alto	39,09
	Total general	574,52

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

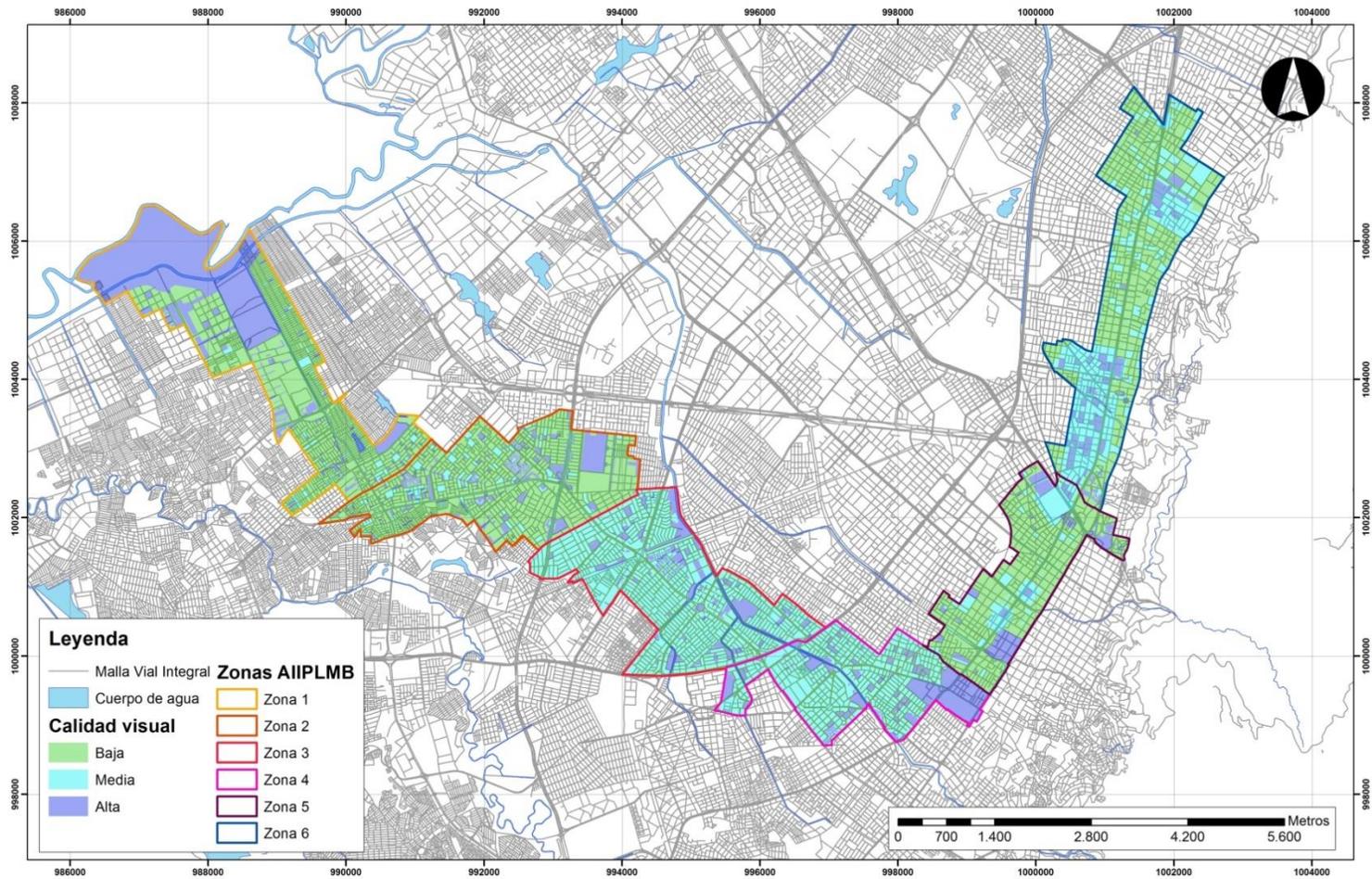


Figura 5.2.1-52 Distribución de la calidad visual para el AIPLMB

5.2.1.12 Componente Hidrosférico

La caracterización hidrológica se realiza en la zona de influencia del componente. Teniendo en cuenta que no existe interferencia entre el trazado del proyecto y los cauces el área de influencia directa e indirecta del componente hidrológico son las mismas.

5.2.1.13 Hidrología

Bogotá cuenta con tres grandes ríos que dividen la ciudad básicamente en tres cuencas de drenaje; Salitre, Fucha y Tunjuelo, cada una de ellas con diferente grado de desarrollo urbano en la actualidad. El trazado del proyecto Metro cruza estas cuencas en ciertos puntos, así como la cuenca artificial del canal Cundinamarca, adicionalmente la localización del Patio-Taller es en cercanías al río Bogotá.

Para la descripción del sistema hídrico se tomó como referencia el estudio realizado por INGETEC para el Acueducto de Bogotá denominado “Consultoría para la actualización del Plan maestro de abastecimiento y la elaboración y formulación del plan maestro de alcantarillado para Bogotá y sus municipios vecinos” en el 2016 y el documento “Diseños para construcción de las obras de control de crecientes en la cuenca del río Tunjuelo” realizado por INGETEC en el año 2002.

A continuación se presenta la identificación de los sistemas lénticos y lóticos del área de influencia, la caracterización en términos de caudales medios de las cuencas donde se localizan los cruces, los caudales máximos para diferentes de retorno para los cuales fueron verificados dichos cauces en el plan maestro referenciado y una caracterización de los niveles en la zona cercana a la localización proyectada del Patio-Taller.

5.2.1.13.1 *Identificación de sistemas lénticos y lóticos*

En el área de influencia directa del proyecto se realizó la identificación de los sistemas lénticos y lóticos que conforman la red hidrográfica que se encuentra en el área de influencia del trazado definida para el estudio.

5.2.1.13.2 *Sistemas lénticos*

No fueron identificados sistemas lénticos dentro del área de influencia del componente hidrológico del proyecto.

5.2.1.13.3 *Sistemas lóticos*

Los sistemas lóticos identificados tienen en cuenta que dentro del área de influencia del proyecto el trazado proyectado para el Metro cruza las cuencas de drenaje de los ríos Fucha, Salitre y Tunjuelo, así como la cuenca artificial del Canal Cundinamarca, adicionalmente se tiene en cuenta la localización del Patio-Taller en cercanías del río Bogotá (ver 5.2.1.11 plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-I-0011_RA). A continuación, se presenta la descripción de dichas cuencas:

Cuenca del río Salitre

La cuenca Salitre se encuentra localizada al norte de la ciudad y está conformada por un sistema de alcantarillado pluvial, sanitario y combinado.

El eje principal de drenaje de la cuenca es el río Salitre, que recoge directamente los caudales producidos en varias sub – cuencas como Arzobispo, río Nuevo, Las Delicias, La Vieja, El Chico, el canal Córdoba, el canal Molinos y el canal Contador, que a su vez recibe las aguas generadas en las sub - cuencas ubicadas al nororiente de la ciudad como Norte callejas.

Como parte del alcance del estudio de la referencia, la cuenca del Salitre se dividió en cinco sub - cuencas pluviales, las cuales son: Suba, La Conejera, Jaboque, Córdoba y Torca, y tres sub - cuencas combinadas, las cuales son: Salitre Alto, Salitre Bajo y Río Negro, que se encuentran localizadas en las localidades de Suba, Usaquén, Engativá, Barrios Unidos y Chapinero.

La cuenca Salitre cuenta con un emisario final que recibe las aguas aliviadas de la zona combinada y sanitaria (Canal de aguas negras del río Salitre) que una vez capturadas son descargadas a la planta de tratamiento, que entrega sus caudales tratados al río Bogotá.

Cuenca del río Fucha

La cuenca pluvial del Fucha está conformada por el sistema pluvial de las subcuencas de Fucha, San Francisco y Fontibón.

La subcuenca del Fucha corresponde al área de drenaje cubierta por el canal Fucha, el cual es alimentado por los Canales Albina, Río Seco y Comuneros, además del colector Zona Industrial y el Cooperativa de Suboficiales.

La subcuenca de San Francisco corresponde al área de drenaje cubierta por el Canal San Francisco, el cual es alimentado por el canal Boyacá y los colectores Av. Constitución, Ciudad Salitre y La Esmeralda.

La subcuenca de Fontibón drena el sector central al canal Cundinamarca y el sector occidental a los pondajes de Navarra y la Rivera, los cuales descargan directamente al río Bogotá, Está compuesta en su zona central por el Colector y Canal central de Fontibón o San Francisco, el canal oriental de Fontibón, además de los colectores Av. la Esperanza, Av. FCCC. La parte occidental de la subcuenca drenada por los colectores Fontibón occidental, El charco, Centenario I y II, Atahualpa, Flandes, Occidente y Occidente II.

La cuenca del Fucha incluye el sistema combinado en las subcuencas de calle 22, San Agustín, Ejido, Fucha Alto, Albina y una parte de Río Negro. Desde la carrera 50 hacia el occidente, sobre la Avenida sexta, pasando a la avenida NQS hacia el sur, el sistema se comporta separado

Cuenca del río Tunjuelo

La cuenca del río Tunjuelo es un afluente del río Bogotá, está localizada al sur de la ciudad. La cuenca drena un área total de 388,13 km²; su punto más alto ubicado en el extremo sur, tiene una elevación de 3 850 msnm y su confluencia con el río Bogotá está aproximadamente a la cota 2 536 msnm.

La cuenca del río Tunjuelo, está dividida en la cuenca alta, hasta el sitio de presa de Cantarrana, situado a una elevación de 2 625 m.s.n.m.; y la cuenca baja, entre el sitio de presa de Cantarrana y el río Bogotá.

La cuenca alta, con una extensión de 254 km², está compuesta a su vez, por las subcuencas de los ríos Chisacá y Curubital, que confluyen para formar el río Tunjuelo propiamente dicho, a los

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

3 000 m.s.n.m., en el sitio de La Regadera, y la subcuenca del río Tunjuelo entre La Regadera y el sitio de presa de Cantarrana.

La cuenca baja está conformada por las subcuencas de ocho quebradas principales, afluentes en ambas márgenes del río y varias subcuencas de drenaje local que tributan al río sin tener un cauce definido. Las quebradas principales aguas abajo del sitio de presa de Cantarrana son: por la margen derecha, las quebradas Yomasa, Santa Librada, Chiguaza y La Fiscala; y por la margen izquierda, las quebradas Botello, Trompeta, Estrella y Limas.

En la cuenca alta existen los embalses de regulación de Chisacá y de La Regadera, aguas abajo de la confluencia de los ríos Curubital y Chisacá; el volumen total conjunto de estos embalses, de 10,54 hm³, permite obtener un caudal regulado de cerca de 1,0 m³/s, aprovechado para el abastecimiento de agua en las plantas de potabilización de La Laguna y Vitelma.

A continuación, en la Figura 5.2.1-53 se presenta la división de Bogotá por sub cuencas de alcantarillado pluvial, donde se incluyen las cuencas descritas previamente:

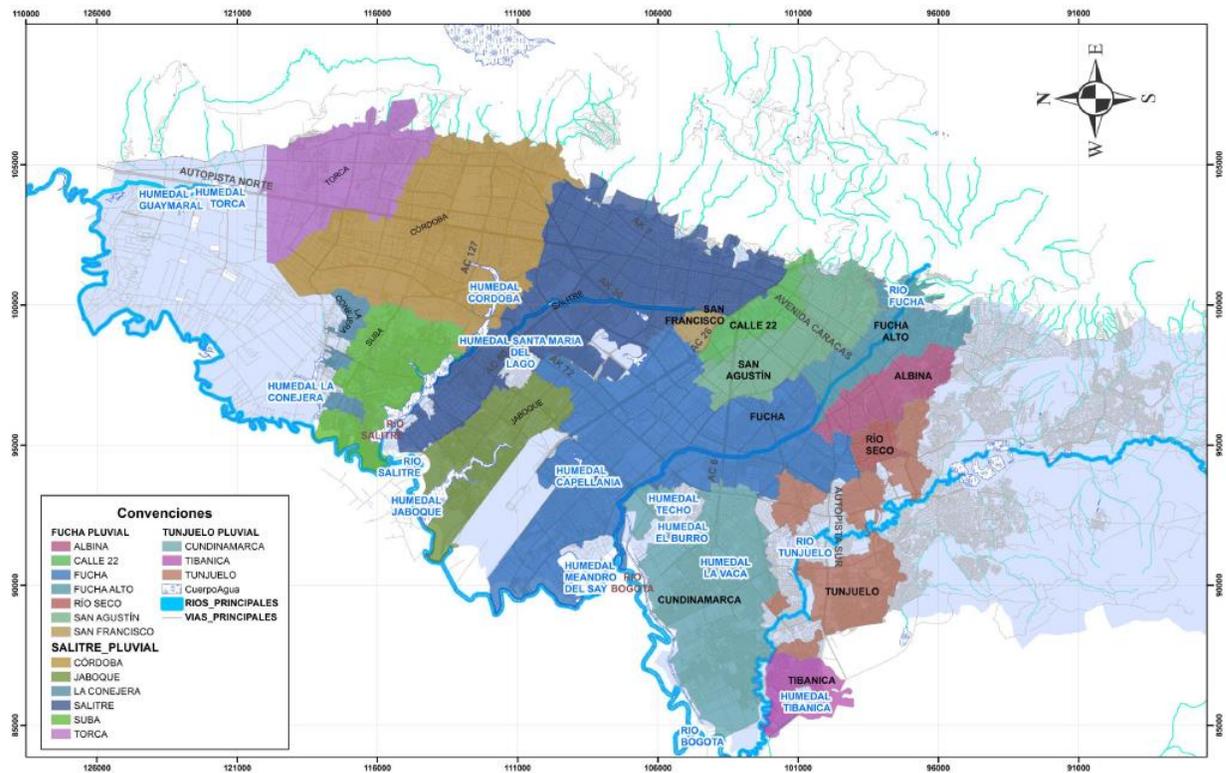


Figura 5.2.1-53 División del Bogotá por sub - cuencas de alcantarillado pluvial

Fuente: Estudio Plan maestro Bogotá, 2016.

Cuenca Canal Cundinamarca

Es una subcuenca artificial que se localiza entre el drenaje hídrico natural de los ríos Tunjuelo y Fucha, está conformada por una serie de canales que drenan al canal Cundinamarca, de los principales se encuentra el Canal Tintal. Esta subcuenca se encuentra localizada por debajo del río Bogotá y sus aguas son entregadas a este cauce mediante bombeo. El área de drenaje de esta sub cuenca es de aproximadamente 34,06 km².

Cuenca río Bogotá

El río Bogotá nace en el municipio de Villapinzón, sobre los 3300 msnm y se ubica en la parte central del departamento de Cundinamarca, tiene un área tributaria total hasta su desembocadura en el río Magdalena de 5.476 km², sobre la cota 280 m.s.n.m. y una longitud de 336 km, en total se localizan en su cuenca 46 municipios.

En la trayectoria del río pueden distinguirse tres tramos: La cuenca alta, desde su nacimiento hasta el norte de la zona urbana del Distrito Capital, la cuenca media comprendida desde la zona urbana de Bogotá, hasta el Salto de Tequendama y la cuenca baja, desde el Salto de Tequendama hasta su desembocadura en el río Magdalena. El sistema hídrico está compuesto por quebradas, ríos, lagunas y humedales y un sistema de regulación para abastecimiento y generación eléctrica, compuesto por nueve embalses y adicionalmente un distrito de riego.

En la cuenca alta, se observan los humedales pertenecientes a la laguna del Valle, el Pozo de La Nutria, el Pozo del Oso y los nacederos aledaños a la laguna El Valle. Luego de pasar por el municipio de Chocontá, se encuentra el embalse del Sisga, alimentado por el río de su mismo nombre y pasando la población de Sesquilé, el de Tominé, alimentado por los ríos Siecha y Aves, que sirven básicamente para la regulación de los caudales del río. Siguiendo su recorrido, recibe las descargas reguladas de los ríos Neusa (embalse del Neusa) y Teusacá (embalse de san Rafael), pero antes de este último se encuentra la bocatoma derivadora de las aguas a la planta de tratamiento de Tibitoc. A través de la cuenca del río Teusacá, también recibe las aguas trasvasadas de los ríos Chuza, Guatiquía y Blanco, que pertenecen a la cuenca del río Orinoco y forman parte del sistema de abastecimiento de aguas de la ciudad. Aguas abajo de la planta de Tibitoc y de la confluencia de los ríos Teusacá, Frío y Chicú, en Vuelta Grande, las aguas del Río Bogotá son tomadas para el Distrito de Riego de la Ramada. Luego, aguas abajo de esta última captación, empiezan a ingresar al río las aguas servidas de Bogotá.

El río Bogotá en su parte media, presenta un cauce meándrico, como corresponde a un río de planicie aluvial y transcurre la ciudad desde el Puente del Común hasta Alicachín, siendo el último tramo del río sobre la sabana. Luego de recibir los caudales disminuidos de los ríos Chicú y Frío, pero antes del río Juan Amarillo, se localiza la estación de Bombeo de aguas del distrito de riego de La Ramada. En seguida, entran las descargas de la ciudad principalmente por los ríos Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo.

En su cuenca baja, al salir de la sabana de Bogotá se encuentra el embalse regulador del Muña, el cual tiene un uso específicamente hidroeléctrico, donde se encuentran aguas abajo de Alicachín las centrales de Darío Valencia, Laguneta, Salto I y II y Canoas en primera instancia y Paraíso y La Guaca. Finalmente recibe las aguas de los ríos Calandaima y Apulo y en el municipio de Girardot vierte sus aguas al río Magdalena.

Teniendo en cuenta el trazado definido para el proyecto se realizó la revisión de los cruces con estructuras que hacen parte del sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá (pluvial en los sectores en que se encuentra separados y combinados en las zonas de la ciudad donde no están separados los sistemas) que se localizan dentro de las cuencas ya descritas previamente.

Además se realizó la clasificación de los cuerpos de agua entre intermitentes o permanentes. Las cuencas de drenaje de los cuerpos permanentes tienen aportes de cuencas rurales y de cuencas urbanas, mientras que las cuencas intermitentes solo reciben aportes urbanos. Es importante resaltar además que eventualmente los cuerpos de agua pueden secarse, sin embargo solo los cauces de la quebrada La Vieja y del Canal Arzobispo se encuentran instrumentadas con estaciones que permiten conocer el comportamiento de sus caudales.

A continuación en la Tabla 5.2.1-94 se presentan el listado de las estructuras y el tipo de drenaje:

Tabla 5.2.1-94 Estructuras del sistema de alcantarillado que se cruzan con el trazado del proyecto

No	Nombre de la red	Localización	Tipo de drenaje
1	Canal Cundinamarca	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) con KR 100	Permanente
2	Canal Tintal II	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) desde Av. Ciudad de Cali (AK 86) hasta KR 100	Intermitente
3	Canal Río Seco	Av. Primera de Mayo con KR 51	Permanente
4	Canal Albina	Av. Primera de Mayo con KR 39	Permanente
5	Canal Río Fucha	CL 12A S desde Av. Jorge Gaitán Cortés (KR 30) hasta Av. Ciudad de Quito (NQS)	Permanente
6	Canal Arzobispo	Av. Caracas con DG 40A Bis	Permanente
7	Colector Pastrana Tramo 1	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) desde Av. Primera de Mayo hasta KR 80D	Intermitente
8	Colector Pastrana Tramo 2	Av. Primera de Mayo desde CL 38B S hasta Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S)	Intermitente
9	Interceptor Qda. Las Lajas	Av. de la Hortua (CL 1) desde KR 13A hasta KR 18	Permanente
10	Colector Calle 3	Av. Caracas con CL 3	Permanente
11	Interceptor Comuneros	Av. Caracas con Av. Los Comuneros (CL 6)	Permanente
12	Colector Calle 22	Av. Caracas con CL 22	Permanente
13	Colector Galerías	Av. Caracas con CL 55	Permanente
14	Colector Sears	Av. Caracas con CL 59	Permanente
15	Colector Las Delicias	Av. Caracas con CL 61A	Permanente
16	Interceptor La Vieja	Av. Caracas con CL 69	Permanente

5.2.1.13.4 Caracterización hidrológica

La caracterización hidrológica en términos de caudales medios se realizó teniendo en cuenta los registros de las estaciones de la Empresa de Acueducto de Bogotá, para caracterizar los caudales máximos se tomó referencia el estudio de PMAA desarrollado por INGETEC en el año 2016, de allí se extrajeron los caudales máximos resultantes del modelo computacional SewerGEMS para los periodos de retorno analizados en el estudio de la referencia

5.2.1.13.5 Caudales medios

Para estimar los caudales medios en los cauces que cruzan con el trazado del proyecto se debe elaborar un modelo lluvia escorrentía que contemple la conectividad de todo el sistema de aguas lluvias de la ciudad que se encuentra en tuberías, así como los tiempos de amortiguación de las

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

mismas, considerando que no es el alcance de la presente línea base y que no existe intervención de ningún cuerpo de agua con el trazado propuesto se presenta la caracterización en términos de caudales medios de las cuencas que son instrumentadas.

Caudales medios en las cuencas

En la zona de estudio solo se encuentran instrumentadas las cuencas del río Arzobispo y de la quebrada La Vieja, sobre sus cauces el Acueducto de Bogotá tiene instaladas dos estaciones limnigráficas, su localización y características se presentan a continuación en la Tabla 5.2.1-95 y en la Figura 5.2.1-54.

Tabla 5.2.1-95 Características de estaciones

NOMBRE	TIPO ESTACIÓN	CÓDIGO	PERIODO DE REGISTRO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN (msnm)
Parque Nacional	Limnigráfica	2120951	1991-2013	4°37'	74°03'	2730
Ventana Captación	Limnigráfica	2120949	1991-2013	4°39'	74°03'	2850

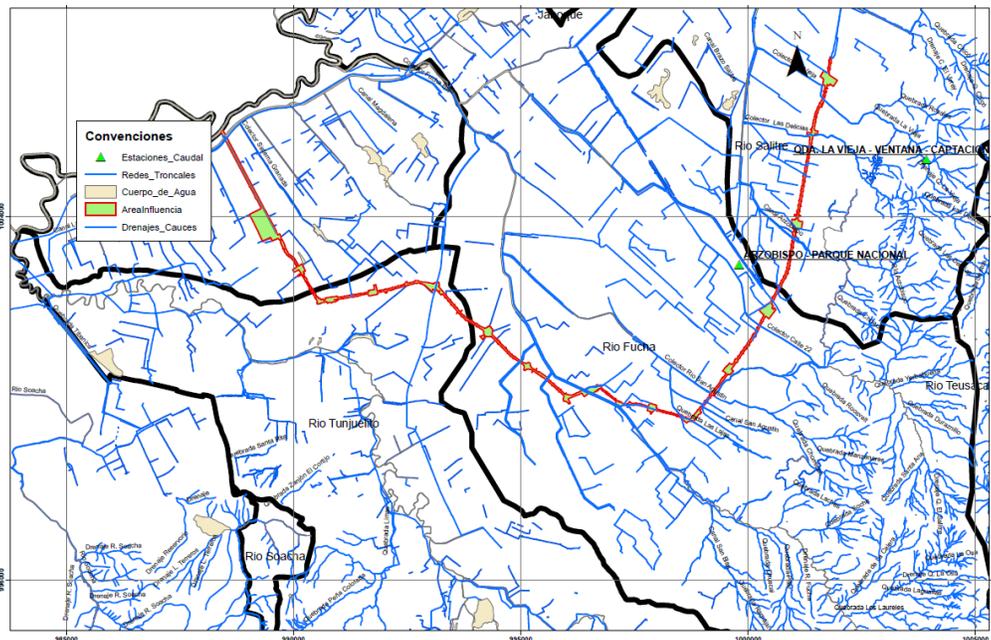


Figura 5.2.1-54 Localización estaciones hidrométricas

Para validar la consistencia de la información de las estaciones se realizó un análisis de doble masa el cual consiste en comparar de manera gráfica los registros acumulados de precipitación de la estación de interés, con los registros acumulados de precipitación en una estación de referencia, las desviaciones en la tendencia de la curva indican inconsistencias y los desfases indican errores sistemáticos.

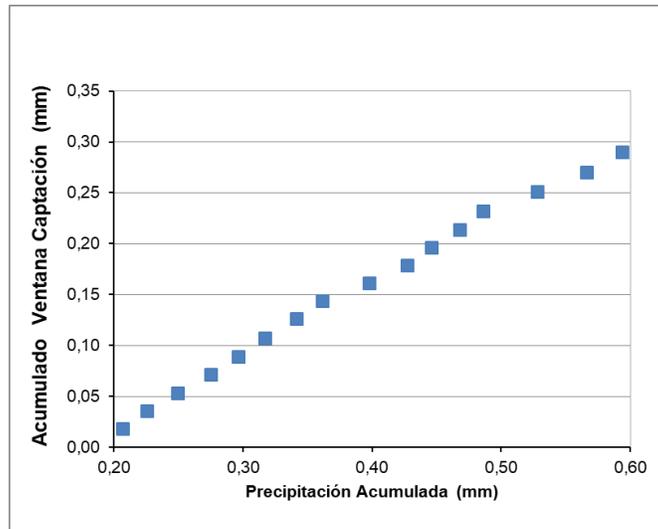


Figura 5.2.1-55 Curva de doble masa caudal medio. Estación Ventana Captación y caudal medio Acumulada Promedio (Período 1991 – 2013)

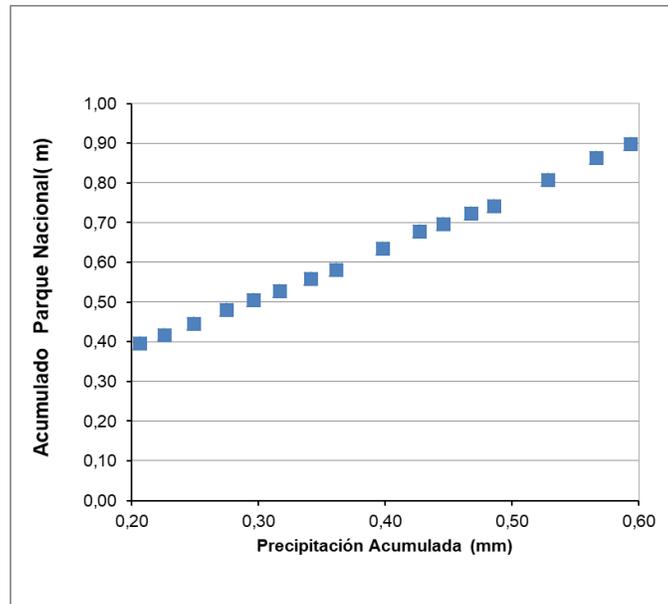


Figura 5.2.1-56 Curva de doble masa caudal medio. Estación Parque Nacional y caudal medio Acumulada Promedio (Período 1991 – 2013)

Fueron recopilados los registros de caudales medios diarios de las estaciones mencionadas y con ellos se elaboró la distribución temporal. Los resultados se presentan a continuación:

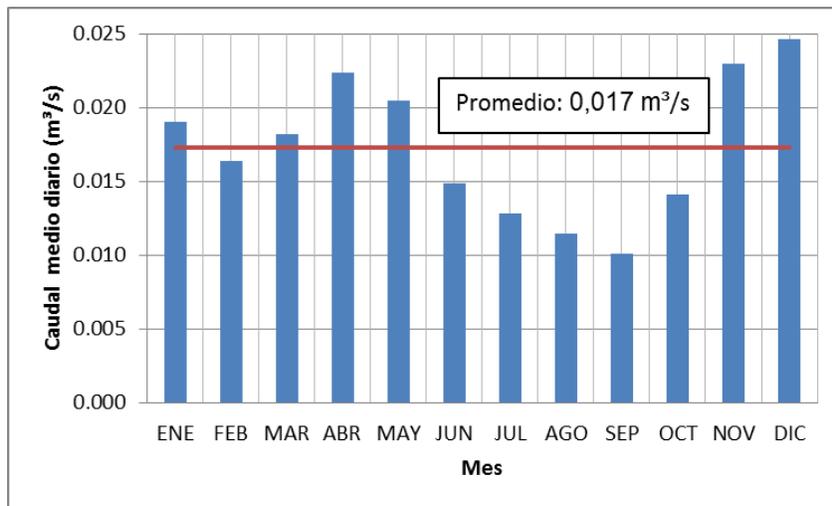


Figura 5.2.1-57 Distribución temporal de caudales medios diarios de la estación limnigráfica Ventana-Captación 1991-2013

Como se presentó en la Figura 5.2.1-57 el régimen de caudales es monomodal, cuenta con un periodo húmedo y uno seco. El periodo húmedo se presentó en los meses de noviembre a mayo, y junio a octubre fue un período seco. El promedio multianual para esta variable es 0,017 m³/s.

El mayor valor registrado de esta estación fue 0,025 m³/s, en el mes de diciembre y el más bajo registro se presenta en el mes de septiembre, con un valor de 0,010 m³/s.

También se realizó la distribución temporal de la estación Parque Nacional. El promedio multianual de la distribución temporal de caudal es 0,054 m³/s, su régimen es bimodal, pues presenta dos periodos secos en los meses de enero-marzo y agosto-octubre. Los periodos húmedos se presentan en los meses de abril-julio y noviembre-diciembre.

El mayor valor registrado de esta estación fue 0,085 m³/s en el mes de junio y el registro más bajo se presenta en el mes de septiembre, de la misma manera que la estación Ventana-Captación, con un valor de 0,015 m³/s.

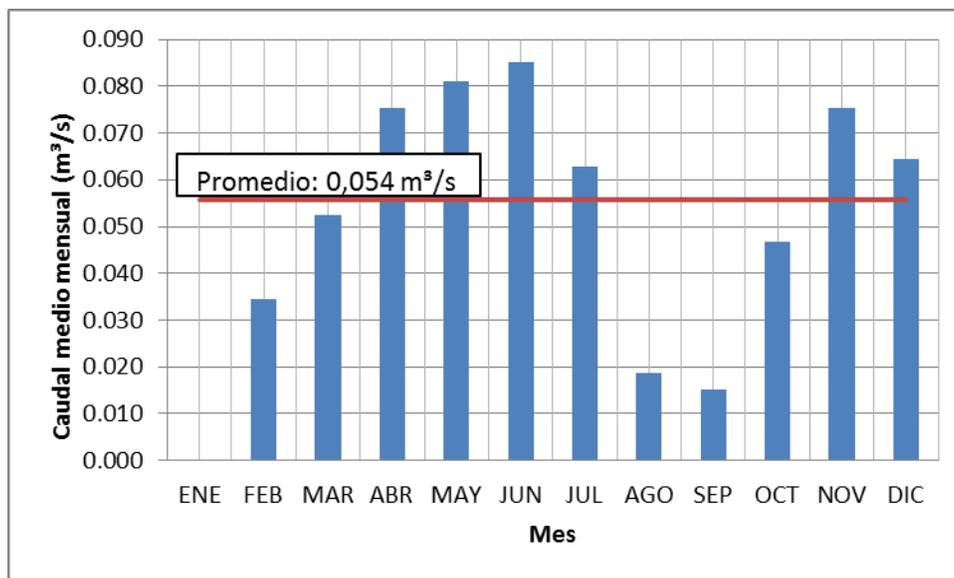


Figura 5.2.1-58 Distribución temporal de caudales medios diarios de la estación limnigráfica Parque Nacional 1991-2013

5.2.1.13.6 Curva de duración de caudales

Con el fin de determinar los caudales característicos de las estaciones base, se elaboró la curva de duración de caudales a nivel diario. En la Tabla 5.2.1-96 se presenta el resumen de los caudales característicos clasificados de acuerdo con la metodología del Índice de Alteración Hidrológica (IHA), desarrollado por *The Nature Conservancy* en el año 2009. Desde la Figura 5.2.1-59 hasta la Figura 5.2.1-60 se presenta la curva de duración de caudales para las estaciones base.

Tabla 5.2.1-96 Caudales característicos (m³/s) estaciones base.

Clasificación	% Probabilidad de Frecuencia de Excedencia	Estación Parque Nacional	Estación Ventana-Captación
		(m³/s)	(m³/s)
Extremos Altos	0	3,87	0,18
	5	0,15	0,05
Altos	5	0,15	0,05
	10	0,09	0,03
Estacionales	10	0,09	0,03
	75	0,01	0,01
Bajos	75	0,01	0,01
	95	0,01	0,01
Extremos Bajos	95	0,01	0,01

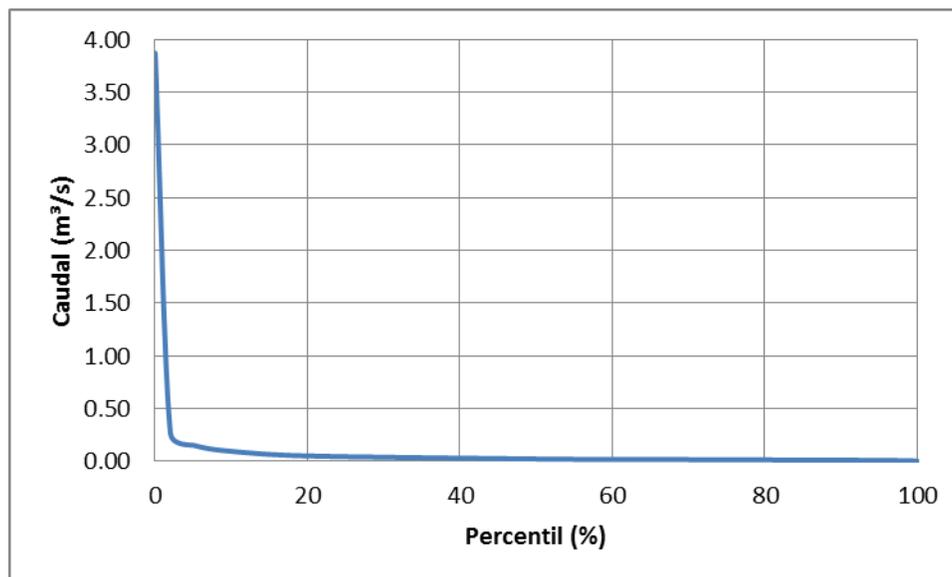


Figura 5.2.1-59 Curva de Duración de Caudales estación Parque Nacional

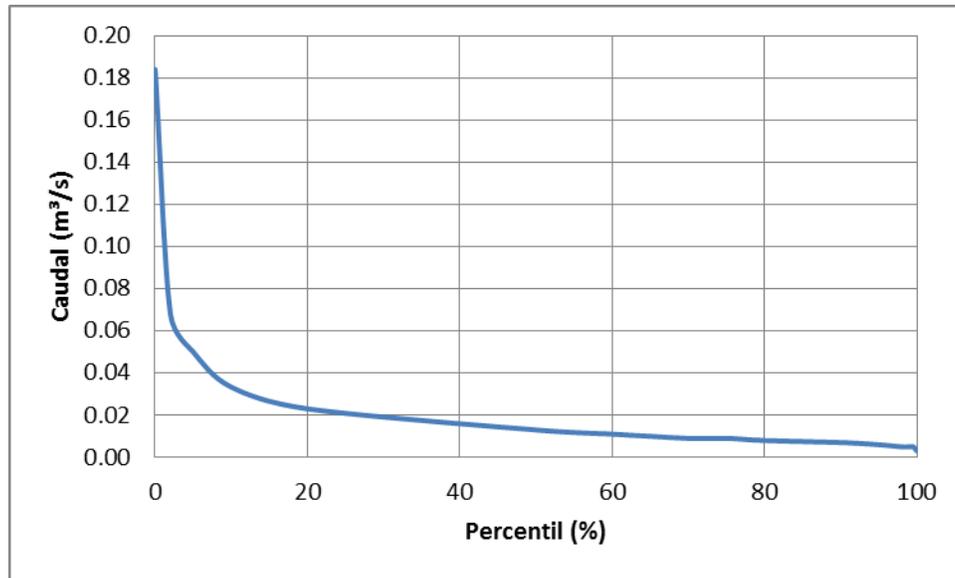


Figura 5.2.1-60 Curva de Duración de Caudales estación Ventana Captación

Puede observarse que los valores de caudales clasificados como extremos altos varían entre 3,87 m³/s a 0,18 m³/s en las estaciones Arzobispo y Ventana – Captación respectivamente. Los valores de extremos bajos corresponden a 0,01 m³/s en las dos estaciones.

5.2.1.13.7 Caudales máximos

Aunque no es el alcance del presente estudio determinar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se realizó la revisión de los criterios de diagnóstico establecidos e implementados en el PMAA (para un mayor detalle de los criterios establecidos véase informe PMAB-DI-263 del PMAB 2014) en los diferentes tipos de estructuras, tal como se presenta a continuación:

Criterios de evaluación para los conductos por los que transitan aguas pluviales o combinadas

En conductos que transitan aguas lluvias o aguas combinadas (aquellas con una dilución superior a 1/4), las relaciones de llenado superiores a 0,85 o a 0,90 –según se trate de conductos de sección circular o rectangular respectivamente- no se consideran necesariamente indicativas de la necesidad de rehabilitación, e incluso se considera que la presurización de los conductos puede ser admisible mientras las láminas de agua no lleguen a niveles demasiado altos que puedan generar problemas de reboso o bien de filtraciones importantes hacia infraestructura con niveles bajos (INGETEC S.A, 2016).

Para aplicar el criterio correspondiente a la diferencia de nivel entre la rasante y la lámina de agua, es necesario involucrar el parámetro de recubrimiento del conducto (diferencia entre la rasante y la cota clave del conducto) en el proceso de decisión, por lo que se definen dos casos:

- Conductos cuya cota clave está localizada a menos de 2,4 m de la rasante

En estos conductos se consideró conveniente utilizar el criterio de relación de llenado, de manera que se disponga de un margen de seguridad para alejarse de la condición de flujo presurizado, la cual implicaría el riesgo de infiltraciones hacia sótanos.

El margen de seguridad se considera conveniente teniendo en cuenta que al llegar la lámina de agua a ponerse en contacto con la clave del conducto pueden presentarse fluctuaciones de nivel debido a que el flujo puede oscilar entre la condición libre y la condición de presurización; dichas fluctuaciones de nivel podrían llevar a que la separación mínima deseable de 2,4 m con respecto a la rasante pudiera sobrepasarse.

- Conductos cuya cota clave está localizada a más de 2,4 m de la rasante

En estos conductos se consideró directamente el criterio de separación mínima de 2,4 m entre la rasante y la lámina de agua en los pozos.

Criterios de evaluación para canales

Para el desarrollo del PMAB se acordó realizar la evaluación de capacidad de los canales que componen la red con el criterio del borde libre, para lo cual se determinó la distancia entre la lámina de agua y la cota rasante en cada sección de los canales para diferentes periodos de retorno.

Teniendo en consideración el criterio de evaluación, en el PMAB se estableció que los tramos a rehabilitar debían ser aquellos que rebosan caudales para eventos de lluvia con periodo de retorno de 25 años.

De manera complementaria, se evaluó también para cada escenario, la profundidad del agua en los canales con el fin de determinar si la lámina de agua se encontraba en la zona revestida del canal o en la sección superior de canal natural.

De lo anterior se realizó la revisión de las estructuras que se cruzan con el trazado y se presenta el resultado, considerando los parámetros descritos, así como el escenario de diagnóstico que contempla los eventos de crecientes. Los resultados se presentan en la Tabla 5.2.1-97.

Tabla 5.2.1-97 Verificación de criterios de diagnóstico estructuras

No	Nombre de la red	Localización	Sistema	Sección	Diagnóstico PMAA	Lámina	Escenario de diagnóstico	Verificación
1	Canal Cundinamarca	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) con KR 100	Pluvial	Canal	BL 4 m - 6 m	En revestimiento	Evento de lluvia con periodo de retorno de 25 años	Cumple
2	Canal Tintal II	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) desde Av. Ciudad de Cali (AK 86) hasta KR 100	Pluvial	Canal	BL 2 m - 4 m	En revestimiento		
3	Canal Río Seco	Av. Primera de Mayo con KR 51	Pluvial	Canal	BL 2 m - 4 m	En revestimiento		
4	Canal Albina	Av. Primera de Mayo con KR 39	Pluvial	Canal	BL 0,2 m - 2 m	En revestimiento		
5	Canal Río Fucha	CL 12A S desde Av. Jorge Gaitán Cortés (KR 30) hasta Av. Ciudad de Quito (NQS)	Pluvial	Canal	BL 4 m - 6 m	En natural		
6	Canal Arzobispo	Av. Caracas con DG 40A Bis	Pluvial	Canal / Box Culvert	BL 2 m - 3 m / < 50%	En revestimiento		

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

No	Nombre de la red	Localización	Sistema	Sección	Diagnóstico PMAA	Lámina	Escenario de diagnóstico	Verificación
7	Colector Pastrana Tramo 1	Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S) desde Av. Primera de Mayo hasta KR 80D	Pluvial	Tubería	Y/D < 75 %	N.A.	Evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años más el caudal máximo horario sanitario proyectado a 2020.	Cumple
8	Colector Pastrana Tramo 2	Av. Primera de Mayo desde CL 38B S hasta Av. Ciudad Villavicencio (AC 43 S)	Pluvial	Tubería	Y/D < 50 %	N.A.		
9	Interceptor Qda. Las Lajas	Av. de la Hortua (CL 1) desde KR 13A hasta KR 18	Combinado	Tubería	Y/D < 74%	N.A.		
10	Colector Calle 3	Av. Caracas con CL 3	Combinado	Tubería	Y/D < 70%	N.A.		
11	Interceptor Comuneros	Av. Caracas con Av. Los Comuneros (CL 6)	Combinado	Tubería	Y/D < 50%	N.A.		
12	Colector Calle 22	Av. Caracas con CL 22	Combinado	Tubería	Y/D < 85%	N.A.		
13	Colector Galerías	Av. Caracas con CL 55	Combinado	Tubería	Y/D > 85 %	N.A.		
14	Colector Sears	Av. Caracas con CL 59	Combinado	Tubería	Y/D > 90 %	N.A.		
15	Colector Las Delicias	Av. Caracas con CL 61A	Combinado	Tubería	Diseños de Detalle			
16	Interceptor La Vieja	Av. Caracas con CL 69	Combinado	Tubería	Diseños de Detalle			

Además, como se mencionó anteriormente se consultó el software SewerGEMS V8i, de la casa Bentley, el cual permite simular el flujo en régimen no estacionario y condición de flujo gradualmente variado, por lo que permite analizar su comportamiento de manera más detallada que los métodos que utilizan los conceptos de flujo uniforme.

Los caudales para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años estimados para las estructuras que se cruzan con el trazado se presentan a continuación según los periodos verificados en el estudio de la referencia:

Tabla 5.2.1-98 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno estructuras de canal

ID	Canal	Tr10	Tr25	Tr100
ALB_K3+497,67	Albina	43.85	50.44	56,94
RIOSE_K2+739,30	rio Seco	20.05	23.5	27,32
FU_K3+414,70	Fucha	91.63	122.39	147,99
FU_K3+414,70	Fucha	87.47	118.23	144,09
TIN_K0+935,26	Tintal-II	12.27	14.06	21,84

Tabla 5.2.1-99 Caudales máximos para periodos de retorno 10 años Colectores

ID	Colector	Tr10
PLT824551	Colector Pastrana Tramo 1	7.07
PLT8304	Colector Pastrana Tramo 2	1.21
CLT9555	Colector Transv 19	10.95
CLT11076	Colector Lajas	1.89
CLT11113	Colector Calle 3	12.81
CLO20050	Colector Calle 6	27.36
CLT95182	Colector Calle 22	26.42

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

ID	Colector	Tr10
CLT81121	Colector Galerías	2.03
CLT163645	Colector Sears	1.39

Además se presentan a continuación las curvas IDF de las estaciones: Inem Kennedy, Universidad Nacional y Venado Oro Vivero que se encuentran ubicadas a lo largo del trazado y permitirán conocer las intensidades en diferentes zonas del proyecto.

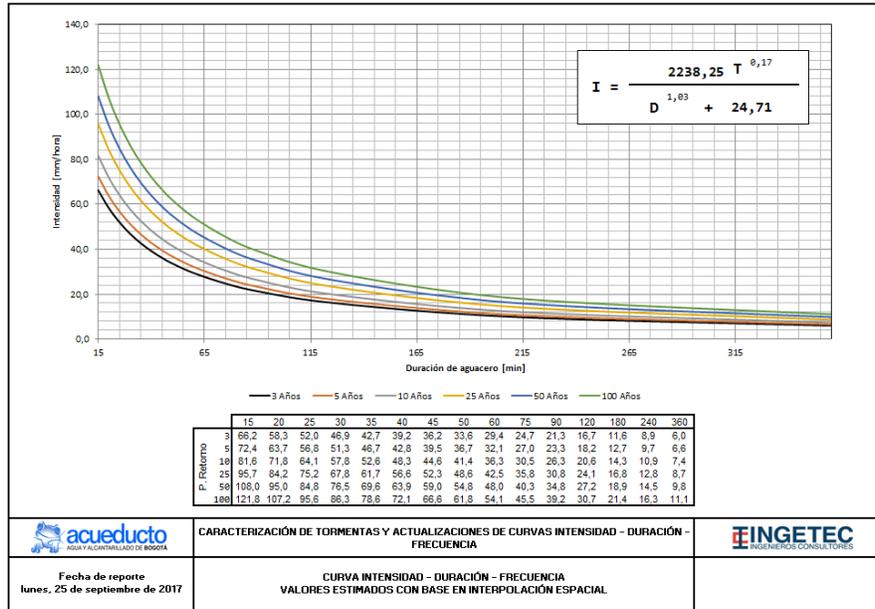


Figura 5.2.1-61 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Inem Kennedy

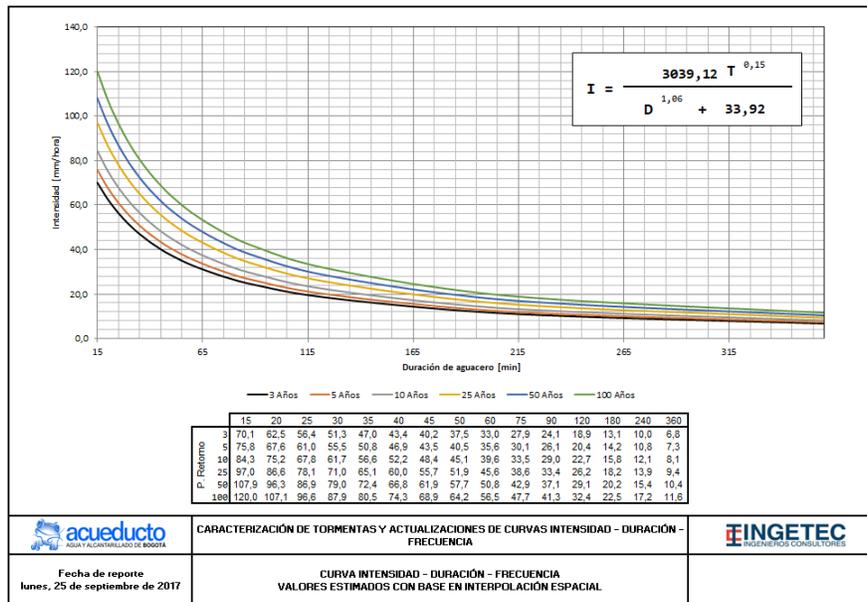


Figura 5.2.1-62 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Universidad Nacional

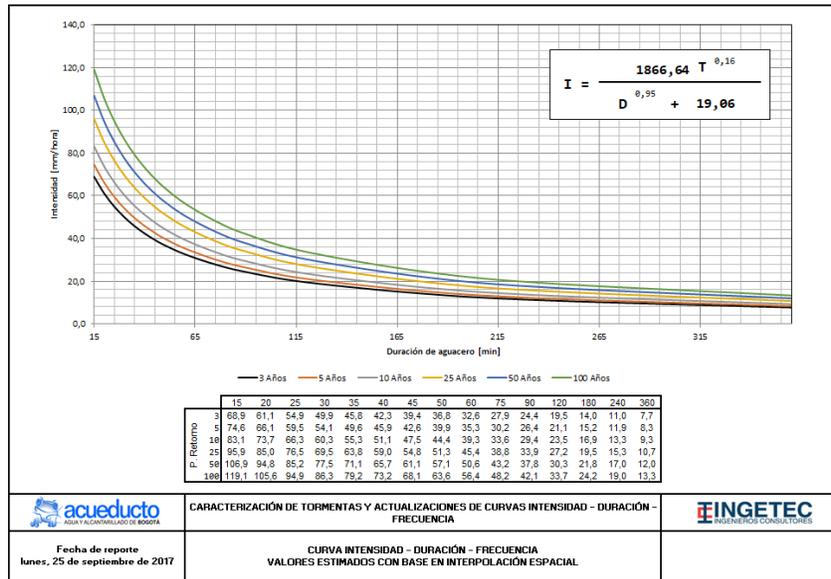


Figura 5.2.1-63 Curva Intensidad – Duración- Frecuencia. Estación Venado de Oro Vivero

5.2.1.13.8 Caudales mínimos

Los caudales mínimos que podrán registrarse en los cauces están asociados a los valores de precipitación que se registren, tanto en la cuenca alta como en la baja. Por lo anterior los caudales mínimos pueden ser cero.

Niveles río Bogotá

Como se mencionó previamente la localización del Patio-Taller del proyecto se tiene prevista en cercanías del río Bogotá. Cerca de su posible ubicación se localiza la estación de niveles Gibraltar, la cual es operada por la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAB). La localización de la estación se presenta a continuación:

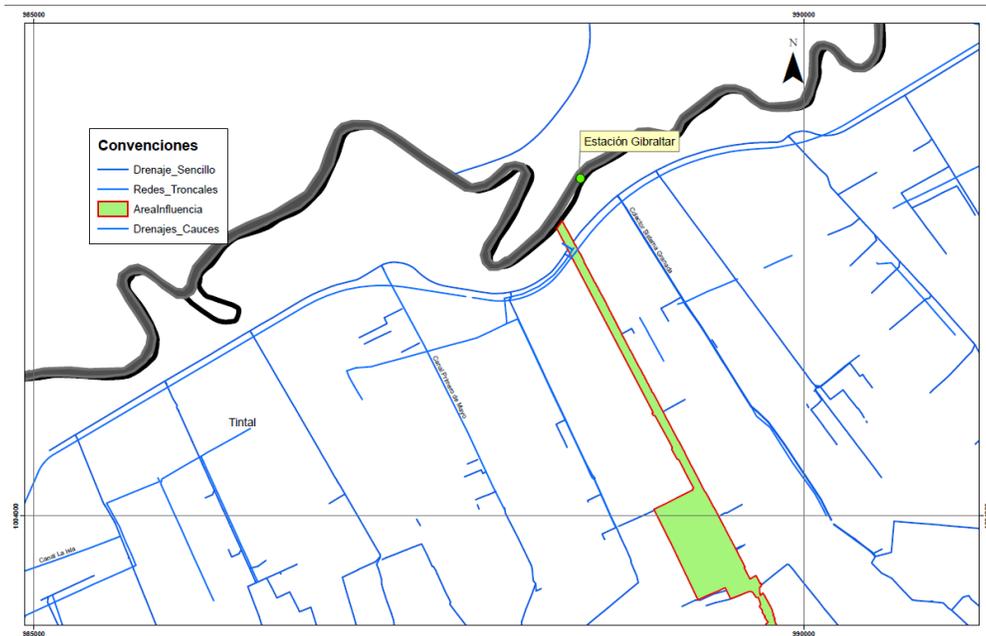


Figura 5.2.1-64 Localización estación Gibraltar Kennedy.

Fuente: www.acueducto.com.co

Luego de recopilar los registros de niveles medios diarios se realizó la caracterización de los registros del periodo 2008 -2015.

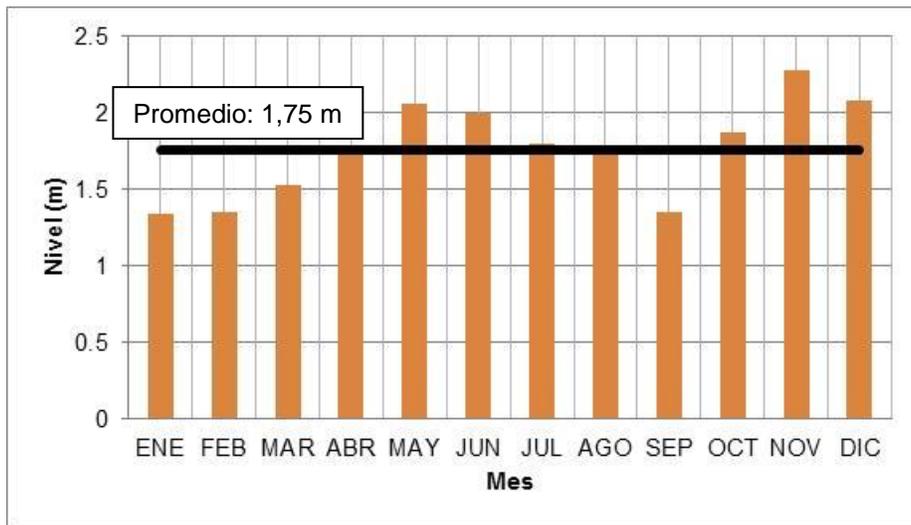


Figura 5.2.1-65 Distribución temporal de niveles medios mensuales de la estación telemétrica Gibraltar 2008-2015

A partir del promedio multianual de los niveles diarios (1,75m), se puede observar que hay dos períodos (mayo-julio) y (octubre-diciembre) que están por encima del promedio. Adicionalmente hay otros dos periodos que no superan la barrera del promedio multianual (enero-abril) y (agosto-

septiembre), por lo anterior el comportamiento de este parámetro es de régimen bimodal. El mes con mayor valor registrado por esta estación es en el mes de noviembre, con un valor de 2,27 m. El mes más bajo de esta estación es 1,33 m en enero.

El registro histórico con mayor valor de nivel se presentó en el año 2011 con un valor de 4.35 m, según la sección batimétrica presentada por el Acueducto de Bogotá en su página web www.acueducto.com.co donde el cero de la mira corresponde a 2538,31 m.s.n.m., ante el registro del máximo nivel histórico el nivel agua alcanzó un valor de 2542,31, lo cual es un valor menor a las cotas de los jarillones de protección del río por sus dos márgenes (ver Figura 5.2.1-66).

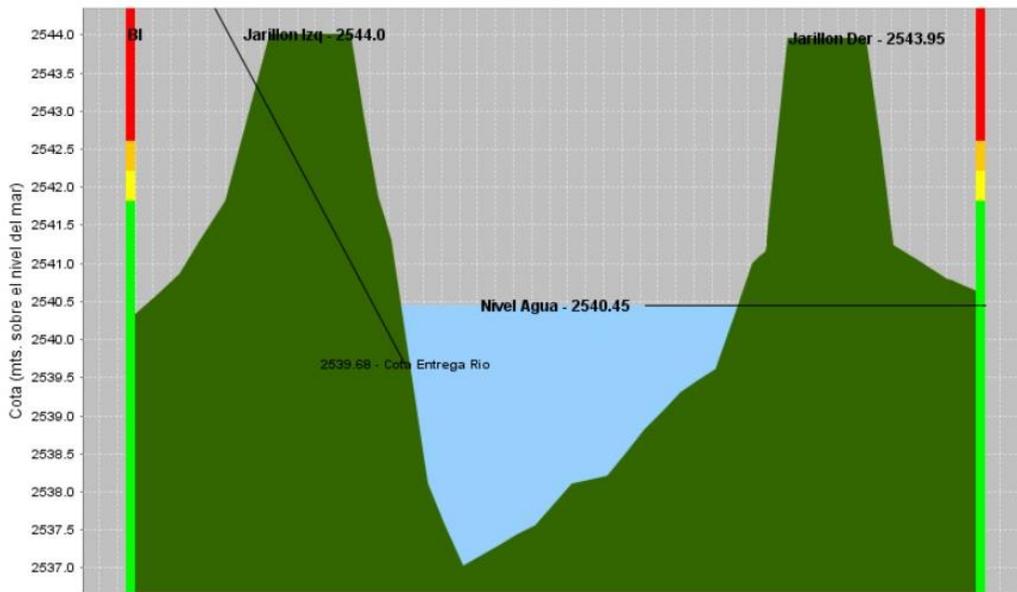


Figura 5.2.1-66 Sección batimétrica estación Gibraltar

Fuente: www.acueducto.com.co

Se realizó la curva de duración de niveles diarios de la estación Gibraltar para el periodo 2008 - 2015. De allí pudo identificarse que el nivel máximo registrado corresponde a 4,35 m el nivel que es excedido el 95% del tiempo es de 0,84 m y el nivel mínimo registrado corresponde a 0,20 m. (ver Figura 5.2.1-67 y Tabla 5.2.1-100)

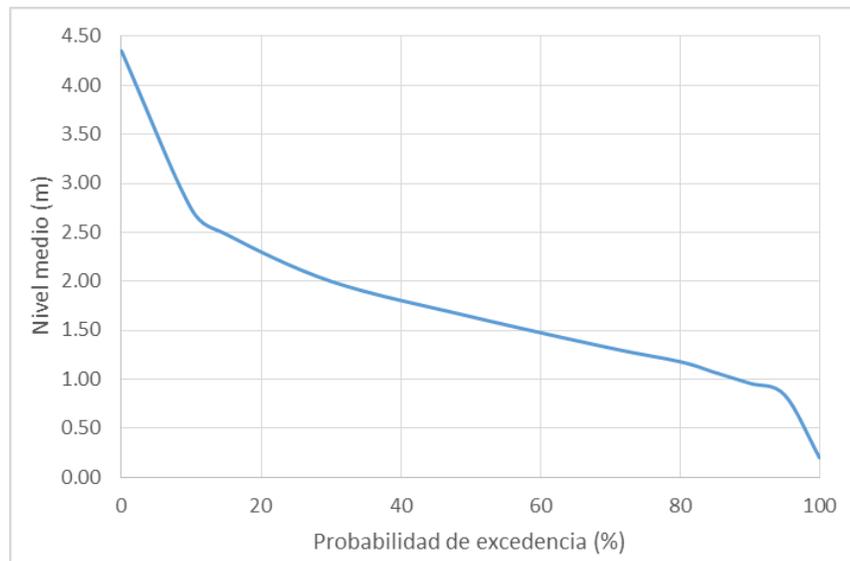


Figura 5.2.1-67 Curva de duración de niveles diarios estación Gibraltar 2008 – 2015

Tabla 5.2.1-100 Niveles diarios estación Gibraltar 2008 – 2015 para diferentes probabilidades de excedencia

Percentil (%)	Nivel (m)
0	4,35
10	2,74
15	2,48
30	2,00
50	1,64
70	1,32
80	1,18
85	1,07
90	0,96
95	0,84
100	0,20

5.2.1.13.9 Niveles en la estación Gibraltar - Canal Cundinamarca

Como se mencionó previamente el canal Cundinamarca es una cuenca de drenaje artificial entre el drenaje hídrico natural de los ríos Tunjuelo y Fucha. Esta subcuenca se encuentra localizada por debajo del río Bogotá y sus aguas son entregadas a este cauce mediante la estación de bombeo Gibraltar. A continuación se presenta algunas características de la estación con el fin de presentar los niveles de operación definidos para el bombeo:

Del informe PMAA-DI-249_rev. 1-Informe del programa de operación de alcantarillado - Subproducto 5.3 se presenta la descripción de la estación elevadora Gibraltar.

La estación elevadora se compone de:

- Estructura de entrada de aguas lluvias provenientes del Canal Embalse Cundinamarca.
- Estructura de entrada de aguas residuales.
- Canal colector de aguas lluvias y residuales.
- Bombas tipo tornillo.
- Sala de máquinas y de control remoto.
- Canal de descarga de las aguas al Río Bogotá.

La estación elevadora Gibraltar recibe caudales sanitarios a través de dos tuberías de diámetro Ø1,50 m. del Interceptor Tintal Central y del Interceptor Cundinamarca Sur, así mismo le llegan las aguas lluvias del canal embalse Cundinamarca.

Con la entrada en operación del Interceptor Fucha Tunjuelo, esta estación solo funcionará para aguas lluvias y en caso de contingencia y por medio de un sistema de compuertas elevará las aguas residuales de los Interceptores Tintal Central y Cundinamarca.

En la Figura 5.2.1-68 se muestra el esquema de la estación Elevadora Gibraltar.

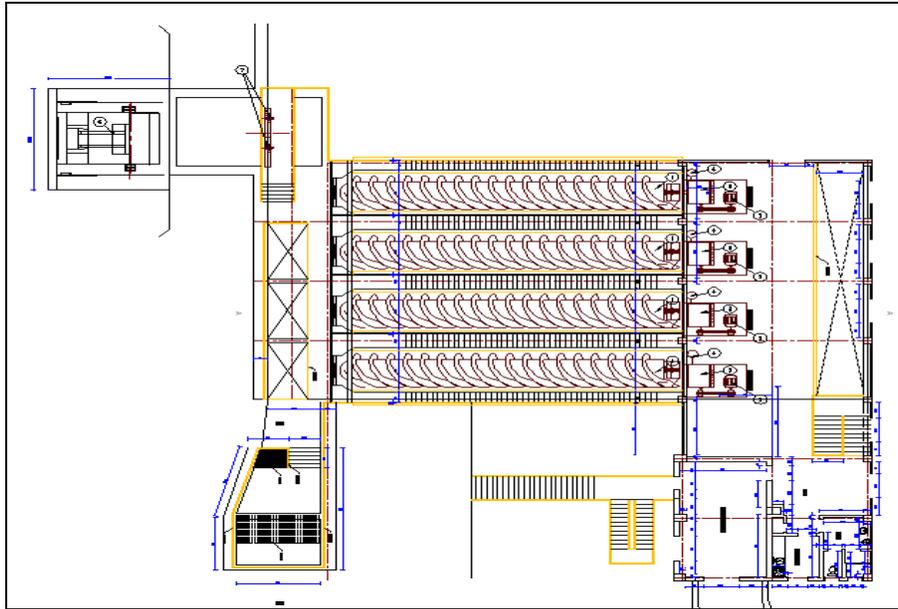


Figura 5.2.1-68 Esquema Estación Elevadora Gibraltar

Operación

La estación tiene cuatro (4) bombas tipo tornillo, cada una maneja un caudal de 1340 l/s, la operación de la estación para caudales normales es con tres (3) bombas en operación y una (1) en stand by; esta estación tiene una cabeza de elevación de 9,76 m, entregando al Río Bogotá.

Esta estación tiene el Canal Embalse Cundinamarca con una capacidad mínima de 879000 m³.

Las bombas encenderán de acuerdo a los niveles de funcionamiento establecido y registrado a continuación:

Tabla 5.2.1-101 Niveles de ascenso y descenso Estación Elevadora Gibraltar

NIVELES	
ASCENSO	DESCENSO
Regla de operación. Si Nodo 13 elevación > 0.62 entonces bomba #1 estado= encendido	Regla de operación. Si Nodo 13 elevación <= 1.55 entonces bomba BMB#3 estado= apagado
Regla de operación Si Nodo 13 elevación > 1.12 entonces bomba BMB#2 estado= encendido	Regla de operación. Si Nodo 13 elevación <= 1.05 entonces bomba BMB#2 estado= apagado
Regla de operación Si Nodo 13 elevación > 1.62 entonces bomba BMB#3 estado= encendido	Regla de operación. Si Nodo 13 elevación <= 0.52 entonces bomba #1 estado= apagado

A continuación se presentan las cotas de operación de la estación de bombeo:

Tabla 5.2.1-102 Cotas de operación estación de bombeo

	Cota Terreno	Fondo	Cota de encendido	Cota Apagado	Lámina de agua
CUN_K4+595.00	2,540.14	2,534.14			
MH-15	2,540.14	2,534.14			
Bomba1	2,540.14	2,534.14	2,534.76	2,534.66	

Bomba2	2,540.14	2,534.14	2,535.26	2,535.19	
PMP-3	2,540.14	2,534.14	2,535.76	2,535.69	
MH-13	2,543.07	2,541.41			
OF-6	2,543.07	2,541.41			2,541.81

La configuración topológica del modelo se presenta en la Figura 5.2.1-69.

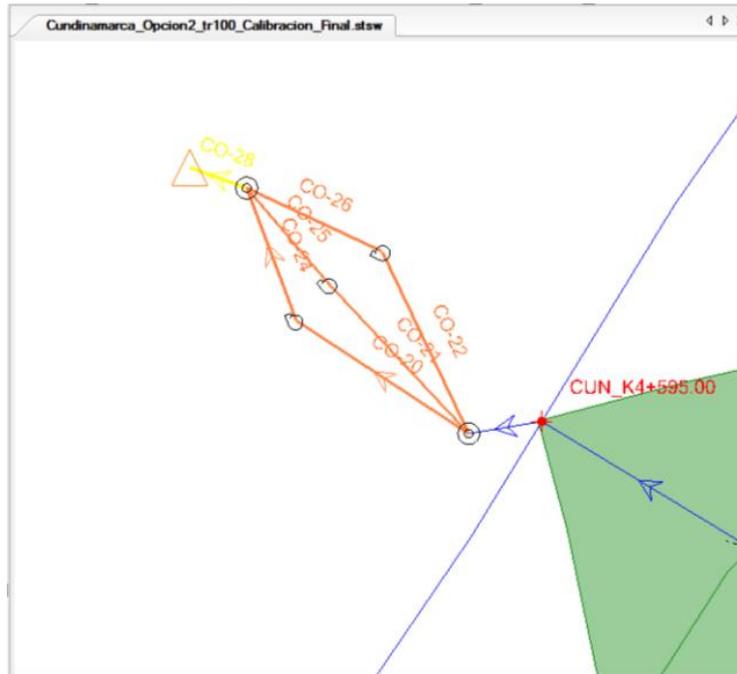


Figura 5.2.1-69 Configuración topológica del modelo SewerGems

5.2.1.14 Calidad del agua superficial

Con el fin de evaluar la calidad del agua de los cuerpos hídricos identificados en el área de influencia del proyecto, en el mes de agosto del año 2017 se realizó una campaña de Monitoreos puntual aguas arriba y aguas abajo en cada corriente hídrica identificada respecto al trazado de la PLMB. Dicha campaña se realizó durante periodo seco del año y los resultados fueron comparados con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1076 del 2015 con el fin de comparar la calidad actual de los cuerpos de agua existentes en el área del proyecto respecto al marco legal establecido para el control de la calidad del recurso hídrico y determinar índice de calidad del agua.

5.2.1.14.1 *Criterios de selección de los puntos de monitoreo*

A partir de la identificación de las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto, se realizó un reconocimiento por medio de fotografía satelital y campañas de campo en el cual se identificaron los cuerpos hídricos existentes en el área del proyecto objeto de estudio como se observa en la Figura 5.2.1-70.

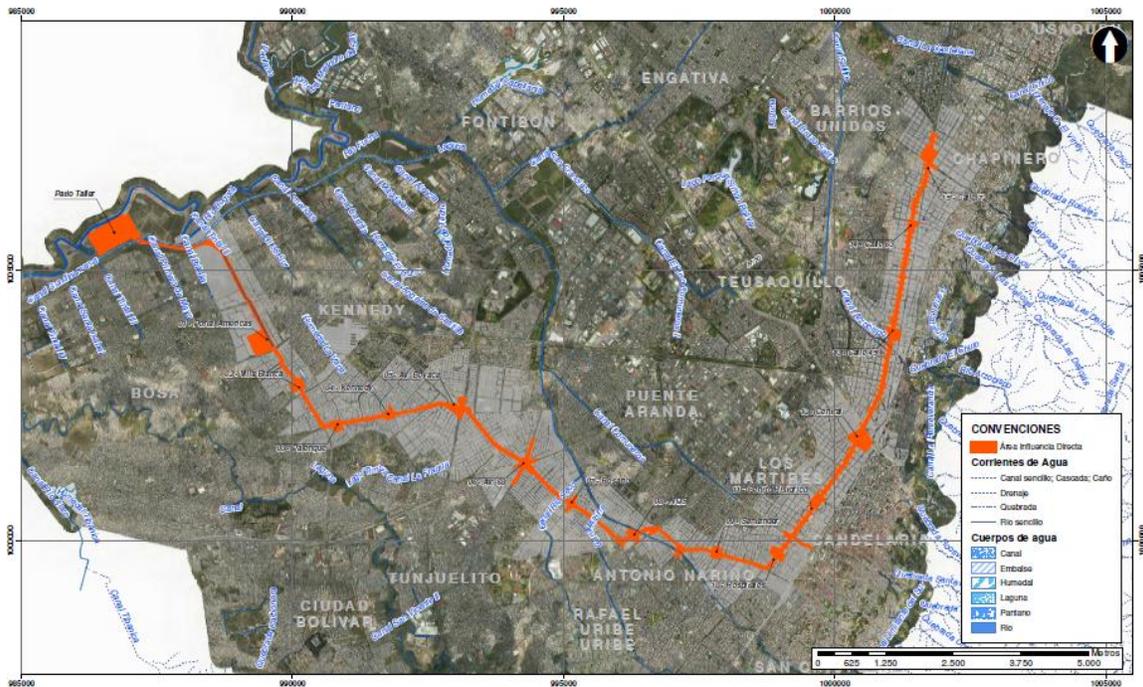


Figura 5.2.1-70 Identificación cuerpos hídricos objeto de estudio

5.2.1.14.2 Identificación de los puntos de monitoreo

La Figura 5.2.1-71 presenta la identificación de los cuerpos de agua identificados a lo largo del trazado del proyecto.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

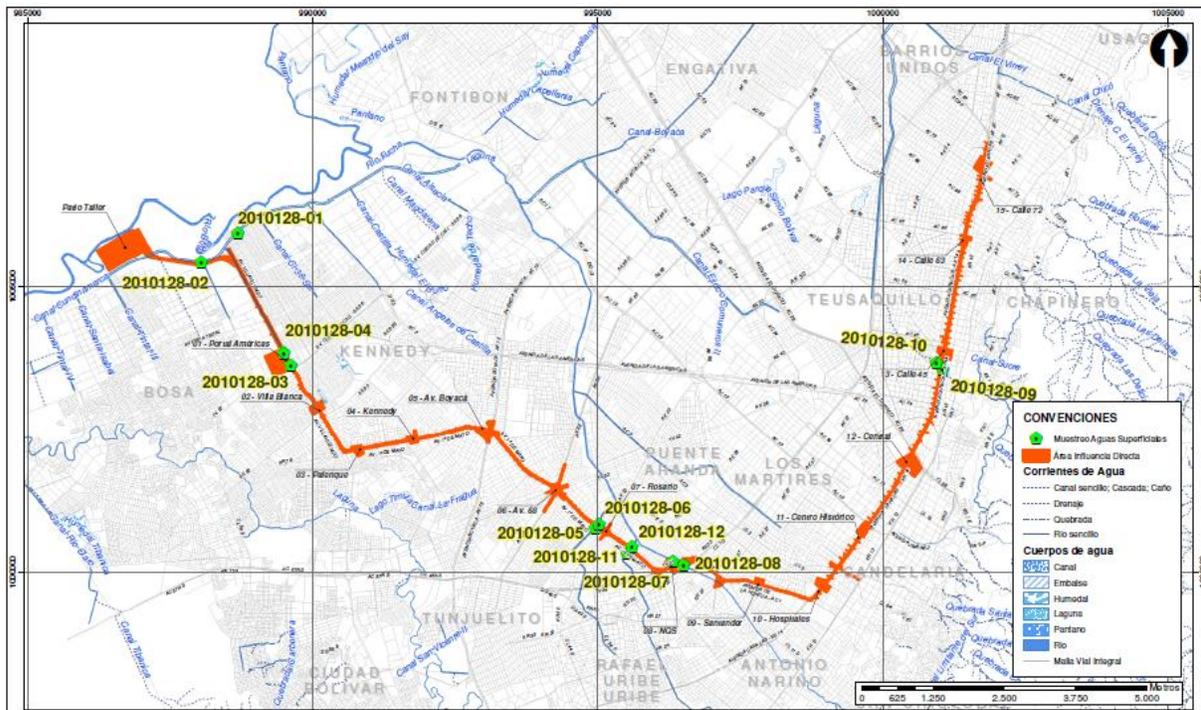


Figura 5.2.1-71 Localización Puntos de Monitoreo Calidad del Agua Superficial

A continuación se presenta la georeferenciación y localización de los puntos de calidad del agua monitoreados por el laboratorio K2 – INGENIERIA S.A.S, ver Tabla 5.2.1-103

Tabla 5.2.1-103 Georeferenciación puntos de monitoreo

Puntos de monitoreo	Coordenadas		Fotografía
	Norte	Este	
Canal Cundinamarca aguas arriba	1005954,35	988686,49	
Canal Cundinamarca aguas abajo	1005431,03	988048,42	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Puntos de monitoreo	Coordenadas		Fotografía
	Norte	Este	
Canal Tintal II aguas arriba	1003624,64	989613,9	
Canal Tintal II aguas abajo	1003848,89	989493,72	
Canal rio Seco aguas arriba	1000776,64	994955,15	
Canal rio Seco aguas abajo	1000838,07	995016,8	
Canal rio Fucha aguas arriba	1000122,88	996506,62	
Canal rio Fucha aguas abajo	1000199,09	996320,59	

Puntos de monitoreo	Coordenadas		Fotografía
	Norte	Este	
Canal Arzobispo aguas arriba	1003565,60	1001051,91	
Canal Arzobispo aguas abajo	1003666,96	1000940,95	
Canal Albina aguas arriba	1000346,57	995516,11	
Canal Albina aguas abajo	1000454,07	995605,5	

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017)

Estos puntos de monitoreo son representativos en cuanto a cobertura espacial y temporal del proyecto, teniendo en cuenta que la selección se realizó para cada uno de los cuerpos hídricos identificados al interior de las áreas de influencia del proyecto de tal manera que favorezca el monitoreo de los cuerpos hídricos a cada costado del viaducto (Aguas arriba y aguas abajo).

La selección de los puntos de monitoreo permiten dar continuidad con el seguimiento del recurso hídrico durante las fases de construcción y operación del proyecto; sin embargo, la periodicidad de estos se debe realizar teniendo en cuenta las condiciones del punto de muestreo en el año a ejecutar, así como los requerimientos establecidos por la entidad encargada de realizarlo.

5.2.1.14.3 Condiciones climáticas durante el periodo de toma de muestra

Teniendo en cuenta que la campaña de monitoreo se llevó a cabo los días tres (3) y cuatro (4) de agosto del año 2017, las cuales coinciden con el periodo de monitoreo de calidad del aire desarrollado para el estudio (ver Capítulo 4.2), a continuación se describen las condiciones

meteorológicas presentadas durante la jornada de monitoreo y su incidencia sobre los resultados de las muestras de agua superficial.

El registro de las condiciones atmosférica representativas se realizó por medio de dos estaciones meteorológicas Vantage Vue marca Davis Instruments, denominadas “Villa Blanca” y “RMCAB”, ubicadas de tal forma se diera cobertura al área de estudio (la descripción y localización de las estaciones se presenta en el Capítulo 3).

La Tabla 5.2.1-104 presenta los datos diarios obtenidos de las mediciones realizadas en las estaciones meteorológicas instaladas, en estas se consolidan los valores medios de velocidad del viento, temperatura, presión barométrica, humedad relativa y precipitación acumulada.

Tabla 5.2.1-104 Registros meteorológicos

Estación villa blanca					
Fecha	Temperatura (°C)	Presión barométrica (mm hg)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)
2017-08-03	15,87	569,03	0,00	0,83	69
2017-08-04	15,11	568,29	1,02	0,68	76
Estación RMCAB					
Fecha	Temperatura (°C)	Presión barométrica (mm hg)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)
2017-08-03	15,40	564,33	0,00	1,31	58
2017-08-04	15,10	564,33	4,50	1,48	64

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

Como se observa a continuación, la estación Villa blanca registro mayores valores de temperatura y Humedad, respecto a la estación RMCAB, en la cual se registraron mayores valores de precipitación y velocidades de viento.

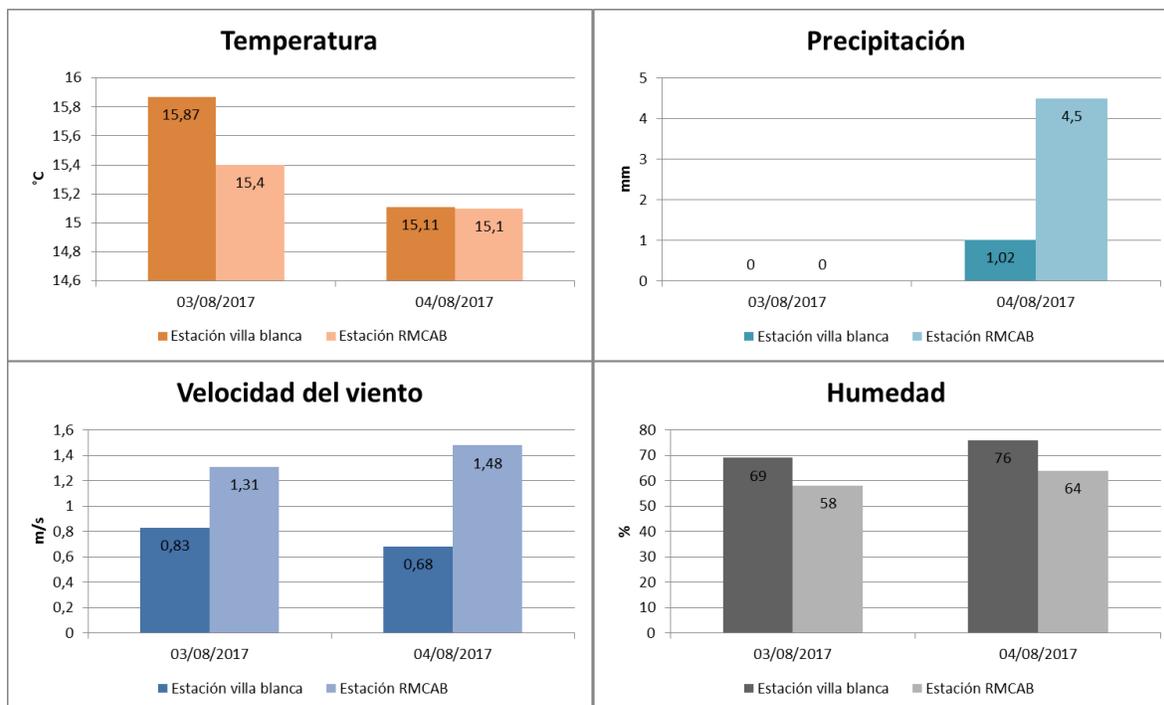


Figura 5.2.1-72 Condiciones meteorológicas – periodo de muestreo aguas superficiales

Durante la jornada de monitoreo de aguas se registraron valores medios de temperatura de 15,49 °C (Estación Villa Blanca) y 15,25°C (Estación RMCAB), encontrándose cerca a la temperatura media anual del aire de la ciudad de Bogotá para el año 2016 la cual fue de 15°C±0.65°C (Secretaría Distrital de Ambiente, 2017)

Los valores medios registrados para cada estación en cuenta a velocidad del viento fueron 0,76 m/s (Estación Villa Blanca) y 1,04 m/s (Estación RMCAB) encontrándose por debajo de los valores promedio anual registrados por la RMCAB, los cuales se encuentran entre 1,3 m/s y 2,2 m/s.

De acuerdo con la escala de precipitación de la Secretaria Distrital de Ambiente – SDA presentada en la Red de monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes del 2008, la precipitación diaria registrada se clasifica como “Escasa” teniendo en cuenta que los registros no superaron los 5 mm.

Respecto al porcentaje de humedad que contiene el aire con respecto al total que es capaz de contener como función de su temperatura y su presión durante el periodo de monitoreo, se obtuvieron valores medios de 72,5 % (Estación Villa Blanca) y 61% (Estación RMCAB) obteniéndose el mayor registro el segundo día de monitoreo.

Las condiciones meteorológicas registradas durante la campaña de monitoreo no representan mayor incidencia sobre los resultados de monitoreo, teniendo en cuenta que no difieren significativamente de los promedios anuales para la ciudad de Bogotá.

5.2.1.14.4 Metodologías de toma y análisis de muestras

La campaña de monitoreo consistió en la toma de muestras puntuales representativas de la calidad del agua para los cuerpos hídricos y subterráneos en el tiempo que se toma la muestra. La Tabla 5.2.1-105 presenta los métodos aplicados para las mediciones in situ y análisis en laboratorio

basados en el “Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF” y la EPA.

Tabla 5.2.1-105 Parámetros evaluados, métodos y referencia

Parámetro	Método	Referencia
pH	Electrométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF, 4500 H+B (ED 22 2012)
Temperatura	Termómetro	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 2550 B (ED 22 2012)
Conductividad	Sonda	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 2510 B (ED 22 2012)
Oxígeno disuelto	Sonda	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 4500 O G (ED 22 2012)
Nitrógeno Kjeldah	Volumétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 4500-NH3 B y C
Grasas y aceites	Partición/infrarrojo	NTC 3362 Método C
Hidrocarburos Totales	Partición/infrarrojo	NTC 3362 Método C - S.M. 5520-F - Partición/Infrarrojo - 2.1 mg HT/L - A
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	Luminiscencia	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5210 B, ASTM 888-09
Demanda Química de oxígeno	Fotométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5220 D
Tensoactivos	Fotométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5540 C
Coliformes fecales	Microbiológico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 9223 B Modificado NMP/100
Coliformes totales	Microbiológico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 9223 B NMP/100
Fósforo total,	Colorimétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 4500-P B, E
Turbiedad	Nefelométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2130 B
Sólidos disueltos	Gravimétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 C
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 D
Sólidos sedimentables	Volumétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 C

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017)

Las especificaciones sobre el tipo de recipiente y preservación de muestras tomadas, se encuentran referenciadas en la Tabla 5.2.1-106

Tabla 5.2.1-106 Especificaciones de recipientes y preservación utilizada por parámetro fisicoquímico

Tipo de agua a monitorear	Parámetro	Volumen requerido	Recipiente	Preservante
Aguas superficiales y Subterráneas	Oxígeno Disuelto	25	Vidrio	No requiere
	pH	25	Vidrio	No requiere
	Temperatura del agua	25	Vidrio	No requiere
	Temperatura ambiente	NA	NA	NA
	Grasas y aceites Hidrocarburos totales	1000	Vidrio Boca ancha	Agregar HCL o H2SO4 hasta pH <2
	Fósforo Total	500	Vidrio Ámbar	Refrigerar a menor de 6°, Adiciona H2SO4 hasta pH <2.
	DBO	1000	Vidrio Ámbar	Refrigerar a <6°C
	Nitrógeno total Kjeldahl	1000		Refrigerar a menor de 6°, adiciona H2SO4 hasta pH <2.
	Sólidos suspendidos y sólidos disueltos	2000	plástico	Refrigerar a menor de 6°
	DQO	120	Vidrio	Refrigerar a menor de 6°, Preservado H2SO4 hasta pH<2.
	Tensoactivos aniónicos	1000	plástico	Refrigerar a menor de 6°
	Coliformes fecales y totales	300	plástico	Refrigerar a menor de 6°

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

5.2.1.14.5 Resultados y análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo respecto al cumplimiento normativo.

De acuerdo con la destinación del recurso hídrico, los resultados obtenidos se compararan con los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 del 2015, Capítulo 3 Ordenamiento Del Recurso Hídrico Sección 9 Disposiciones transitorias expedida por el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible para el presente

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-107 Resultados monitoreo fisicoquímico del Agua

Componente		2010128-01	2010128-02	2010128-03	2010128-04	2010128-05	2010128-06	2010128-07	2010128-08	2010128-09	2010128-10	2010128-11	2010128-12	D.1076/2015	
Parámetro	Unidades	Canal Cundinamarca aguas arriba	Canal Cundinamarca aguas abajo	Canal Tintal II aguas arriba	Canal Tintal II aguas abajo	Canal rio Seco aguas arriba	Canal rio Seco aguas abajo	Canal rio Fucha aguas arriba	Canal rio Fucha aguas abajo	Canal Arzobispo o aguas arriba	Canal Arzobispo o aguas abajo	Canal Albina aguas arriba	Canal Albina aguas abajo	Art. 2.2.3.3. 9.3	Art. 2.2.3.3. 9.4
Oxígeno disuelto	mg/L	0	0,3	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0	0	NR	NR
PH	Unidades	7,16	7,1	7,46	7,5	9,49	9,31	8,15	7,7	8,06	8,1	8,35	8,34	5,0 - 9,0	6,5-8,5
Temperatura del agua	°C	19,369	20,2	17,67	19,6	17,98	16,91	12,82	10,45	12,82	12,32	16	15,7	NR	NR
Temperatura del ambiente	°C	24	26	26	26	22	22	15	19	15	15	19	19	NR	NR
Conductividad	µS/cm	1083	886	1077	1065	729,8	729,8	273,1	109,4	214,3	225,1	923,1	920,2	NR	NR
Caudal	L/s	125	9	8	11	NM	NM	2240	NM	32	NM	83	NM	NR	NR
Sólidos sedimentables	mg/L	0,2	<0,1	0,3	<0,1	0,1	0,1	1	0,3	0,5	0,5	1,5	1,5	NR	NR
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	26,4	14,9	33,9	26,4	11,5	12,1	19,5	3,39	<3	16,6	28,8	30,9	NR	NR
DBO	mg/L	70,5	16,5	272	179	69,3	12,3	39	19,1	<5	8,49	57,4	61,2	NR	NR
DQO	mg/L	162	35,8	380	360	150	37,2	100	50,1	<30	33,5	158,2	194,2	NR	NR
Fósforo total	mg/L	1,77	1,22	2,57	2,15	1,08	1,05	0,083	<0,07	0,074	0,09	0,122	0,144	NR	NR
Grasas y aceites	mg/L	3,39	0,541	24,3	14,3	2,23	3,04	16,9	6,81	3,58	13,8	74,5	83,5	No se acepta película visible de grasas	No se acepta película visible de grasas
Hidrocarburos totales	mg/L	2,75	<0,2	3,52	2,36	1,62	1,24	3,21	2,04	3,09	3,52	7,94	9,64	NR	NR
Sólidos disueltos	mg/L	440	406,7	445	439,3	404,8	406,6	154	83	129,3	124	433,3	410	NR	NR
Sólidos suspendidos	mg/L	164	36,7	42	29,3	20	20,9	40	47	26	31,3	135,6	142	NR	NR
Tensoactivos	mg/L	3,98	<0,25	9,09	5,36	2,54	2,51	2	1,4	<0,25	0,81	13,46	11,47	0,5	0,5
Turbiedad	NTU	150	76	82,7	69,6	21,7	23,1	68,9	63,8	38,7	41,2	195	206	NR	190

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

(*) En la toma de muestras de los cuerpos de aguas superficiales no se midieron coliformes fecales y totales, dado que no hay intervención sobre los cuerpos de agua. No obstante, en el caso del Canal Tintal II en caso de que la autoridad ambiental lo requiera, será responsabilidad de la EAB de la intervención del Canal, realizará los correspondientes muestreos necesarios para el trámite de los permisos correspondientes.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que la mayor concentración de DBO₅ se registró en el Canal Tintal II, aguas arriba y aguas abajo, seguido por el Canal Albina y Canal Cundinamarca. No obstante las concentraciones de Oxígeno disuelto se registraron por debajo de 0,3 mg/L, reportándose en los puntos Canal Cundinamarca (Aguas abajo) y Canal Arzobispo (Aguas arriba y Aguas abajo). Como se observa en la Figura 5.2.1-73 La concentración de DBO₅ tiende a disminuir en razón al incremento de oxígeno disuelto en el agua, el cual potencializa las reacciones de oxidación y degradación de la materia orgánica.

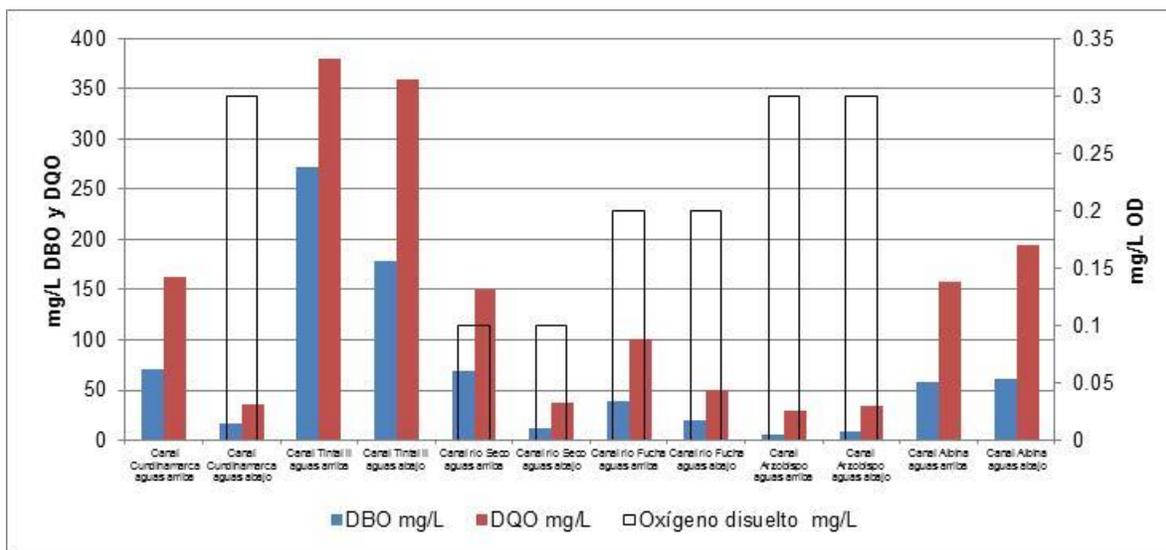


Figura 5.2.1-73 Resultados DBO₅, DQO y Oxígeno Disuelto

Tabla 5.2.1-108 Calidad del agua de acuerdo con las concentraciones de DBO₅ y DQO

Concentración de DQO	Concentración de DBO ₅	Criterio	Descripción
Menor o igual a 10 mg/L	Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Mayor a 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Mayor a 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor a 200 mg/L	Mayor a 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

A continuación se presentan las clasificaciones de cada uno de los cuerpos hídricos

Tabla 5.2.1-109 clasificaciones de cada uno de los cuerpos hídricos

Punto Muestreo	Criterio para DQO	Criterio para DBO ₅
Canal Cundinamarca aguas arriba	Contaminada	Contaminada
Canal Cundinamarca aguas abajo	Aceptable	Aceptable
Canal Tintal II aguas arriba	Fuertemente Contaminadas	Fuertemente contaminada
Canal Tintal II aguas abajo	Fuertemente Contaminadas	Fuertemente contaminada
Canal rio Seco aguas arriba	Contaminada	Contaminada
Canal rio Seco aguas abajo	Aceptable	Contaminada
Canal rio Fucha aguas arriba	Contaminada	Contaminada
Canal rio Fucha aguas abajo	Contaminada	Aceptable
Canal Arzobispo aguas arriba	Aceptable	Aceptable
Canal Arzobispo aguas abajo	Aceptable	Aceptable
Canal Albina aguas arriba	Contaminada	Contaminada
Canal Albina aguas abajo	Contaminada	Contaminada

Como se observa en la Figura 5.2.1-74, en los cuerpos hídricos monitoreados se registraron mayores concentraciones de sólidos disueltos, los cuales se relacionan con la conductividad asociada a cada punto. Las mayores concentraciones se registraron en Canal Tintal II (Aguas arriba y Aguas abajo) con valores en el orden de 400 mg/L, seguido por los puntos aguas arriba del Canal Cundinamarca (440 mg/L) y Canal Albina (433,3 mg/L).

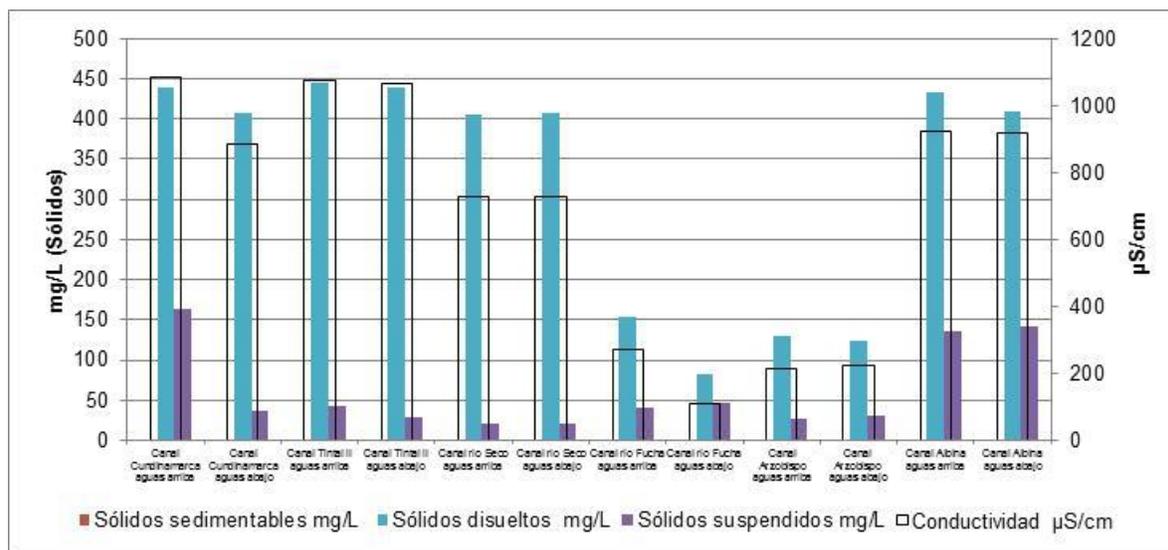


Figura 5.2.1-74 Resultados Sólidos y Conductividad

Teniendo en cuenta que la conductividad es una expresión de la habilidad del agua para transportar la corriente eléctrica y depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas, razón por la cual este parámetro es un indicativo del contenido de sólidos disueltos y de la mineralización del agua. A partir de la clasificación de las aguas en términos de Conductividad determinada por Rodier, 1998 (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017), en su informe Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar (Ver Tabla 5.2.1-110).

Tabla 5.2.1-110 Clasificación del agua según conductividad

Conductividad	Grado de mineralización
< 100 $\mu\text{S/cm}$	Muy Débil
100 < 200 $\mu\text{S/cm}$	Débil
200 < 333 $\mu\text{S/cm}$	Media acentuada
333 < 666 $\mu\text{S/cm}$	Media
666 < 1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización importante
>1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización excesiva

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

A partir de lo anterior, se determina la siguiente clasificación de mineralización para cada uno de los cuerpos hídricos identificados en el área del proyecto:

Tabla 5.2.1-111 Grado de Mineralización del Agua

Punto Muestreo	Grado de mineralización
Canal Cundinamarca aguas arriba	1083
Canal Cundinamarca aguas abajo	886
Canal Tintal II aguas arriba	1077
Canal Tintal II aguas abajo	1065
Canal rio Seco aguas arriba	729,8
Canal rio Seco aguas abajo	729,8
Canal rio Fucha aguas arriba	273,1
Canal rio Fucha aguas abajo	109,4
Canal Arzobispo aguas arriba	214,3
Canal Arzobispo aguas abajo	225,1
Canal Albina aguas arriba	923,1
Canal Albina aguas abajo	920,2

Nitrógeno total se considera elementos esenciales para el crecimiento de algas al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Las concentraciones de nitrógeno total reportadas en las aguas superficiales (<3,0 mg N/L) para el punto canal Arzobispo aguas arriba, indican que no existe contaminación en el cuerpo de agua por este nutriente, dado que en general, las aguas naturales sin contaminación fuerte tienen un contenido de nitrógeno total de 0,18 a 3,0 mg N/L (Romero, 2005) (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017).

Pero se evidencia contaminación fuerte según la bibliografía para los puntos Canal Cundinamarca aguas Arriba, Canal Cundinamarca Aguas Abajo, Canal Tinta II Aguas Arriba, Canal Tinta II A. Aguas Abajo, Canal Rio Seco Aguas Arriba, Canal Rio Seco A. Abajo, Canal Rio Fucha Aguas Arriba, Canal Rio Fucha Aguas Abajo, Canal Arzobispo Aguas Abajo, Canal Albino Aguas Arriba Y Canal Albino Aguas Abajo (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017). Ver Figura 5.2.1-75.

Respecto a la concentración de Fosforo, el cual es considerado como un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales, es considerado como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas y su determinación es necesaria en estudios de polución de cuerpos de agua. Como se observa en la Figura 5.2.1-75 los puntos de monitoreo Canal Rio Fucha Aguas Arriba, Canal Rio Fucha Aguas Abajo, Canal Arzobispo Aguas Arriba, Canal Arzobispo Aguas Abajo, Canal Albino Aguas Arriba, Canal Albino Aguas Abajo presentan concentraciones 2,57 mg/L indicando que los nutrientes fosfatados no generan afectación en el sistema hídrico. (K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017).

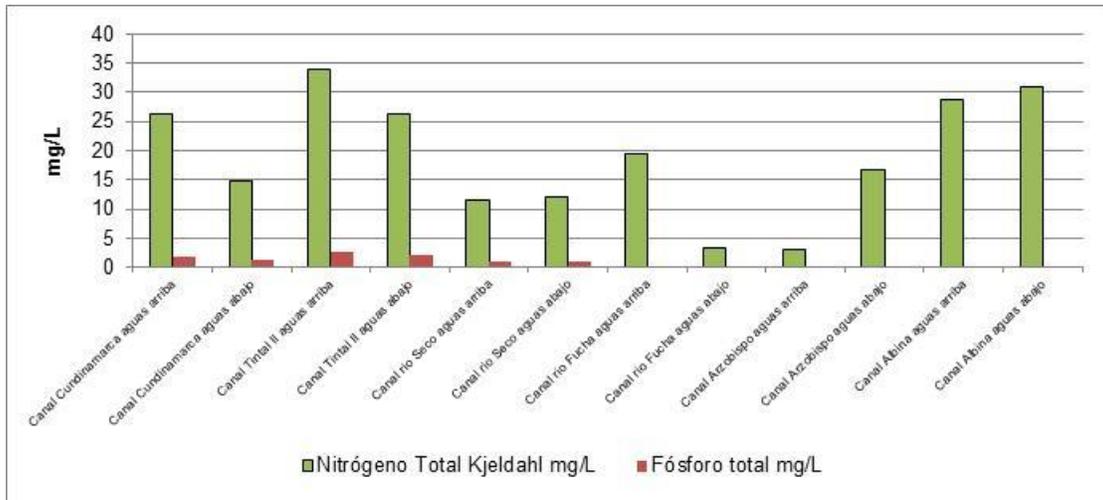


Figura 5.2.1-75 Resultados Nitrógeno Total y Fosforo

Respecto a las unidades de pH reportadas en cada uno de los cuerpos de agua, se observa los cuerpos de agua se encuentran entre 5,5 y 9,0 Unidades de pH, el cual da cumplimiento normativo con los usos del agua establecidos en el Decreto 1076 del 2015. No obstante el Canal Río Seco reportó una tendencia alcalina con valores de 9,49 (Aguas arriba) y 9,31 (Aguas abajo).

En cuanto a las concentraciones de Grasas y Aceites, Hidrocarburos y tenso activos, en la Figura 5.2.1-76 se observa la presencia de grasas y aceites con concentraciones máximas de 74,3 mg/L (Canal Albina aguas arriba) y 83,5 mg/L (Canal Albina aguas abajo), el marco normativo (Decreto 1076/2015) No se acepta película visible de grasas.

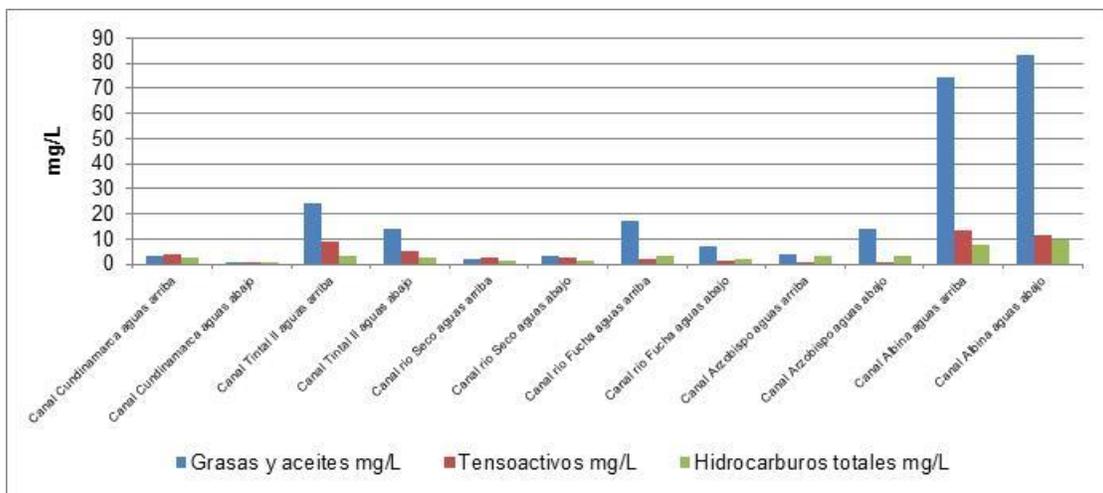


Figura 5.2.1-76 Resultados Grasas y Aceites, Tenso activos e Hidrocarburos Totales

Respecto al registro de Tensoactivos, los puntos de monitoreo registraron concentraciones máximas de 13,46 mg/L (Canal Albina aguas arriba) y 11,47 mg/L (Canal Albina aguas abajo), encontrándose por encima del límite normativo (0,5 mg/L). No obstante el punto de monitoreo Canal Cundinamarca aguas abajo y Canal Arzobispo aguas arriba registraron valores por debajo del límite de detección del laboratorio (<0,25 mg/L). Aunque la normatividad no presenta un límite de concentración de Hidrocarburos, en los cuerpos de agua monitoreados se evidencian concentraciones entre 0,2 mg/L y 9,64 mg/L, siendo el Canal Albina (Aguas arriba y Aguas abajo) el cuerpo hídrico con mayor concentración.

5.2.1.14.6 Índice IACAL

Nombre	Código	Q (m³/s)	IACAL DBO	IACAL DQO-DBO	IACAL Sólidos Suspendidos Totales	IACAL Nitrogeno Total	IACAL Fósforo Total	IACAL	Categoría clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Canal Cundinamarca aguas arriba	2010128-01	0,125	0,45	0,59	1,05	0,17	0,01	2,8	3	Media-Alta
Canal Cundinamarca aguas abajo	2010128-02	0,009	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	1	1	Baja
Canal Tintal II aguas arriba	2010128-03	0,008	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1	1	Baja
Canal Tintal II aguas abajo	2010128-04	0,011	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1	1	Baja
Canal rio Fucha aguas arriba	2010128-07	2,24	193,27	302,30	198,23	96,64	0,41	5	5	Muy Alta
Canal rio Fucha aguas abajo	2010128-08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	1	Baja
Canal Arzobispo aguas arriba	2010128-09	0,032	1,60	8,00	16,64	0,96	0,05	4,2	4	Alta
Canal Arzobispo aguas abajo	2010128-10	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	1	Baja
Canal Albina aguas arriba	2010128-11	0,083	0,05	0,10	0,13	0,03	0,00	1	1	Baja
Canal Albina aguas abajo	2010128-12	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	1	Baja

El IACAL presente en la mayoría de los puntos una calificación baja, indicando que los cuerpos de agua monitoreados presentan baja susceptibilidad a los tipos de contaminación relacionada con materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

5.2.1.14.7 *Indice ICA*

Código Laboratorio	Código	ICA OD	ICA SST	ICA DQO	ICA Conductividad	ICA Conductividad	ICA pH	ICA	Calificación de la calidad del Agua
2010128-01	Canal Cundinamarca aguas arriba	0,0	0,5	0,125	-5,40	0,00	1,00	0,33	Mala
2010128-02	Canal Cundinamarca aguas abajo	0,0	0,9	0,51	-3,89	0,00	1,00	0,49	Mala
2010128-03	Canal Tintal II aguas arriba	0,0	0,9	0,125	-5,36	0,00	1,00	0,40	Mala
2010128-04	Canal Tintal II aguas abajo	0,0	0,9	0,125	-5,26	0,00	1,00	0,41	Mala
2010128-05	Canal rio Seco aguas arriba	0,0	1,0	0,125	-2,77	0,00	2,64	0,75	Aceptable
2010128-06	Canal rio Seco aguas abajo	0,0	1,0	0,51	-2,77	0,00	2,21	0,74	Aceptable
2010128-07	Canal rio Fucha aguas arriba	0,0	0,9	0,125	-0,01	0,00	0,69	0,35	Mala
2010128-08	Canal rio Fucha aguas abajo	0,0	0,9	0,26	0,70	0,70	1,00	0,57	Regular
2010128-09	Canal Arzobispo aguas arriba	0,0	0,9	0,125	0,27	0,27	0,63	0,40	Mala
2010128-10	Canal Arzobispo aguas abajo	0,0	0,9	0,51	0,22	0,22	0,66	0,47	Mala
2010128-11	Canal Albina aguas arriba	0,0	0,6	0,125	-4,17	0,00	0,84	0,31	Mala
2010128-12	Canal Albina aguas abajo	0,0	0,6	0,125	-4,15	0,00	0,84	0,31	Mala

En la mayoría de los puntos se refleja una calificación de mala, lo que indica que la calidad actual del agua no es buena y refleja problemas en las características de los parámetros medidos.

5.2.1.15 Usos del agua

5.2.1.15.1 *Caracterización general*

El eje del sistema hídrico de Bogotá cuenta con tres grandes ríos que dividen la ciudad básicamente en tres cuencas de drenaje; Salitre, Fucha y Tunjuelo, siendo estos los cauces mayores que nacen en los cerros orientales recibiendo las aguas de varias quebradas creándose así por su confluencia.

La presente caracterización se ha llevado a cabo mediante la revisión de información secundaria proveniente de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá (ORARBO) y el Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional.

5.2.1.15.2 *Conflictos actuales*

De acuerdo con el Observatorio Colombiano de la Gobernanza del Agua, del MADS, un conflicto se define como “una situación que enfrenta a dos o más actores sociales, empresariales o institucionales cuando unos consideran que las actuaciones y los intereses de otros, afectan sus derechos en torno al uso, manejo, aprovechamiento o degradación de determinado recurso hídrico o de los ecosistemas de los que el recurso depende (Wilches-Chaux, 2013)”.

Teniendo en cuenta esta definición y los actores que median los conflictos por el agua se pueden agrupar dentro de tres (3) categorías según el Instituto de Estudios Urbanos, Universidad Nacional de Colombia:

- Los relativos a las competencias de uso: Cuando el recurso no satisface las diversas demandas que tiene el agua de una cuenca (usos actuales, nuevos usos y/o posibilidad de reservar recurso para aprovechamientos futuros).
- Los generados por la contaminación del agua: Estos se refieren, básicamente, a la imposibilidad de usar las aguas de los ríos para riego y consumo humano por parte de la población, debido a la muy alta contaminación orgánica generada por las descargas de las aguas residuales de la ciudad.
- Los del aprovechamiento de las aguas subterráneas: Cuando la explotación de las aguas subterráneas sobre pasa la capacidad natural de recarga de los acuíferos.

De acuerdo a estas definiciones, para el caso de Bogotá se identificaron los siguientes conflictos mostrados en la Tabla 5.2.1-112

Tabla 5.2.1-112. Conflictos del uso del agua para Bogotá D.C

Conflictos por competencias de uso	
Descripción	Efectos
Eliminación del recurso hídrico para atender las necesidades de riego y abastecimiento del acueducto de la ciudad de Bogotá y sus alrededores.	Cuenca del río Teusacá (municipios de la Calera, Sopó y parte de Guasca) afectados por la desviación del páramo de Chingaza
Conflictos por contaminación hídrica	
Descripción	Efectos
Imposibilidad de uso de aguas del río Bogotá debido a la alta contaminación orgánica por las descargas de aguas residuales de la ciudad.	Las afectaciones físico químicas y biológicas del río no solo afectan las características del agua sino también de manera especial las condiciones sociales y económicas de la

	población asentada en sus riberas.
Conflictos por el aprovechamiento de aguas subterráneas	
Descripción	Efectos
Explotación de aguas subterráneas	Descenso en los niveles de acuíferos a causa de la sobre explotación de los mismos.

Fuente: Instituto de Estudios Urbanos, Universidad Nacional de Colombia

5.2.1.15.3 Consumo de agua subterránea

Gran parte del Distrito Capital presenta altos excedentes de agua indicando que el Distrito tiene un nivel medio – bajo de extracción del orden del 33.4% de su recarga anual. El sector industrial consume el 70% de la extracción de agua subterránea.

Tabla 5.2.1-113 Relación del agua subterránea concedida Vs extraída del acuífero

Año	Volumen Agua Concedido - VAC	Volumen de Agua Extraído - VAE	Relación de agua subterránea concedida y extraída del acuífero VASCE (%)
2012	6 927 872,12	4 792 432,12	69,18
2013	6 482 469,08	4 427 367,72	68,30
2014	6 117 270,39	3 940 530,98	64,42
2015	5 770 536,85	4 851 833,76	84,08
2016	6 240 541,71	3 112 529,56	51,65

Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá

Tabla 5.2.1-114 Volumen agua subterránea consumida (m³/año)

Año	Volumen de Aguas Subterráneas Consumidas Total en el Área urbana VAS (m ³ /año)
2012	4 427 368
2013	3 940 531
2014	3 842 100
2015	3 820 981
2016	3 223 530

Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá

5.2.1.15.4 Consumo de agua potable

Los sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Bogotá provienen de 3 fuentes:

- Sistema Chingaza: Incluye embalses de Chuza y San Rafael y el subsistema río Blanco.
- Sistema Sumapaz, cuenca alta del río Tunjuelo: Incluye los embalses de La Regadera y Chisacá y la laguna de Los Tunjos o Chisacá.
- Sistema Tibitoc - Agregado Norte: Incluye el embalse de Aposentos y los embalses de Neusa (Corporación Autónoma Regional -CAR-, Cundinamarca), Sisga (CAR, Cundinamarca) y Tominé (Empresa de Energía de Bogotá S. A. –ESP).

Tabla 5.2.1-115 Consumo residencial de agua por habitante

Año	Total de agua consumida para uso residencia en el área urbana – TACR	Población urbana total del área urbana - PUT	Consumo residencial de agua por habitante CRAPH (l/hab*día)
2013	599 743 388	7 657 602	78,32
2014	602 023 929	7 760 451	77,58
2015	603 721 036	7 862 277	76,79
2016	580 057 421	7 963 379	72,84

5.2.1.15.5 Agua subterránea en Bogotá D.C

En la Sabana de Bogotá, el agua subterránea surte a los sectores agrícola, ganadero e industrial, sistemas de acueducto y otras actividades. El desarrollo en la Sabana de Bogotá conlleva al incremento de la población, al igual que al aumento y diversificación de las actividades antrópicas, conllevando al riesgo de sobreexplotación y contaminación de los acuíferos.

De acuerdo a la Secretaria Distrital de Ambiente, en Bogotá hay 489 pozos registrados, de los cuales 79 cuentan con permiso de concesión vigente a septiembre de 2014.

La CAR cuenta con un inventario de 206 puntos de agua subterránea de Bogotá, que en su mayoría corresponde a pozos. En la Tabla 5.2.1-116 se presenta el inventario de estos puntos de agua, indicando su profundidad, localización mediante coordenadas, nombre del predio y vereda o localidad.

Tabla 5.2.1-116: Inventario de puntos de agua subterránea en Bogotá

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
0	1025500	1005500	La Macarena	Guaymaral
60	1020633	9972850	El Candil	La Conejera
96	1024765	1000791	Pan de Azúcar	Guaymaral
0	1018690	998056	Parcelación Las Mercedes - Parcela N° 88, Sector N°.2 - Flores Las Mercedes	Guaymaral
95	10215066	10033701	Conjunto Residencial Andino	Casa Blanca
95	1025076	1000849	Villa Myriam	Guaymaral
102	1018130	998105	Berice	Las Mercedes – Loc. Suba
93	1025230	1000565	Conjunto Residencial El Refugio	Guaymaral/Suba
123	1022763	1000481	Don Enrique "Lote A"	La Conejera
122	1022691	1000183	Don Enrique "Lote A"	La Conejera
100	1005486	1019738	Tibirita lotes 6 y 9	Localidad de Usaquén
85	1019360	998550	Las Mercedes 1,2,3	Las Mercedes - Localidad de Suba
129	1022163	999840	Club Campestre Los Arrayanes	La Conejera - Localidad de Suba

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
			El Otoño	Casa Blanca – Loc. Suba
85	1020500	1002550	El Paraíso	Localidad de Suba
180	1006900	993050	Tíntalito	Tíntalito
200	1007440	993125	Tíntalito	Tíntalito
60	1021066	996453	Veraguas	Tuna Chorrillos
110	998970	1019400	Lote 41 Manzana B Parcelación Las Mercedes	La Conejera
100 100	1019650 1019760	998950 998900	N	Chorrillos
60-60	1020861	997569	Conejera El Hospital y Miramar Alfa	Tuna - Chorrillos
40	1018300	998600	Parcelación Las Mercedes Lote 4 N° 14	
0	1000477	1024899	La Verbena	Guaymaral
(P1): 108	1023620	1000300	Santa Lucia	La Conejera
(P2): 107	1023400	1000230	Santa Lucia	La Conejera
(P3): Sellado	P3	P3	Santa Lucia	
116	1024700	1000400	Aeropuerto Guaymaral	Guaymaral
80	1003440	1021877	N	n
P4(114)		10024641	500273956	Santa Rosalía, Santa Clara
P5 (118)		1024993		Santa Rosalía, Santa Clara
P6 (120)		1024452		Santa Rosalía, Santa Clara
Santa Clara (128)		1023400		Santa Rosalía, Santa Clara
90	1020840	998470	La Escuela	Chorrillos
170	1001328	1020564	El Madrigal/La Primavera	Conejera
80	1020280	1002490	Puente el Otoño	Tuna Baja Guaymaral
60	1020320	1001970	El Otoño	
65	1020460	1002400	Finca La Copa	Suba
115	1024461	999910	Hacienda Carimagua	La Conejera
75	1024841	1001015	Fortín de San Fernando	La Conejera
116	1023947	1002355	Conjunto Residencial Loyola	Suba
153	998876	1020169	Inversiones BucareliaLtda.	Lote 74, Sector 2
0	1000804	102483	Villa Beatriz	Guaymaral
75.5	1000294	1024297	Calichana -Jagualito	Guaymaral
121.70	1.020.527	1.004.930	Polo Club de Bogotá	Bogotá
0	1001669	1025553	Santa Rosalía	Guaymaral
86	1018300	998545	Lote 1 Parcela Las Mercedes	Tuna Baja

LINEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
				Guaimaral
0	1.012.334	1.019.013	Santiago	San José
84	1124021	1100067	Machuma	Guaymaral
79	1.024.380	1.001.800	Serrezuela Lote N° 4	Guaymaral
60	1020443.456	997248.105	San Isidro I	La Conejera
90	1.021.550	998,26	Los Arrayanes	Bogotá
100	1001746	1021469	Lote No. 2 Torremolinos	Vereda la Conejera - Sector La Inmaculada
124	1021559	1003393	El Norte	La Conejera
68	1024649	1000800	San Jorge	Guaymaral
57	1024616	1000728	Hacienda Santa Clarita	Guaymaral - Suba
79	1024324	1001192	Finca San Jorge	Guaymaral
100	1019333	999084	Predio No. 38, Parcelación Las Mercedes	Chorrillos
126	1002210	1020090	Los Búhos	Casablanca
150	1000622	1023551	Arizona - La Ranita	Guaymaral
84	1000260	1024725	Rincón de San Pedro	Guaymaral
0	1001312	1024156	AEROANDES	Guaymaral
0	1022983	999983	Finca San Luís	n
102	1024400	1000520	Antinarcóticos, Policía Nacional	Guaymaral
82	1024990	999935	Rincón de San Pedro Lote 58 A	Guaymaral
80	1002485	1023909	Puente Palermo	Guaymaral
102	1002028	1001103	Lote N° 5 La Morena	Guaymaral
0	1001904	1022016	Hacienda Torremolinos	Guaymaral
26.5	1003417	1020728	Cementerio Hebreo del Norte	Guaymaral
0	100704475	100712288	El Encenillo	El Hato
0	1001271	10249981	El Rincón de Mi Abuela	Guaymaral
	1001259	1024992	El Rincón de Mi Abuela	Guaymaral
160	993793	983081	San Isidro	Olarte
0	1025024	1000346	Cucaita	Guaymaral
0	1005300	1023491	Osolandia	Torca
97	1119170	996970	parte finca san luis	Salitre
0	1003241	1021745	lotes 16a3-16a4-a5-a1-a2	Guaymaral
65	998497	1021070	San Isidro II	Guaymaral
120	998565	1021180	San Rafael	Guaymaral
50	999800	1022440	San Rafael	Guaymaral
60	999590	1022650	San Rafael	Guaymaral
	1019256	999273	Lote 21 Parcelación Las Mercedes	Suba
74	1024750	1000550	Pinar	Guaymaral

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
35	1024800	100255	Rincón de San Pedro	Guaymaral
84	1000283	1024775	Urbanización Rincón de San Pedro	Guaymaral
Pozo1:90	1023400	1023350		
Pozo 2: 70	1000930	1100780		
75	1024619	1000782	Santa Cruz	Guaymaral
100	1019391	999269	Conejera Lote 20	Las Mercedes-Suba
80	1019056	999409	parcela dos de las mercedes	Suba
94	1018493	998397	Lote 32 Parcelación Las Mercedes	Loc. Suba
78	1024980	1001113	Santa Cayetana	Guaymaral
85	1019491	1002740	Lote Andalucía 1	Casa Blanca Loc.Suba
130	1020842	1001639	La Lomita	La Conejera
85	1019730	1002525	Los Pinares	San Antonio
Pozo1:70	1024400	1000700	Lote 10 Parcelación Guaymaral/Lote 60 Villa Elvira	Guaymaral
Pozo2:90	1024600	1001380	Lote 10 Parcelación Guaymaral/Lote 60 Villa Elvira	Guaymaral
72	1024605	1000713	Gualcala	Guaymaral
90	1024600	1001150		
5	10244224	1001879	Beitjala	guaymaral
0	1000780	1025020	El Remanso	Guaymaral
93	1000700	1022823	Granja Pio Pon	Guaymaral
108	1024486	1001300	Conjunto residencial Santillana	Guaymaral
80	1001931	1024362	Las Tinajas	Guaymaral
0	1000283	1024731	Rincón de San Pedro	Guaymaral
86	1024767	1000781	Villa Jura	Guaymaralviachia
98	1024353	1000031	Finca Calichana	Guaymaral
90	1025050	1000570	Martelena	Guaymaral
72	1025160	1000800	Villa Don Santiago	Guaymaral
78	1124580	1000550	Barriloché	Suba
120	1023230	1005018	La Gloria y Sorrento	N
0	1000391	1025735	El Capitolio	Guaymaral
0	1000092	1025016	Claudia Patricia	Guaymaral
87	1003150	1019550	Colegio Franciscano del Virrey Solís-Seminario Franciscano de San Bernardino	Casa Blanca
5	1024843	1010210	Cesantía	Guaymara
75	1024566	1000718	Hacienda San Pedro	La Conejera
65	1001752	1024509	Quinta La Carolina Lote 57 B Parcelación Guaymaral	Suba
			Conjunto Villa Hermosa Interior II	Guaymaral

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
90	100241	1024173	Aranjuez	GuaymaralSuba
80	10021450	10033038	Villa Beatriz	La Conejera Loc. Suba
60	1019850	999670	Lote 4-5,Predio Los Monos	Conejera/Loc. Suba
3	1024283	1001773	Lote B	Guaymaral
0	N	N	N	Guaimaral
76	1024650	1000200	Rincón de San Pedro	Chorrillos
115	1024790	100820	Santa Ana	Guaymaral
78	1024700	1000620	Urbanización Rincón San Pedro Lote 21 Sector Guaymaral-Localidad de Suba	Guaymaral
0	1024702	1000471	Interlarken Lote 24	Guaymaral Suba
60	1000058	1025554	San Pedro	Guaymaral Localidad de Suba
64	1001972	1023228	La Julia	Guaymaral
120	1024070	1002280	Lote 1a, 1c, 1d	Guaymaral
90	1021954	1003424	Predio Los Alpes	Localidad de Suba Guaymaral
125	999150	1019450	Las Mercedes	Tuna Baja
84	1024725	1000260	Conjunto Acueducto San Pedro de Guaymaral	Guaymaral
51,1	1020419	999135	Unidad Pedagógica II	
112	1018450	999100	Parcelación Las Mercedes	Localidad de Suba
70	1024900	1008500	San Ignacio	Localidad de Suba
48	1001171	1024666	Conjunto Residencial La Arboleda	Guaymaral
0	1000300	1024963	El Rincón de Mi Abuela	Guaymaral
80	1001367	1024117	Hacienda San Pedro Lote D	Guaimaral
200	1014390	1010655	Mirador de San Rafael	La Toma
	990193	1010250		
0	1002473	1025157	Flores Alameda	Guaymaral
0	N	N	N	N
41	1019600	1001640	Casa Blanca El Sembradero	Casablanca
70	1019527	999626	Majadita	La Conejera
0	1022639	1003871	El Molino	El Jardín
320	1012535	1008475	Santa Inés	N
150	1011100	1000750	Agua Bonita	El Salitre La Calera
120	1025510	1002610	Lote 7 Piedra Tendida	Suba
0	991499	974335	Micania II	Curubital
0	1,019,480	1,013,000	La Cabaña Lote 13	San José

LINEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Nombre Predio	Vereda
	1020472	1002391	Otoñolas	Suba
78	1003651	1022039	Colegio Clermont School	Suba
	1022119	1003141	Colegio Andino	Loc. Suba
0	1020751	998712	Finca La Carolina	Chorrillos
0	N	N	Koralia	Vía Guaymaral
0	N	N	Villa Berta El Roncón de Mi Abuela	Guaymaral
0	1021839	1003649	Monte Perla El Otoño	N
0	998831	1020780	Lote el Parral	Localidad de Suba
60	1022563	1003010	Santafé	Suba
0	1,019,113	996,936	Lote a Parcelaciones Conejera Las Mercedes	Suba Rural
0	N	N	conejera el bosque	Guaymaral
0	1009667	1018676	El Establo - El Rincón	Márquez
N	9020240	996346	el rinconcito	Chorrillo
0	N	N	conejera el bosque	Guaymaral
0	N	N	conejera el bosque	Guaymaral
0	1009350	10011314	el portal 8 lote 4	Salitre Alto
0	1020726	998240	conejera el bosque	Chorrillos de Suba
134	N	N	barajas norte	Chorrillos Loc. Suba
0	1019481	1005321	American Pipe and Constrution Internacional	Lijacá-Torca-Loc. de Usaquén
0	993490957	990361286	El Rincón de Bella Flor	QuibaBajo
15	1007220	1007150	El Rincón ALPINO	Vereda El Hato
0	1002000	1002900	Colegio Buckinghamam	N
103	1020345	996141	El Rinconcito	Chorrillos
0	999762	1018792	Lote 15 Parcelación La Conejera Estación de Servicios Cigesa	La Conejera
100	1021000	1002500	Parque II	Suba

La CAR ha instalado una red de monitoreo en la Sabana de Bogotá, para medir la evolución en el tiempo de los niveles estáticos y dinámicos en el acuífero cuaternario.

Tabla 5.2.1-117 Red de monitoreo de agua subterránea CAR

X	Y	Nº Expediente	Predio	Vereda	Municipio	Elevación Placa
1020566	1013473	No se hallo	Hacienda La Gavia	San Cayetano	La Calera	2621
1019702	1012134	22874	Bramaderos	El Triunfo	La Calera	2584
995667	982536	20371	Planta de Soacha	Chuscana	Soacha	2563
996247	982889	Verificar SAE	CORTICARIBE (Hacienda Santa Ana)	Barrio Santa Ana	Soacha	2575
1022708	1002375	20338	El Jardín	Guaymaral	Suba	2568

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

X	Y	N° Expediente	Predio	Vereda	Municipio	Elevación Placa
1024440	999904	No se hallo	Karimagua	Guaymaral	Suba	2571
1023628	1002029	8644	Flores Astro	Guaymaral	Suba	2578
1024464	1000602	8658	Helistar	Guaymaral	Suba	2562
1023884	1002486	19144	Aeroclub de Colombia	Guaymaral	Bogotá	2574
1023526	1000621	19022	Arizona	Guaymaral	Bogotá	2572
1022943	1003589	No se hallo	Colegio Nueva York	El Jardín	Suba	2572
1022523	1005026	2001-76-1-735	Club Recreativo COMPENSAR	Buena Suerte	Bogotá	2585
996033	992844	7001-761-3175	ALFRAGRES (El Coral)	Soacha Compartir	Soacha	2573
998206	979516	27006	Canoas Saenz	Canoas	Soacha	2566
1022113	1003140	DM-01-CAR-6665	Andino I	Guaymaral	Bogotá	2573
1021420	1004015	No se hallo	Colegio San Viator	Guaymaral	Bogotá	2565
1020410	1002638	6277	Los Nogales	Autonorte	Bogotá	2567
998752	981452	8011-761-5780	FAGECOR	Canoas	Soacha	2564
1019741	1005486	2280	Tibabita	Usaquén	Bogotá	2580
998009	979967	8011-761-1127	Tierra Blanca	Canoas	Soacha	2557
1020751	998712	28656	Finca La Carolina	Chorrillos	Suba	2572
1019434	999148	21055	Colegio Juan Ramón	Suba	Bogotá	2570
1020569	1001337	Verificar SAE	Madrigal	Suba	Bogotá	2569
1019397	1000736	Verificar SAE	La Conejera	Suba	Bogotá	2590
1016230	1002966	DM-01-CAR-3774	Carmel Club	Mazurén	Bogotá	2571
1016016	1002922	DM-01-CAR-3774	Carmel Club	Mazuren	Bogotá	2569
999659	985550	8011-761-20690	Potrero Grande	Bosatama	Soacha	2573
1000850	983800	8011-761-19754	La Chucuita Lote B	Bosatama	Soacha	2553
997716	987402	8011-761-7909	Terrenos	Centro de Soacha	Soacha	2594
998048	986835	8011-761-7909	Terrenos II	Terrenos	Soacha	2578
998895	984258	8011-761-1046	Secretaria Social	Centro de Soacha	Soacha	2566
998095	983903	No se hallo	Universidad de Cundinamarca	Centro de Soacha	Soacha	2578
995669	982540		Vidriería Fenicia	Chusacá	Soacha	2581

Fuente: Estudio "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

En el estudio "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013) se encuentra un inventario de 65 pozos de agua subterránea localizados en la ciudad de Bogotá, donde se indica su código, nombre, profundidad, localización mediante coordenadas, unidades geológicas captadas, caudal, nivel estático, nivel dinámico, capacidad

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-118: Inventario de puntos de agua subterránea

CODIGO	NOMBRE DEL POZO	PROF	NORTE	ESTE		Q (l/s)	NE (m)	ND (m)	CE (l/s/m)	T (m2/día)	K
pz-06-0005	ACEGRASAS No. 2	101	99831,690	92599,493	Q	3,95	29,26	29,75	8,06122449	315	
pz-06-0008	GENERAL MOTORS	175	98737,000	92286,000	Q, K	11,76	13,88	16,23	5,004255319	489	
pz-06-0009	PARQUE EL TUNAL	151	97241,200	93327,490	Q, K	11,7	28,98	32,57	3,259052925	543	
pz-07-0016	CLARA FEY No. 1	155	102.259.339	88.205.917	Q	4	15,18	16,56	2,898550725	172	
pz-07-0017	CLARA FEY No. 2	155	102271,993	88172,863	Q	4,49	15,19	23,08	0,569074778	106	4,41666666
pz-07-0020	CONSULTECNICA	64	102.744.026	88.576.752	Q	0,6	17	17,7	0,857142857	39	
pz-08-0020	LAVAUTOS LA 65	98	102083,824	93347,582	Q	0,3	22,32	25,74	0,087719298	8,2	0,54666666
pz-08-0023	LAFAYETTE 1	513	105871,010	93901,460	Q	26,93	53,11	64,86	2,291914894	373	
pz-08-0032	CLINICA NUESTRA SEÑORA DE LAPAZ No. 1	126	104638,441	94510,494	Q	1,68	29,43	35,37	0,282828283	31	
pz-13-0005	MULTILAVADO LA 45	74	104.132.013	100.308.382	Q	0,44	15,44	27,8	0,035598706	9	0,75
pz-13-0006	ESTACION MOBIL TEUSAQUILLO	75	103035,558	100176,997	Q	0,32	12,35	15,57	0,099378882	1,2	
pz-14-0004	HERMANAS DOMINICAS PRESENTACION	180	102.000.000	99.480.000	Q	3,2	38,1	46,25	0,392638037	29	
pz-19-0005	FRIGORIFICO GUADALUPE No. 1	134	99655,000	91805,000	Q	14,9	23,87	26,39	5,912698413	1432	

PROF: Profundidad; Q: Caudal; NE: Nivel Estático; ND: Nivel Dinámico, CE: Capacidad Especifica; T: Transmisividad, K: Conductividad hidráulica
Fuente: "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

De la información relacionada en la Tabla 5.2.1-118 se destaca que aunque los pozos de captación de agua subterránea localizados en el área de influencia indirecta cuentan con profundidades comprendidas entre 64 y 513 m, tan solo dos (pozos General Motors y Parque Tunal) localizados al sur de la ciudad, captan acuíferos conformados por rocas del Grupo Guadalupe, el resto, a pesar de sus profundidades, tan solo captan niveles permeables de la Formación Sabana y del Complejo de Conos respectivamente. En estos pozos los niveles estáticos medidos se encontraron desde 12,35 m hasta 53,11 m y los niveles dinámicos entre 15,57 m y 64,86 m de profundidad. Este inventario no incluye pozos saltantes o artesianos.

Los coeficientes de almacenamiento y las transmisividades presentan valores muy variables. Los coeficientes de almacenamiento presentan valores comprendidos entre 0,035598706 y 8,06122449 y las transmisividades entre 1,2 y 1432 m²/día.

De igual manera se establece con base en el inventario de pozos de agua subterránea del estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013), que en el área de influencia directa (AID) no se encuentran pozos para la captación y extracción de agua subterránea. Se deduce del inventario igualmente, que a lo largo del trazado del proyecto de la PLMB, no se encuentran pozos saltantes.

5.2.1.16 Hidrogeología

Los objetivos del estudio hidrogeológico de la PLMB incluyen la definición y descripción de los tipos de acuífero, la identificación de las zonas de recarga y descarga, las direcciones de flujo y la caracterización hidro-geoquímica del agua subterránea, la determinación de niveles piezométricos a lo largo de la traza de la PLMB, la definición de la interconexión de los acuíferos con las fuentes superficiales de agua, la definición de los acuíferos que serán afectados por las obras de la PLMB y la vulnerabilidad de estos acuíferos a la contaminación por su construcción y operación.

La primera línea del metro de Bogotá es una estructura lineal de 23,86 km de longitud, situado en su totalidad sobre los materiales cuaternarios de la Sabana de Bogotá, la cual corresponde a la expresión morfológica de un extenso relleno fluvio-lacustre cuaternario, con un espesor máximo del orden de los 400 m, dispuesto sobre un substrato de rocas sedimentarias plegadas del Paleógeno, Neógeno y Cretácico, que afloran en los cerros que bordean la Sabana de Bogotá y en los cerros que se encuentran incluidos dentro de ella.

El relleno fluvio-lacustre de la Sabana conforma un gran acuífero superficial, libre y semiconfinado, con una interconexión no bien conocida entre los distintos niveles acuíferos constituidos por niveles permeables de las unidades pre-cuaternarias que le infra-yacen.

Este estudio se realiza con información hidrogeológica de la Sabana de Bogotá, que incluye descripciones de los acuíferos, definición de zonas de recarga y descarga, direcciones de flujo, valores de parámetros hidráulicos del acuífero cuaternario y características hidro-geoquímicas del agua subterránea, entre otros.

5.2.1.16.1 *Área de influencia indirecta*

Con base en el mapa geológico actualizado y las descripciones de las unidades lito-estratigráficas, se determinaron los tipos de acuífero y se agruparon diferentes formaciones de acuerdo a sus características hidráulicas, para obtener así los sistemas acuíferos (Ver Anexo 5.2.1.12 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0004_RA)

5.2.1.16.2 Tipos de acuíferos

Los tipos de acuíferos determinados a partir de las características litológicas de las unidades lito-estratigráficas presentes en el All son:

- Acuífero Coluvial (Acqc)

Acuífero libre, de extensión local, de flujo intergranular, de muy baja productividad, conformado por depósitos coluviales matriz-soportados.

- Acuífero Sabana (Acqs)

Acuífero discontinuo de extensión regional, de flujo intergranular, de baja productividad, con capacidad específica comprendida entre 0,05 y 1,00 l/s/m, conformado por el depósito fluvio-lacustre de la Sabana, el cual comprende una secuencia de arcillas y limos con intercalaciones de arenas y gravas, que hacen parte del Complejo de Conos, la Formación Sabana y los Depósitos de Llanura de Inundación, de espesor variable, bajo en inmediaciones a la zona montañosa y alcanzando un máximo del orden de los 320 m en el área de Funza, Mosquera y Madrid. En las perforaciones ejecutadas en el trazado de la PLMB, el basamento del depósito cuaternario, conformado por arcillolitas de la Formación Bogotá. Los niveles permeables de arenas y gravas almacenan agua recomendable para cualquier uso y pueden aportar caudales entre 1 l/s a 5 l/s, dependiendo del número que se atraviesen. Este acuífero es el de mayor explotación en el área de estudio.

- Acuífero Bogotá (Atpb)

Acuífero de extensión regional, conformado por una secuencia de 720 m de espesor de arcillolitas con algunas intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas de la Formación Bogotá. Los niveles de arenisca pueden constituir acuíferos con limitados recursos de agua subterránea, de muy baja productividad, con capacidad específica promedio menor de 1,00 l/s/m, que pueden producir agua que requieren tratamiento para su uso, en caudales del orden de 2 l/s.

A pesar que la Formación Bogotá contiene niveles permeables de muy baja productividad, se considera o cataloga como acuífero, ya que está constituida predominantemente por arcillolitas, que forman un sustrato impermeable.

- Acuífero Cacho (Acpc)

Acuífero discontinuo de extensión regional, de baja productividad, con capacidad específica comprendida entre 0,05 y 1,00 l/s/m, conformado por una secuencia de aproximadamente 120 m de espesor de areniscas amarillas a rojizas de grano grueso a conglomerático, muy friables, con intercalaciones de arcillolitas de la Formación Cacho, que puede aportar caudales comprendidos entre 3 l/s a 9 l/s, de agua apta para riego y consumo humano previo tratamiento para el hierro.

- Acuífero Guaduas (Ackpg)

Acuífero continuo de extensión regional, de bajo rendimiento, conformado por una secuencia de arcillolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y mantos de carbón de la Formación Guaduas. El conjunto medio de esta formación, conformado por fundamentalmente por areniscas con intercalaciones de arcillolita, puede constituir acuíferos con limitados recursos de agua subterránea, de muy baja productividad, con capacidad específica promedio menor del 0,05 l/s/m, que puede aportar agua en caudales comprendidos entre 1 l/s a 3 l/s.

Aunque la Formación Guaduas contiene en su parte media, niveles permeables, se le considera o cataloga como acuitado, ya que está constituida predominantemente por arcillolitas, que forman un sustrato impermeable.

5.2.1.16.3 *Sistemas acuíferos*

En el área de influencia indirecta se diferencian dos sistemas acuíferos: el Sistema Acuífero Cuaternario con flujo esencialmente intergranular y el Sistema Acuífero con Limitados Recursos de Agua Subterránea. De los dos, el de mayor importancia para el área de estudio, es el Sistema Acuífero Cuaternario (Figura 5.2.1-78 y Anexo 5.2.1.12 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0004_RA).

- Sistema Acuífero Cuaternario con flujo esencialmente intergranular (Sa-fi)

Sistema acuífero discontinuo de extensión regional y local, conformado por depósitos cuaternarios de ambiente fluvio-lacustre, de montaña y de ladera, al igual que rocas sedimentarias paleógenas y neógenas (terciarias). Son acuíferos de productividad alta a baja, capacidad específica promedio entre 0,05 y 1,0 l/s/m, con transmisividad del orden de 1 a 1400 m²/día, con flujo de agua esencialmente intergranular, que produce agua recomendable para cualquier uso, con caudales de hasta 5 l/s.

Este sistema acuífero constituido por el depósito cuaternario diferenciado en Formación Sabana, Complejo de Conos y depósitos de coluvión, al igual que por rocas sedimentarias detríticas del miembro medio de la Formación Guaduas y de la Formación Cacho. La Formación Sabana y el Complejo de Conos están conformados por una secuencia de arcillas y limos con intercalaciones lenticulares de arenas y gravas, cuyo espesor conjunto es variable, alcanzado localmente los 400 m. El miembro medio de la Formación Guaduas está conformado por areniscas y la Formación Cacho por areniscas y areniscas conglomeráticas (Figura 5.2.1-78 Anexo 5.2.1.12 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0004_RA).

- Sistema acuífero con limitados recursos de agua subterránea (Sa-Lras)

Conformado por las secuencias de arcillolitas de las formaciones Guaduas y Bogotá respectivamente, con limitados recursos de agua subterránea, de muy baja a nula productividad, con capacidad específica comprendida entre 0,05 y 1,0 l/s/m, con flujo esencialmente intergranular, que almacenan agua que requiere tratamiento para su uso y localmente agua recomendable para cualquier uso (Figura 5.2.1-78 y Anexo 5.2.1.12 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0004_RA)

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

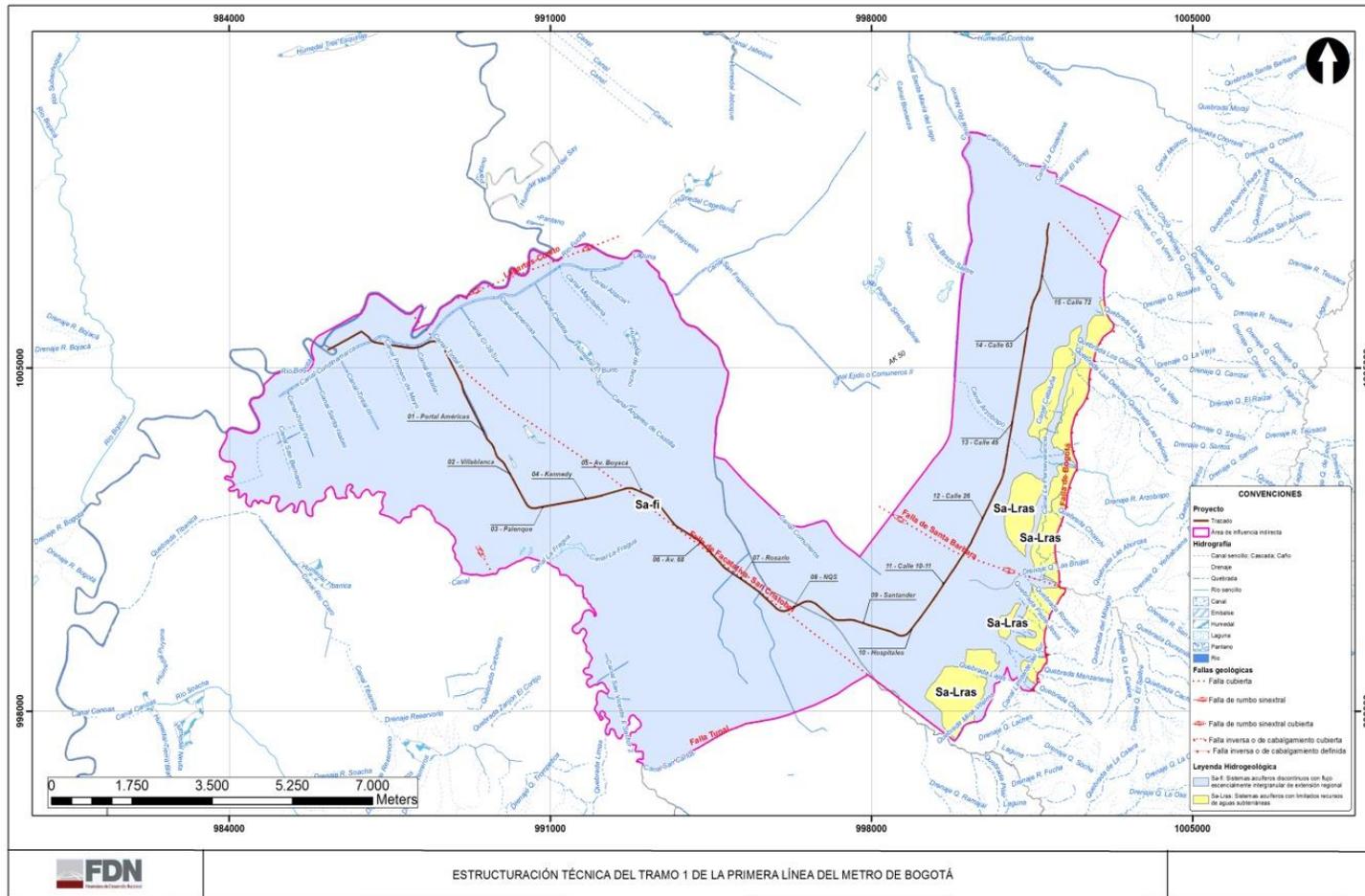


Figura 5.2.1-78 Mapa hidrogeológico del área de influencia indirecta

5.2.1.16.4 Zonas de recarga y descarga

Parte de la recarga del Acuífero Sabana viene por goteo lento a través de las capas semi-confinantes de arcilla. Originalmente la recarga a dichos acuíferos, genéticamente relacionados con los ríos y quebradas del piedemonte, era directa, a partir de la infiltración en las partes altas de los abanicos. Con la progresiva urbanización y el recubrimiento de materiales impermeables, esta recarga se hizo cada vez más difícil.

La Secretaría Distrital de Ambiente ha adelantado estudios para la determinación de la recarga potencial y las zonas de mayor recarga en el Distrito Capital, a partir del cálculo de la infiltración real y descontando la escorrentía superficial, con base en información hidro-climatológica. Es así que en el estudio denominado “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (en Secretaría Distrital de Ambiente, 2013, se estimó la recarga potencial mediante el análisis temporal y espacial de series de históricas de lluvias, temperatura, evapotranspiración y caudales en los cauces de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre, usando un modelo que involucra la pendiente y la permeabilidad del terreno, al igual que el tipo de cobertura.

El balance hídrico permite encontrar el sobrante o déficit de agua en superficie, comparando la evapotranspiración y la precipitación neta, teniendo en cuenta la reserva útil del suelo, que depende de la textura y el espesor del suelo. En el balance hídrico, las entradas menos las salidas de agua, son equivalentes a la cantidad potencial de agua que pudiera ingresar a los acuíferos mediante infiltración. Las entradas de agua corresponden a la precipitación media mensual y las salidas al volumen de escurrimiento y la evapotranspiración. El volumen de escurrimiento es calculado a partir de los datos de caudal en cada una de las cuencas. El cálculo de la recarga potencial se realiza usando la ecuación empírica de Cheeturvedi (Sinha y Sharma 1998; en Secretaría Distrital de Ambiente, 2013). La recarga potencial en milímetros por año (mm/año) para el Distrito se muestra en la Figura 5.2.1-79.

Se obtiene en el estudio en referencia de la Secretaría Distrital de Ambiente (2013), que la mayor recarga potencial se presenta en los Cerros Orientales y Surorientales de Bogotá, especialmente en las partes altas de las cuencas de los ríos Fucha y Tunjuelo, con valores superiores a los 200 mm/año. En la zona de los humedales Juan Amarillo y Jaboque, los más grandes del Distrito Capital, la recarga potencial se encuentra entre 10 y 100 mm/año. En las partes media y baja del río Tunjuelo y en la parte baja del río Fucha, se obtuvieron valores negativos de recarga potencial, comprendidos entre -50 a -200 mm/año, indicando que en esta zona no se presenta recarga potencial. De esta forma fueron obtenidos valores aproximados de la infiltración real media anual, entre valores cercanos a cero para la zona plana arcillosa, hasta valores de 200 a 250 mm/año en las zonas permeables montañosas.

5.2.1.16.5 Direcciones de flujo

Para evaluar los niveles del agua subterránea en el Acuífero Cuaternario, en el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, de la Secretaría Distrital de Ambiente (2013), se tuvo en cuenta los niveles de precipitación registrados durante el periodo comprendido entre 1999 a 2010, realizando mapas de isopiezas mes a mes, año a año, época de alta y de baja precipitación, promedios de alta y baja precipitación y promedio del comportamiento total multianual desde 1999 a 2010 (Figura 5.2.1-80, Figura 5.2.1-81 y Figura 5.2.1-82).

La evolución de los niveles piezométricos desde 1999 hasta el año 2010 muestra que:

- En el sector de Puente Aranda, desde 1999 hasta el año 2000, no se presentó ninguna evolución favorable o desfavorable en el comportamiento de los niveles piezométricos.
- Del año 2001 al 2010 en el sector de Puente Aranda se han venido reflejando descensos del orden de 5 a 10 metros aproximadamente, esto debido a que las captaciones han aumentado;
- Las fluctuaciones en las zonas más próximas al complejo industrial de Bogotá se han visto afectadas como sucede en el sector de Kennedy, que desde 1999 a 2010, han presentado descensos del orden de 20 metros y en el sector de Fontibón descensos del orden de 12 metros, con algunos ascensos en los últimos años.
- El sector norte de Bogotá no presenta mayores fluctuaciones y se evidencian comportamientos estables.
- En el sector sur de la localidad de Ciudad Bolívar se evidencian descensos de pocos metros, pero al occidente de los cerros del sur, en el pozo de PROTABACO se presenta un incremento del nivel piezométrico debido a que la demanda ha disminuido sustancialmente.
- En la localidad de Bosa y de Suba se presentan pequeñas fluctuaciones con algunos ascensos y descensos menores.

La dirección del flujo del recurso hídrico subterráneo en el Acuífero Cuaternario, obedece principalmente a condiciones antrópicas. El agua subterránea tiene una dirección general de este a oeste, es decir, desde los Cerros Orientales hacia el río Bogotá.

De la calle 100 a la calle 15 sur, el agua subterránea fluye de los Cerros Orientales al complejo industrial de Puente Aranda, debido a la gran demanda del recurso hídrico subterráneo. Parte del agua subterránea de Puente Aranda, en inmediaciones del Barrio Galán, fluye de Este a Oeste hacia las industrias del Sur de Bogotá en la localidad de Bosa.

Al noroccidente y occidente de la ciudad, en las localidades de Engativá y Fontibón, el agua subterránea tiene una dirección de Este a Suroeste, debido a la influencia de la gran demanda de las industrias presentes en el área de Fontibón. También se observa una dirección natural con tendencia hacia el humedal de Capellanía.

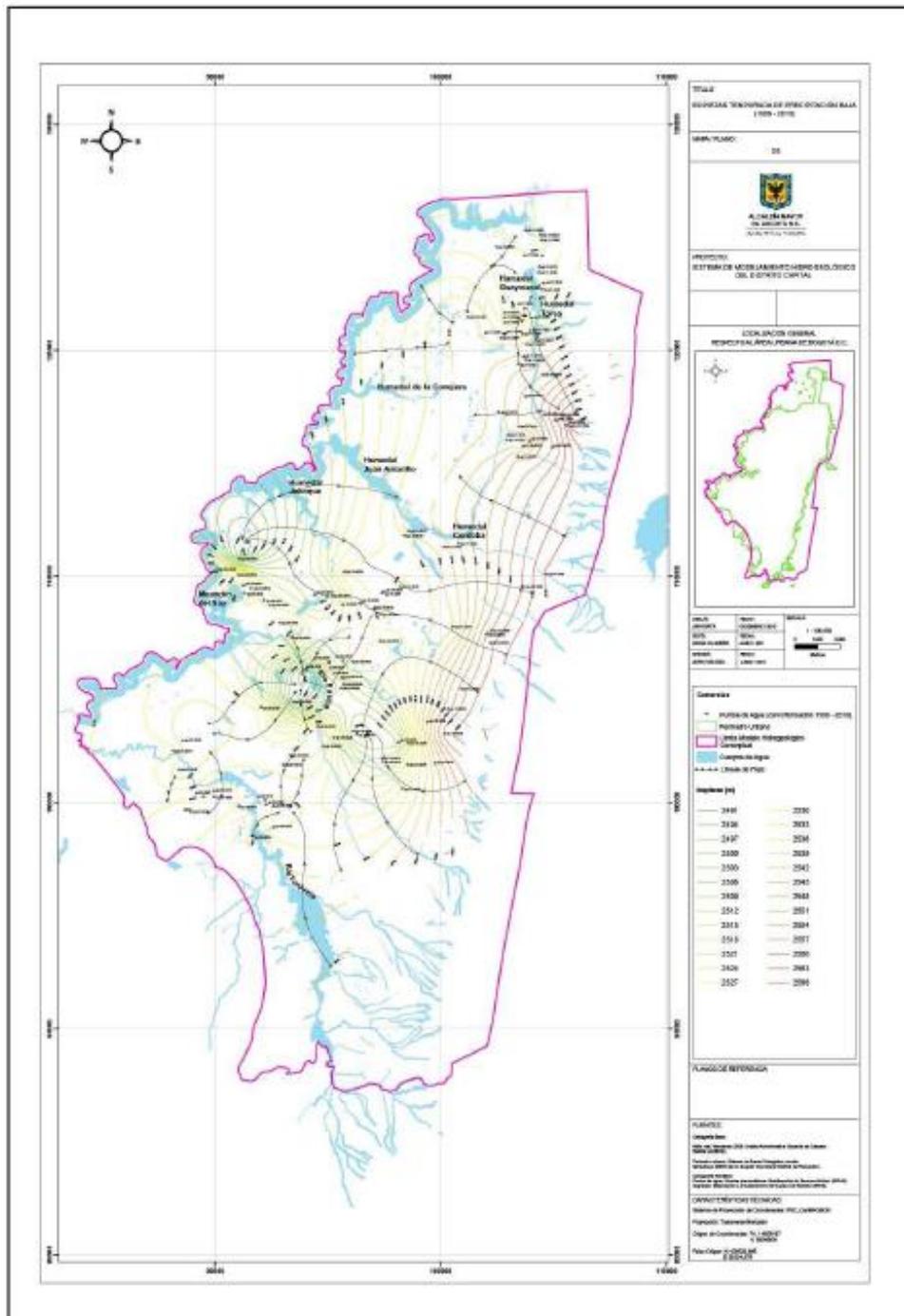


Figura 5.2.1-80 Mapa de isopiezas en temporadas de baja precipitación durante el periodo 1999-2010.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

5.2.1.16.6 Información Geofísica

Para determinar las características hidrogeológicas de la Sabana de Bogotá se tomó la información geofísica contenida en el informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, de la Secretaría Distrital de Ambiente (2012), relacionada con sondeos eléctricos verticales (SEV’s), gravimetría, sísmica y sondeos magneto telúricos con el propósito fundamental de determinar el espesor del depósito cuaternario y la presencia dentro de este de niveles permeables saturados, con posibilidades acuíferas. De igual manera se han usado métodos geofísicos como la sísmica de reflexión para definir el techo del basamento pre-cuaternario, estableciendo si es terciario (del Paleógeno-Neógeno) o cretácico y las estructuras que lo afectan.

En el proyecto del Metro subterráneo también se realizaron mediciones de la resistividad con el propósito de definir la litología predominante en los sitios de las estaciones.

- Geoeléctrica

En el área de la Sabana de Bogotá se han realizado estudios a nivel local y regional usando el método geoeléctrico para identificar los espesores y las resistividades de las diferentes capas que conforman el subsuelo, con el propósito de determinar potenciales zonas acuíferas. En el informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” de la Secretaría Distrital de Ambiente (2012), se hace referencia a treinta (30) sondeos eléctricos verticales (SEV’s) ejecutados en el área de la Sabana de Bogotá comprendida entre el río Bogotá, los cerros orientales, los cerros del sur y el río Tunjuelo, para identificar los espesores y las resistividades de las diferentes capas que conforman el subsuelo. De los 30 sondeos realizados, solo siete (SEV’s 14, 15, 17, 26, 28, 29 y 30) se localizan en el All definida para el componente geosférico, cuyas localizaciones en coordenadas del Sistema de referencia Gauss Kruger, con origen en el Observatorio Astronómico de Bogotá, la abertura AB (entre electrodos de corriente) y profundidad de investigación se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.1-119 Localización de sondeos eléctricos verticales (SEV’s) en la Sabana de Bogotá (Sistema de referencia Gauss Kruger, con origen en el Observatorio de Bogotá)

SEV	Coordenada X (mN)	Coordenada Y (mE)	Abertura(AB)	Profundidad investigada(m)
14	1008642	1001200	800	400
15	1008489	1001955	660	330
17	1003688	1000262	600	300
26	997244	993820	1000	500
28	998303	996185	650	325
29	997700	996550	500	250
30	997952	996929	500	250

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente; 2013)

Los resultados de la interpretación geoeléctrica siguiendo el algoritmo de Schlumberger, del estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente; 2013) se presenta en la Tabla 5.2.1-120.

Tabla 5.2.1-120 Resultados de la interpretación Geoeléctrica

		Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5	Capa 6	Capa 7
SEV-14	Resistividad	74,4	364	21,3	4,7	7,3	13	
	Espesor	0,3	0,5	11,6	12,1	62,1	>313,4	
	Profundidad	0,3	0,8	12,4	24,5	86,6	>400	
SEV-15	Resistividad	98,7	14,3	23	16,3	21,9	9,9	32
	Espesor	1,5	5,4	12,9	23,2	50,1	112	>125
	Profundidad	1,5	6,9	19,8	43,0	93,1	205,1	>330
SEV-17	Resistividad	558	76,6	45,9	89,3	20,2	51,9	22,1
	Espesor	0,2	2,4	7	20,2	38,2	183	>49
	Profundidad	0,2	2,6	9,6	29,8	68,0	251,0	>300
SEV-26	Resistividad	77,4	23,3	37,8	26,3	125	72,8	106
	Espesor	0,5	1,2	2,1	14,9	164	149	>168
	Profundidad	0,5	1,7	3,8	18,7	182,7	331,7	>500
SEV-28	Resistividad	82,7	18,2	135	17,7	30,9		
	Espesor	0,5	4	5,5	248	>67		
	Profundidad	0,5	4,5	10,0	258,0	>325		
SEV-29	Resistividad	407	16,2	9	39,6	22,4	49,1	2,1
	Espesor	0,2	1,6	3,4	3,5	62,6	32,3	>146
	Profundidad	0,2	1,8	5,2	8,7	71,3	103,6	>250
SEV-30	Resistividad	177	20,4	58,3	34,6	16,2	105	46,8
	Espesor	0,4	2,5	5,1	26,4	55,5	124	>36
	Profundidad	0,4	2,9	8,0	34,4	89,9	213,9	>250

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente; 2013)

Para la interpretación de las resistividades obtenidas, fueron establecidos varios rangos de resistividad:

- Niveles arcillosos: resistividades de 5 a 20 Ohmm.
- Arcilla arenosa: resistividades de 20 a 45 Ohmm
- Arena arcillosa: resistividades de 45 a 70 Ohmm.
- Arenas saturadas: resistividades de 70 a 180 Ohmm
- Material seco: resistividades mayores de 180 Ohmm

La interpretación presentada en el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente; 2013) de los valores de resistividad muestra que el depósito fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá es de espesor variable y está constituido fundamentalmente por una secuencia de arcillas y arcillas arenosas, con resistividades bajas comprendidas entre 5 y 45 ohmm, con intercalaciones de arenas arcillosas con resistividades de 45 a 70 ohmm, al igual que intercalaciones de arenas y gravas saturadas con resistividades de 70 a 180 ohmm. Se considera adicionalmente, que las resistividades por encima de 30 ohmm, indican la presencia de arcilla arenosa o de arena con posibilidades acuíferas. Las resistividades por encima de 180 ohmm pueden corresponder a basamento rocoso sin posibilidades acuíferas.

El estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” hace referencia a varias secciones geoeléctricas, pero no incluye los gráficos.

También fue realizada por parte de CODENSA por intermedio de la firma ESOLUTIONS LIMITADA (2014), la medición de la resistividad de los terrenos donde se proyectaron las 27 estaciones y 4 subestaciones del proyecto Metro subterráneo, mediante sondeos cortos y aplicando el método de Wenner. Para el caso de las áreas asignadas a subestaciones se realizaron mediciones de los

valores de resistividad a distancias de separación entre electrodos entre 1 m y 5 m con una profundidad de las picas del arreglo de 15 cm. Para el caso de las áreas asignadas a las estaciones se realizaron mediciones de resistividad con separación entre electrodos de 1 m a 32 m con una profundidad de las picas entre 15 cm y 30 cm según las necesidades del método y las condiciones propias del terreno bajo prueba (ESOLUTIONS LIMITADA, 2014).

Los valores de resistividad de la capa superior (p_1), profundidad de la capa superior (h), resistividad de la capa inferior (p_2) y coeficiente de reflexión (K), obtenidos para las estaciones localizadas sobre la Avenida Villavicencio, Avenida 1° de Mayo, NQS, Calle 8ª Sur y Avenida Calle 1ª, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 5.2.1-121 Resumen de resultados del modelo de dos capas para puntos medidos en las estaciones

Punto de medida	p_1	p_2	h	k
ER01 - Portal Américas	168	24	0,9	-0,84
ER02 - Casablanca	72	33	1,38	-0,41
ER03 - Villavicencio	79	53	0,74	-0,3
ER04 - Palenque	73	19	5,45	-0,59
ER05 - Kennedy	56	43	0,79	-0,19
ER06 - Boyacá	161	48	1,56	-0,57
ER07 - Primera de Mayo	149	25	1,59	-0,74
ER08 - Avenida 68	50	27	0,85	-0,41
ER09 - Rosario	22	44	1,51	0,36
ER10 - NQS	73	38	1,33	-0,35
ER11 - Santander	220	14	4,22	-0,89
ER12 - Nariño	281	14	1,3	-0,92
ER13 - Hortúa	34	77	5,85	0,39

Fuente: ESOLUTIONS LIMITADA (2014)

A partir de los resultados obtenidos se concluyó que:

- En general las resistividades de la capa superior en las áreas de las estaciones tienen valores entre 22 Ohm-m y 281 Ohm-m, que corresponde a terrenos del tipo areno arcilloso, con excepción de los ubicados cerca a las estaciones Rosario y Hortúa, donde las resistividades fueron inferiores a 45 Ohm-m y corresponden a terrenos limosos.
- Las resistividades de la segunda capa presentan valores comprendidos entre 14 Ohm-m y 77 Ohm-m, correspondientes a terrenos arcillosos, arcillo arenosos, arcillo limosos, areno arcillosos y arenosos.
- Los resultados indican que el coeficiente de reflexión fue negativo en la mayoría de las áreas de las estaciones, indicando que la capa inferior es de menor resistividad.
- El espesor promedio de la primera capa es de 2,2 m, con valores máximos de 5,85 m y mínimos de 0,74 m.
- No se pueden generalizar los valores de resistividad obtenidos, por lo que se recomienda complementar estas mediciones con los análisis de suelos y generar diseños individuales para cada estación según sus propias condiciones.

- En general el comportamiento de las resistividades del terreno en áreas de las subestaciones son inferiores a 186 Ohm-m y superiores a 20 Ohm-m lo que corresponde a terrenos de arena arcillosa.

Se aclara en el informe de ESOLUTIONS LIMITADA (2014) que los resultados fueron obtenidos bajo condiciones secas del terreno, por lo que consideran valores representativos de las condiciones más resistivas del terreno.

En el informe de ESOLUTIONS LIMITADA (2014) se indica que aunque fueron obtenidos valores de resistividad comprendidos entre 20 y 480 Ohm-m, es necesario hacer mediciones recurriendo a arreglos que permitan diferenciar más de dos capas geoelectricas, ya que no se puede generalizar un único valor de resistividad para todo el trazado del Metro y enfatiza que los resultados se obtuvieron bajo condiciones secas del terreno, por lo que los valores obtenidos se consideran valores representativos de las condiciones más resistivas del terreno. Este informe incluye las curvas de resistividad aparente, más no las secciones geoelectricas, ya que además indica que los resultados obtenidos están sujetos a verificación.

A partir de sondeos eléctricos verticales ejecutados en la Sabana de Bogotá, se han realizado mapas de iso-resistividad, para inferir el espesor y la litología del depósito cuaternario, con el fin de determinar zonas promisorias para la exploración de aguas subterráneas. La firma HIDROGEOCOL realizó en el año 1999, partir de sondeos eléctricos verticales, un mapa de iso-resistividad a profundidades de 50, 100 y 250 metros (en Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, Secretaría Distrital de Ambiente, 2013). Los resultados de la interpretación de estos sondeos indican que:

- En los sectores cercanos a los cerros el Cuaternario presenta poco espesor.
- Valores bajos de resistividad se presentan al occidente y áreas alejadas de los Cerros Orientales, en inmediaciones de los cauces de los ríos Bogotá, Fucha y Juan Amarillo, interpretándose como un cuaternario arcilloso.
- Entre los Cerros Orientales y el Cerro de Suba, también se presentan bajos valores de resistividad, interpretándose como correspondientes a un material arcilloso.
- En la zona de Quiba y Cazucá, siguiendo el cauce del río Tunjuelo, las resistividades son del orden de 20 a 50 ohm-m, en la parte baja del río, correspondiente a un material arcilloso arenoso, y con resistividades de 100 a 150 ohm-m, en la parte alta, donde se explotan las gravas y arenas del río.

Las resistividades por encima de 200 ohm-m se interpretan como correspondientes al basamento rocoso sobre el cual se apoya el depósito cuaternario de la Sabana de Bogotá.

En el estudio de la Secretaría Distrital de Ambiente (Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá, 2013), no se incluye el mapa de iso-resistividad en referencia.

- Método CSAMT

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la firma JICA (2003 -2006) han adelantado estudios usando el método CSAMT (Controlled Source Audio Magneto Telluric) en la Sabana de Bogotá (“Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, Secretaría Distrital de Ambiente, 2012), en los cuales se aplican los siguientes criterios:

- La resistividad eléctrica del Cuaternario es menor de 30 Wm
- La resistividad eléctrica del Terciario es menor de 50 Wm
- La resistividad eléctrica del Cretáceo es mayor de 50 Wm

Los valores de la resistividad en las formaciones geológicas son diferentes, incluso dentro de la misma formación, dependiendo del contenido de material arcilloso y si estuviera seco o saturado. Por lo tanto, es imposible tomar un valor de resistividad único para una formación específica.

En el área ubicada al sur de Bogotá y norte del municipio de Soacha sobre la Formación Bogotá, de acuerdo con el resultado del sondeo CSAMT, la parte superficial del suelo (por encima de los 250 m de profundidad) tiene una resistividad variable y valores menores a 10 Wm, estos están distribuidos en forma continua desde los 250 m hasta por lo menos 1.200 m de profundidad. Esta unidad parece ser Terciaria y Cuaternaria. Por lo tanto, se asume que el Grupo Guadalupe se distribuye, por lo menos, a una profundidad mayor a los 1.200 m del nivel del suelo.

El área ubicada al norte de Bogotá y el municipio de Chía, de acuerdo con los resultados de los sondeos CSAMT, altas resistividades de formaciones superiores a 80 Wm, se distribuyen en espesores de más de 1000 metros; esta formación parece corresponder al Grupo Guadalupe. Los mapas geológicos existentes muestran a la formación cretácica hundiéndose debido a la presencia de fallas.

Los resultados del CSAMT muestran que dicho hundimiento está alrededor de los 250 metros.

- Gravimetría

Con el fin de estimar el espesor del depósito cuaternario de la Sabana de Bogotá, en el estudio de “Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá” (INGEOMINAS y Universidad de Los Andes, 1997) se adelantó una campaña para determinar la anomalía gravimétrica en la región donde se localiza la ciudad, mediante el levantamiento de más de 370 estaciones gravimétricas. El mapa de anomalía gravimétrica se muestra en la Figura 5.2.1-83

Se estimó mediante este método, que en la zona comprendida entre los cerros de Cota y de Suba, el espesor del depósito es del orden de 500 m y entre los cerros de Suba y los Cerros Orientales de Bogotá es del orden de 240 m. Se pudo verificar mediante la perforación exploratoria “Bilbao”, realizada en Suba, que el depósito cuaternario entre los cerros de Cota y de Suba, presenta un espesor de 520 m, muy similar al estimado mediante el método geofísico.

El mapa de anomalía gravimétrica residual igualmente muestra que además de la zona comprendida entre los cerros de Cota y de Suba, en la zona de Funza, Madrid, Mosquera y Faca, el depósito cuaternario de la Sabana de Bogotá, también muestra un gran espesor, que disminuye hacia el oriente. Perforaciones ejecutadas entre Funza y Tenjo han atravesado más de 300 m del depósito cuaternario, en tanto que una perforación ejecutada en la Ciudad Universitaria, mostró un espesor de 203 m.

En las perforaciones SP-3, SP-4, SP-5, SP6, PT-CLL10-03, PT-PLMB-VDT-07, PT-CLL45-01, PT-CLL45-03, PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL63-01, PT-CLL63-03, PT-PLMB-VDT-11 y PT-PLMB-VDT-12 ejecutadas para el proyecto Metro, también fue alcanzado el basamento rocoso del depósito cuaternario de la Sabana de Bogotá, conformado en este caso por rocas de la Formación Bogotá. Las profundidades de las perforaciones y el espesor del depósito cuaternario o profundidad del basamento rocoso.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-122 Relación de perforaciones ejecutadas en el proyecto, donde fue alcanzado el basamento del depósito cuaternario de la Sabana

Perforación	Localización	Profundidad Perforación	Espesor depósito Cuaternario	Substrato rocoso
SP-3	SENA – Av 1° de Mayo-NQS	306,00	299,30	Fm Bogotá
SP-4	CAI – Carrera 11 – Calle 77	130,00	117,50	Fm Bogotá
SP-5	Parque - Calle 106 – entre Carreras 13 A y 14	176,80	166,00	Fm Bogotá
SP-6	Campo de futbol - Instituto Pedagógico Nacional	140,50	124,00	Fm Bogotá
PT-CLL10-03	Avenida Caracas	66,00	57,50	Fm Bogotá
PT-PLMB-VDT-07	Avenida Caracas	44,70	42,00	Fm Bogotá
PT-CLL45-01	Avenida Caracas	47,50	40,60	Fm Bogotá
PT-CLL45-03	Avenida Caracas	41,40	35,15	Fm Bogotá
PT-PLMB-VDT-09	Avenida Caracas	31,40	28,00	Fm Bogotá
PT-CLL63-01	Avenida Caracas	60,00	54,10	Fm Bogotá
PT-CLL63-03	Avenida Caracas	63,20	53,00	Fm Bogotá
PT-PLMB-VDT-11	Avenida Caracas	57,00	52,00	Fm Bogotá
PT-PLMB-VDT-12	Avenida Caracas	75,80	65,70	Fm Bogotá

Desde el punto de vista hidrogeológico, es conveniente conocer o estimar el espesor del depósito cuaternario, ya que entre mayor sea este, mayor es la posibilidad de encontrar intercalaciones de arenas y gravas saturadas de agua, que brindan la posibilidad de ser aprovechadas como fuentes de agua subterránea.

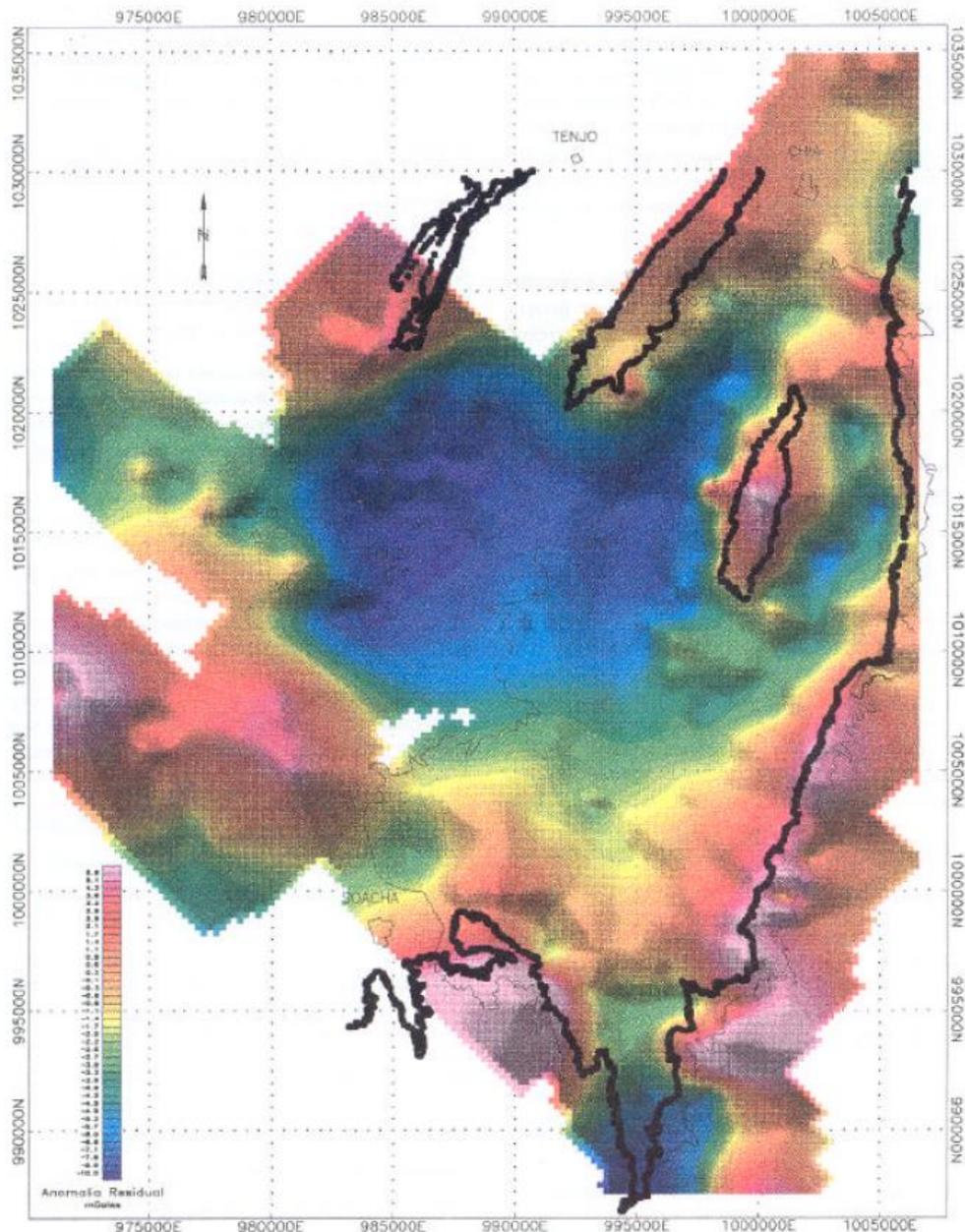


Figura 5.2.1-83 Mapa de anomalía residual

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Sísmica de reflexión

En la Sabana de Bogotá también se han adelantado programas de exploración sísmica para definir la profundidad del basamento pre-cuaternario y las estructuras que lo afectan, como el J-78 JUICA de ECOPEPETROL, para exploración de hidrocarburos, el “Estudio Geofísico e Hidrogeológico en la Planta de INDEGA-PANAMCO en Santa Fe de Bogotá D.C” y el estudio de “Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

La interpretación de la línea del proyecto J-78 JUICA indica:

- Que el techo del Cretácico se encuentra a 670 m de profundidad, en cercanías de la margen occidental del río Bogotá.
- Que en inmediaciones de la intersección de la Autopista a Medellín y la vía Cota-Funza, se presenta un fallamiento de tipo inverso importante, que posiblemente afecta a la Formación Tilatá.
- En general se aprecian fallas transversales a la dirección de la línea sísmica, que indican hundimientos de todas las formaciones, lo cual evidencia que a través del tiempo la zona ha sido expuesta a una tectónica de bloques controlados por fallamientos fuertes.

De igual manera se usó la sísmica de reflexión para determinar el espesor del depósito cuaternario y las estructuras que afectan el basamento rocoso terciario, en aquellas zonas donde este se encuentra poco profundo, al inicio y al final del trazado de la primera línea del Metro subterráneo, llegando hasta una profundidad de 500 m (Ulloa-Ocsa de Colombia UT, 2014).

En este estudio realizado por Ulloa-Ocsa de Colombia UT (Unión Temporal) para el CONSORCIO L1, fueron realizadas dos líneas sísmicas en un predio ubicado en el sector de la Carrera 9 con Calle 27 (al norte de la ciudad) y una línea en el predio donde se proyectó el Portal Américas (al sur de la ciudad). En el extremo occidental de la línea sísmica de dirección EW, ejecutada al norte de la ciudad, se detectó que el depósito cuaternario alcanza un espesor máximo de 141 m y adicionalmente la presencia de una falla inversa (de cabalgamiento) que estaría fosilizada por el depósito cuaternario más reciente y que podría corresponder a la Falla Bogotá.

En la línea sísmica ejecutada al sur de la ciudad se detectó que el espesor del Cuaternario varía entre 158 y 290 m y que las rocas terciarias subyacentes se encuentran afectadas por una falla de cabalgamiento.

En los estudios de geología de la Sabana de Bogotá, no se indica que las fallas cuyas trazas se encuentran fosilizadas por los depósitos cuaternarios diferenciados en Formación Sabana, Complejo de Conos y Depósitos de Llanura de Inundación, sean activas y que por tanto hayan afectado el depósito. Normalmente se indica, que para determinar la actividad reciente de alguna de las fallas cuyas trazas se encuentran cubiertas por los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá, como es el caso de la Falla Bogotá, se requiere de estudios especializados, pues no hay evidencias en superficie, que indiquen que los depósitos cuaternarios han sido afectados por tal actividad.

- Sísmica pasiva

La distribución de espesores de suelos a lo largo de la traza de la PLMB (subterráneo), al igual que la composición y la consistencia del depósito cuaternario se intentó definir mediante la diferencia de velocidades usando el método REMI.

La sísmica pasiva presenta una profundidad de interpretación de unos 35 m y permite ver el contacto del depósito cuaternario y el basamento rocoso terciario, en aquellas zonas donde este se encuentra poco profundo, así como la diferencia de velocidades entre niveles de diferente composición y consistencia del depósito cuaternario, así como la posible definición de zonas de falla.

Con el propósito de determinar las propiedades geo-mecánicas de los materiales del subsuelo sobre los cuales se emplazarían las obras del Proyecto Metro (subterráneo), el CONSORCIO L1 contrató en el año (2014 con la Unión Temporal Ulloa-Ocsa de Colombia UT, la realización de un estudio aplicando sísmica pasiva.

A partir de las velocidades de las ondas S, fueron definidas capas, las cuales se correlacionaban con los tipos de terreno establecidos según la Norma de Construcciones Sismo resistentes NCSE-02. A cada tipo de terreno se le asignó un coeficiente de terreno “C” que depende de sus características geotécnicas, planteando adicionalmente que a partir de las velocidades de propagación de las ondas S (Vs) obtenidas a distintas profundidades y los datos de la Densidad Húmeda del Terreno, es posible calcular los módulos de elasticidad dinámica del terreno, correspondiente al Módulo de Rigidez (G). Las interpretaciones sobre las características del subsuelo derivadas de este método fueron ajustadas con los datos de las perforaciones existentes y plasmadas en secciones.

- Hidráulica de Pozos

En la Sabana de Bogotá se han adelantado estudios principalmente de carácter local para la determinación de parámetros hidráulicos, de algunas de las unidades lito estratigráficas presentes en la región de la Sabana Bogotá, mediante la ejecución de pruebas de bombeo. En el informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012) se presentan los resultados de pruebas de bombeo a caudal constante de 0.27 a 27.12l/seg ejecutadas en los pozos relacionados en la Tabla 5.2.1-123, bajo condiciones normales de flujo de agua subterránea y de bombeo, con tiempos de bombeo y recuperación de niveles de 600 a 2800 minutos aproximadamente, con una mayor frecuencia de 1440 minutos, para evaluar los parámetros hidráulicos de la Formación Sabana y el Complejo de Conos que hacen parte del Acuífero Cuaternario, mediante la aplicación de los métodos de Cooper & Jacob y Theis y usando el software especializado AQUIFERTEST (prueba de bombeo y recuperación) para la generación de las curvas de interpretación hidráulica.

Tabla 5.2.1-123 Parámetros hidráulicos

Parámetro Hidráulico		Formación Sabana	Complejo de Conos
Nivel Estático	NE	2,61 a 94.93 m	13.88 m a 29.26 m
Nivel Dinámico	ND	9.80 a 106.54 m	16.23 m a 32.57 m
Abatimiento	Ab	0.44 a 59.98 m	2.35 m a 3.59m
Transmisividad	T	1.37 a 373 m ² /día	315 a 1432 m ² /día
Conductividad hidráulica	K	0.54 a 9.11 m/día	17.50 a 43.57m/día
Capacidad específica	CE	0.005 a 4.54 l/seg/m	2.35 a 8.06l/seg/m
Coeficiente de almacenamiento	s	1.1 x 10-4 a 8 x 10-5	2.62 x10-3

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012)

Para calcular la conductividad hidráulica es indispensable conocer el diseño del pozo, para obtener el espesor de las rejillas o filtros de extracción del recurso hídrico subterráneo. Se presentan algunas de las curvas por el método de Cooper Jacob, Theis y recuperación mediante el software especializado AQUIFERTEST obtenidas en los pozos pz-07-0016 de Clara Fey-1 y pz-07-0017 de Clara Fey-2 para el cálculo de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

La prueba de bombeo a caudal constante del pozo pz-07-0016 Clara Fey-1, con base a la interpretación de la prueba, presenta una transmisividad promedio del orden de 172 m²/día:

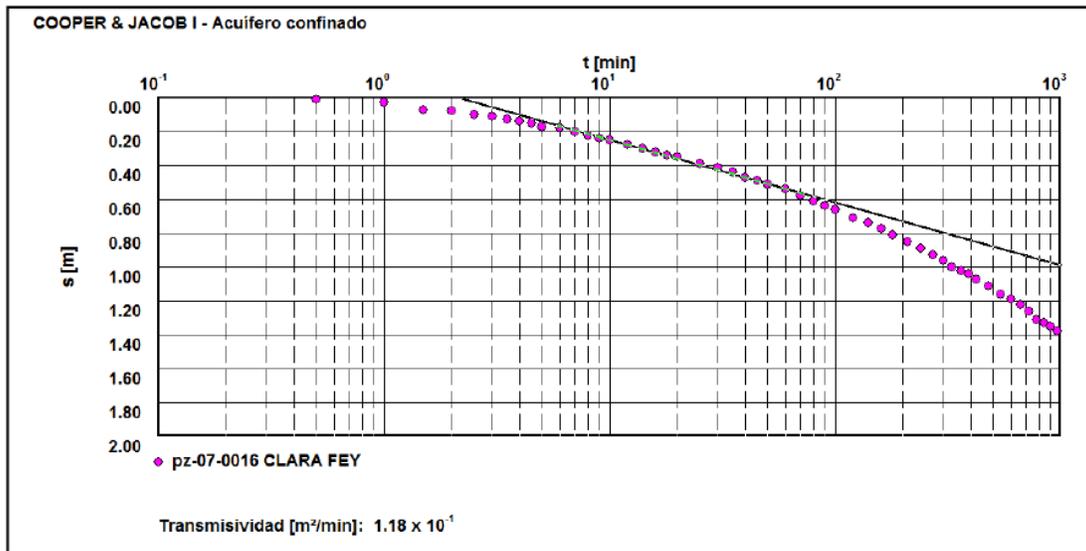


Figura 5.2.1-84 Grafica de bombeo a caudal constante usando el método Cooper & Jacob. Pozo Clara Fey-1.

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012)

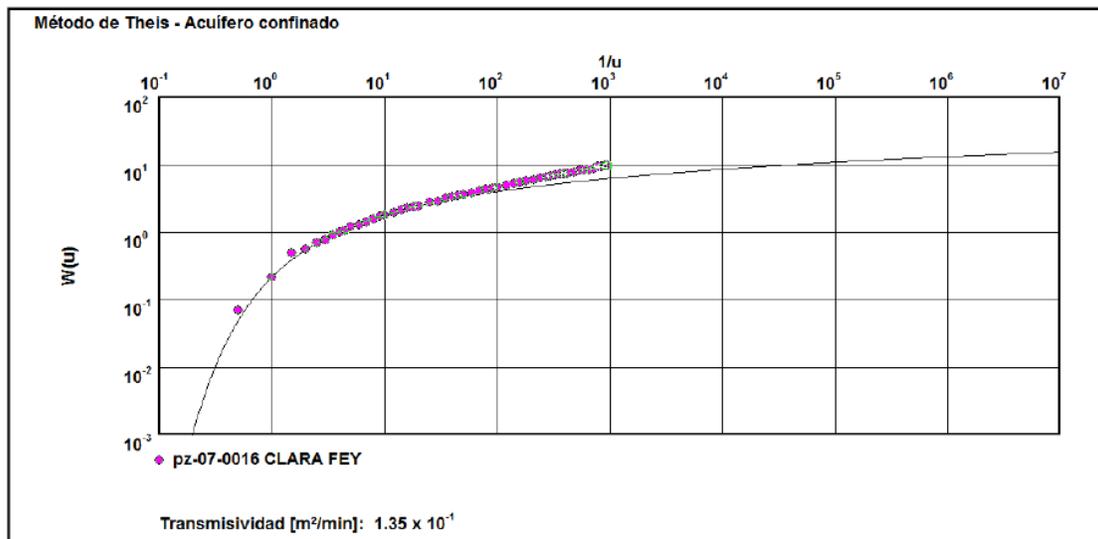


Figura 5.2.1-85 Grafica de bombeo a caudal constante usando el método Theis. Pozo Clara Fey-1.
Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

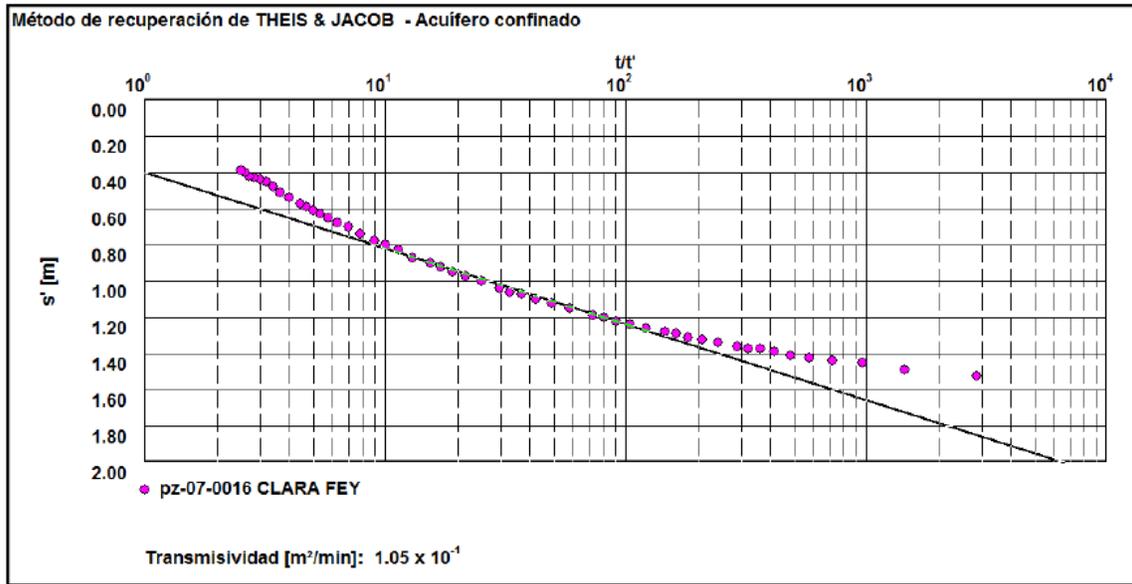


Figura 5.2.1-86 Gráfica de recuperación de niveles usando el método de Theis & Jacob, Pozo Clara Fey-1.

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

La prueba de bombeo a caudal constante del pozo pz-07-0017 de Clara Fey 2 presenta una transmisividad promedio del orden de 106 m²/día

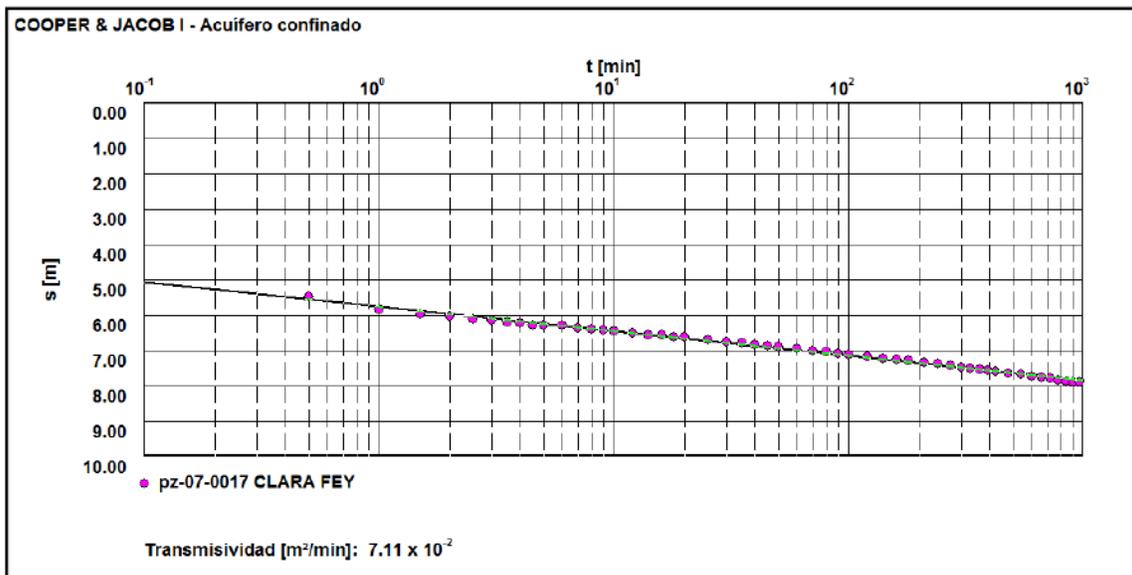


Figura 5.2.1-87 Gráfica de bombeo a caudal constante usando el método Cooper & Jacob. Pozo Clara Fey-2.

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

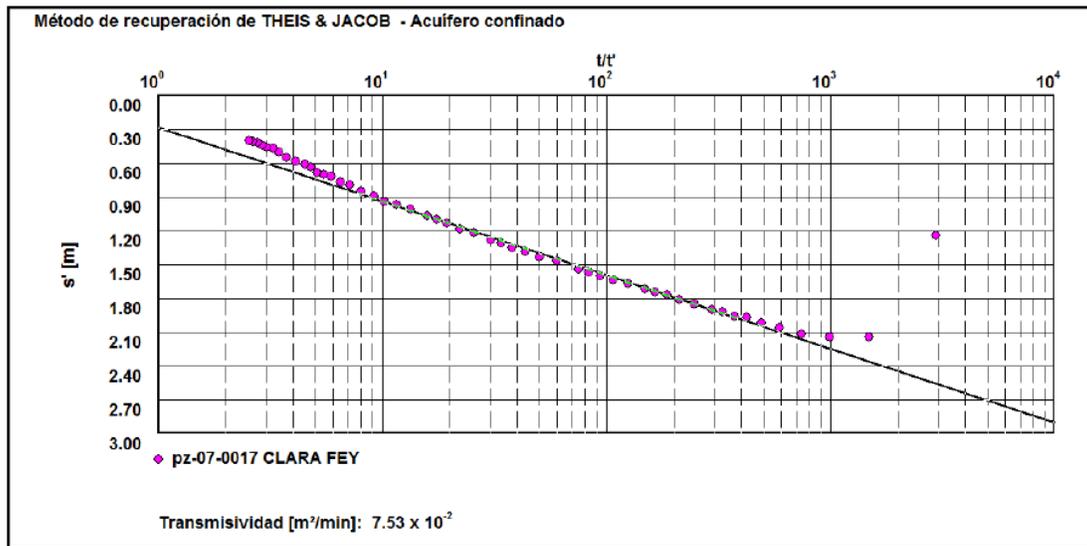


Figura 5.2.1-88 Grafica de recuperación de niveles usando el método de Theis & Jacob. Pozo Clara Fey-2.

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

El pozo pz-07- 0016 (Clara Fey-1) fue usado como pozo de observación del pozo pz-07-0017 (Clara Fey-2), a una distancia de 35 metros, los cuales presentan una conexión hidráulica para determinar el coeficiente de almacenamiento del acuífero cuaternario de la formación Sabana, obteniéndose un valor del orden de 1.42×10^{-3} .

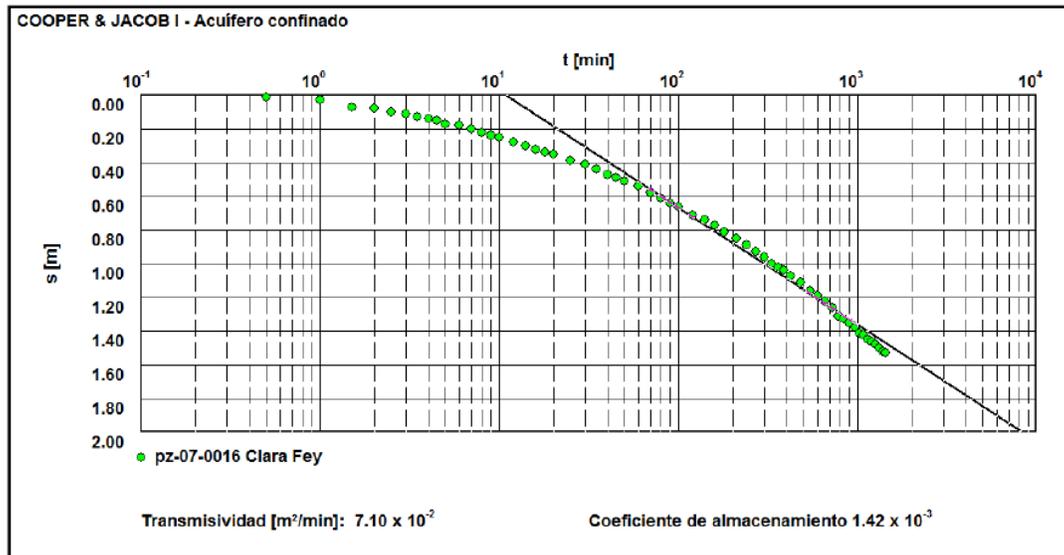


Figura 5.2.1-89 Pozo de observación Clara Fey-1.

Fuente: Informe “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

Con el propósito de conocer las características físico-químicas del agua subterránea contenida en las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia indirecta del Proyecto de PLMB, se tuvo en cuenta los análisis físico-químicos e isotópicos que se presentan en el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012), para determinar el tipo de agua contenida en las unidades lito estratigráficas presentes en el Distrito Capital. Para dicho análisis, fueron tomadas muestras de agua en 72 puntos hidrogeológicos del Distrito Capital, durante el mes de noviembre de 2010, siguiendo los protocolos de la Secretaría Distrital de Ambiente. Para la mayoría de las muestras de agua, se indicó la unidad lito estratigráfica sobre la cual estaba emplazado el punto hidrogeológico, con el propósito de definir las características físico-químicas del agua subterránea contenida en cada una de estas unidades. Se aclara que el estudio de la Secretaría Distrital de Ambiente, no incluye resultados de calidad del agua de las formaciones Cacho y Bogotá.

De este análisis físico-químico, se tienen en cuenta en este estudio, únicamente las clasificaciones de agua obtenidas para las unidades lito estratigráficas presentes en el área de influencia indirecta, correspondientes a los depósitos de llanura de inundación, depósitos de coluvión, complejo de conos, Formación Sabana y Formación Guaduas.

- Caracterización Hidrogeoquímica

La clasificación química de las muestras de agua se realizó mediante el uso de los diagramas de Piper. A continuación se presenta la clasificación de los puntos muestreados.

Tabla 5.2.1-124 Clasificación geoquímica de los puntos de agua

Estación	Tipo de Agua	Unidad Geológica
Quebrada Aguas Calientes	Ca-Mg-HCO3-Cl	
Río Arzobispo	Ca-Mg-SO4-Cl	
Quebrada El Delirio	Ca-SO4-Cl-HCO3	
Quebrada La Vieja	Ca-SO4-Cl-HCO3	
Páramo de Guacheneque- Río Bogotá	SO4-HCO3-Cl	
Humedal La Regadera	Ca-Cl-SO4-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Santa María del Lago	Ca-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Córdoba	Ca-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Salitre - Juan Amarillo	Ca-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Jáboque	Ca-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Guaymaral	Ca-HCO3-SO4-Cl	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Conejera	Ca-K-SO4-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
aj-07-0034 SUDEIM	HCO3-SO4	Depósito Llanura de Inundación
Humedal Tibanica	Na-Ca-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-10-0041 Finca La Junca	Na-Ca-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-07-0017 Clara Fey No. 2	Na-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
pz-07-0020 CONSULTÉCNICA	Na-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
pz-06-0005 ACEGRASAS No. 2	Na-HCO3	Depósito Llanura de Inundación
pz-06-0008 General Motors	Na-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-19-0021 Frigorífico Guadalupe	Na-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-06-0003 NATESA	Na-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-06-0009 Parque El Tunal	Na-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación
pz-08-0012 Gaseosas Colombiana No. 2	Na-HCO3-Cl	Depósito Llanura de Inundación

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación	Tipo de Agua	Unidad Geológica
aj-11-0197 Sapito Pito	Ca-HCO3-Cl	Depósito coluviión
pz-11-0008 Mobil Suba Inversiones VIACAR	Na-Cl-HCO3-SO4	Depósito coluviión
pz-14-0003 Centro Carrera 19	Na-Ca-HCO3-Cl	Complejo de Conos
aj-17-0002 La Mansión del Duende	Na-Cl-SO4	Complejo de Conos
aj-10-0020 Servicentro El Radar	Ca-Cl-SO4-HCO3	Fm Sabana
pz-09-0040 Indega Panamco Planta Norte	HCO3	Fm Sabana
aj-11-0201 Pequeñitas y Pequeñitos de Jesús	HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-10-0022 Lavadero Beto	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-09-0041 PROTELA S.A.	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-09-0007 HB Estructuras Metálicas	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-08-0023 La Fayette No. 1	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-09-0031 IMAL	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-07-0005 CARBOQUÍMICA No. 2	Ca-HCO3	Fm Sabana
pz-07-0033 CARBOQUÍMICA No. 4	Ca-HCO3	Fm Sabana
pz-01-0009 Autocentro Santana	Ca-HCO3-Cl-SO4	Fm Sabana
pz-01-0101 Los Tres	Ca-HCO3-SO4-Cl	Fm Sabana
pz-15-0001 Lava Cars Ciudad Jardín	Ca-Mg-HCO3	Fm Sabana
aj-01-0095 Escuela Unión Colombia	Ca-Na-Cl-NO3	Fm Sabana
pz-19-0015 PAVCO	Ca-Na-HCO3	Fm Sabana
pz-11-0011 Carmel Club No. 2	Ca-Na-HCO3	Fm Sabana
aj-19-0025 Mary Osório de Morales	Ca-Na-Mg-Cl	Fm Sabana
pz-01-0023 Universidad San Buenaventura	Ca-SO4-HCO3	Fm Sabana
pz-01-0058 Hijas de Santa María Providencia	Cl	Fm Sabana
pz-01-0069 Tibatí	HCO3	Fm Sabana
pz-01-0083 Sede Social y Deportiva No. 2 Bavaria	HCO3-SO4-Cl	Fm Sabana
pz-11-0047 CAFAM No.1	K-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-16-0014 GRASCO No. 2 Bodega 14	Na-Ca-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-19-0024 PETCO	Na-Ca-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-11-0101 Colegio El Rosario	Na-Cl-HCO3	Fm Sabana
pz-11-0023 Meals	Na-Cl-HCO3	Fm Sabana
pz-16-0002 Gaseosas Colombiana No. 4	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-11-0096 Colegio La Enseñanza No. 2	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-01-0010 UNICENTRO	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-13-0015 INGEOMINAS No. 2	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-01-0004 Country No. 2	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-07-0007 Jardines del Apogeo No. 1	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-13-0010 Parque Simón Bolívar	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-13-0010 Parque Simón Bolívar	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-08-0002 Bavaria No. 2	Na-HCO3	Fm Sabana
pz-13-0007 Parqueadero Punto de Plata	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-19-0017 HILAT No. 2	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-16-0034 ASITEX LTDA No. 2	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-01-0075 Colegio Teresiano	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación	Tipo de Agua	Unidad Geológica
pz-09-0044 Manufacturas Eliot No. 2	Na-HCO3-Cl	Fm Sabana
pz-11-0153 Suba – EAAB	Ca-Mg-HCO3	Fm Guaduas
pz-11-0136 Sociedad Proma Ltda	Na-HCO3-Cl	Fm Guaduas

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

Son de interés para este estudio, únicamente los resultados de las muestras de agua tomadas en los puntos hidrogeológicos localizados o emplazados en las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá, al igual que en el Complejo de Conos, la Formación Sabana y los Depósitos de Llanura de Inundación y de Coluvión, por ser unidades que se encuentran en el área de influencia indirecta. En el área de influencia directa no serán intervenidos los acuíferos formados por las unidades del Grupo Guadalupe, ya que en el subsuelo de la Sabana de Bogotá, estos en general son profundos.

- Clasificación Geoquímica de las muestras de agua tomadas en la Formación Guaduas

El agua subterránea de la Formación Guaduas se clasifica como bicarbonatada cálcica debido a la disolución de minerales silicatados, que posiblemente indica flujos intermedios a locales.

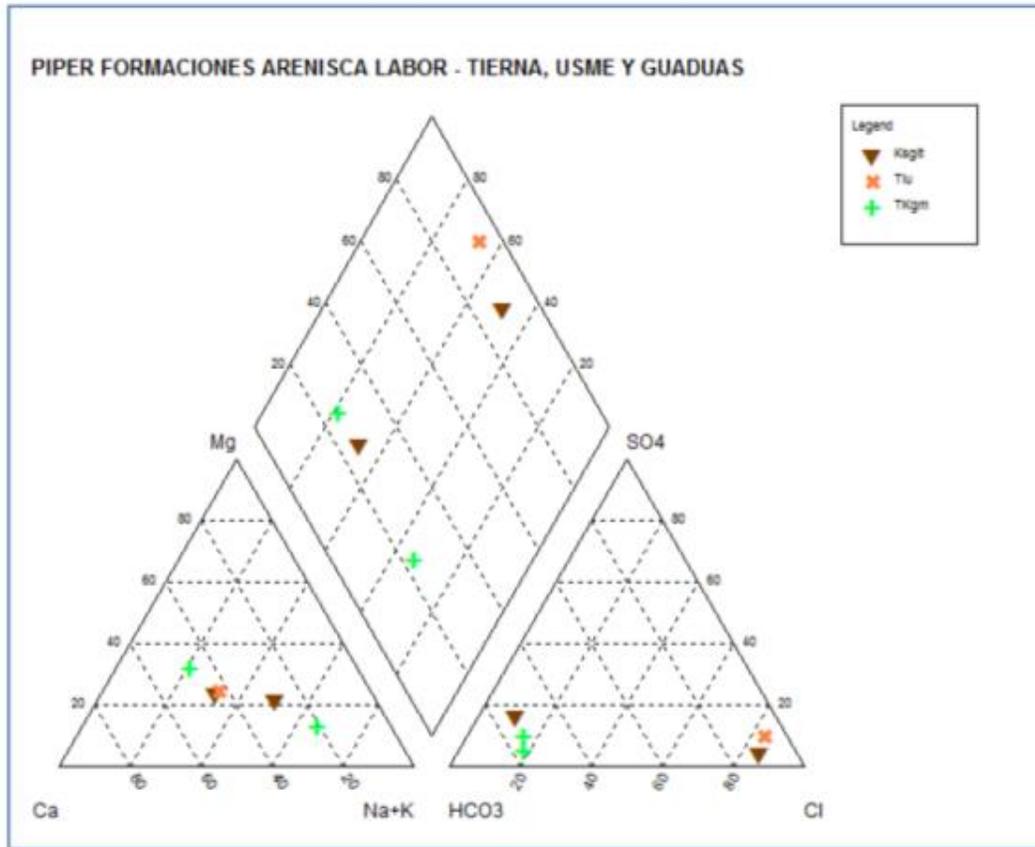


Figura 5.2.1-90 Diagrama Piper mostrando la clasificación geoquímica de las muestras de agua (en verde) tomadas en la Formación Guaduas.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Clasificación geoquímica de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Llanura de Inundación

El agua subterránea de los Depósitos de Llanura de Inundación (Formación Chía) se clasifica principalmente como bicarbonatada sódica y cálcica. La presencia de los iones HCO_3 y Ca se puede atribuir a la disolución irreversible de los minerales silicatados. El sodio proviene de la disolución del agua con los materiales esencialmente arcillosos; posiblemente presenta un flujo de carácter regional y algo local.

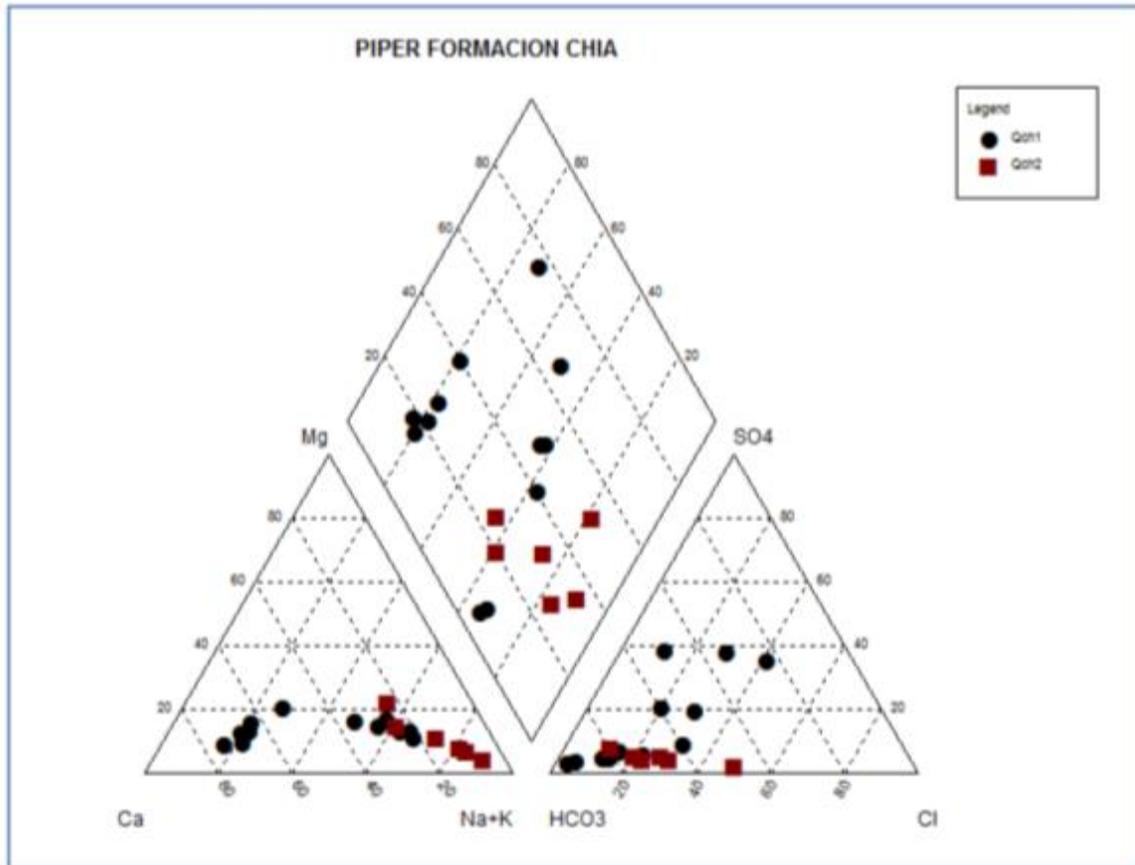


Figura 5.2.1-91 Diagrama de Piper mostrando la clasificación geoquímica de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Llanura de Inundación.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Clasificación Geoquímica de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Coluvión y el Complejo de Conos

El agua subterránea de los Depósitos de Coluvión y el Complejo de Conos se clasifica como cloruradas cálcicas, con un flujo evidentemente local.

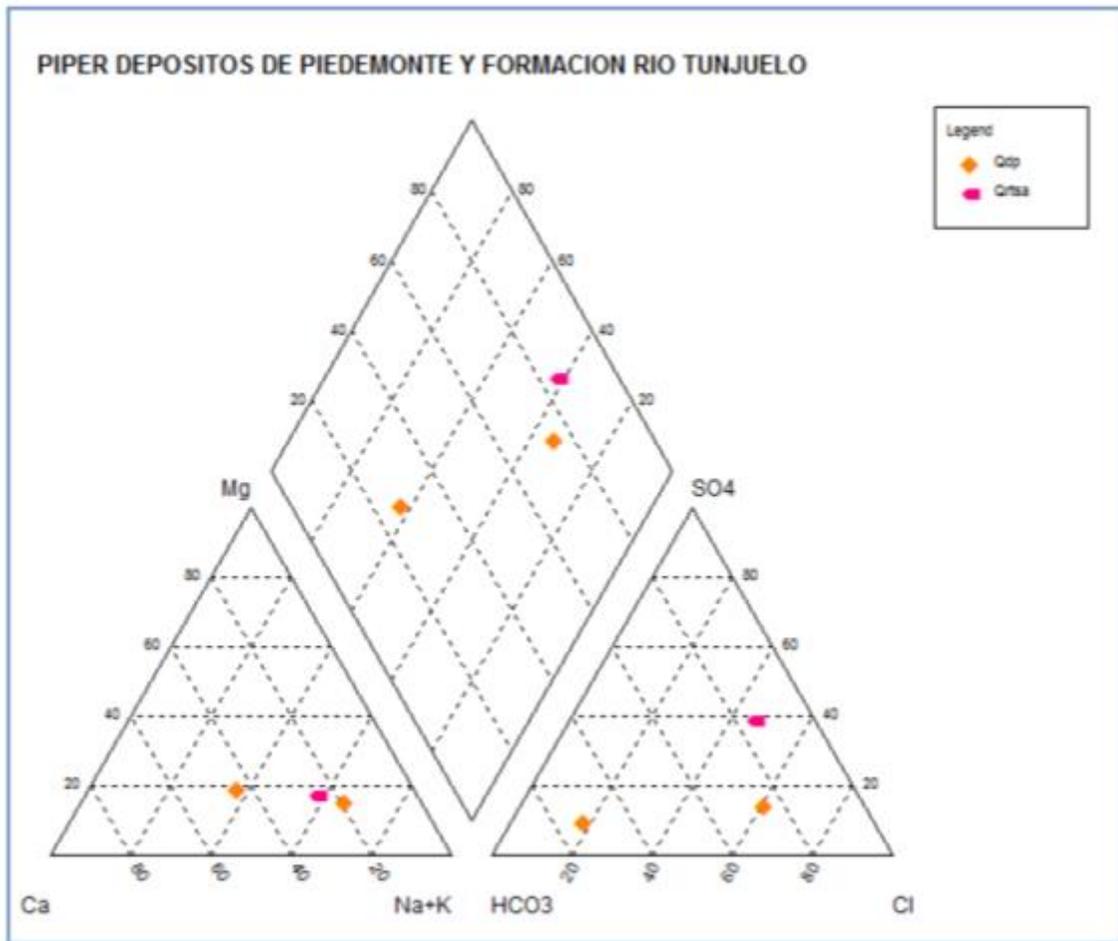


Figura 5.2.1-92 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en los Depósitos de Coluvión y el Complejo de Conos.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Clasificación Geoquímica de las muestras de agua tomadas en niveles de arcillas y arenas de la Formación Sabana

Las muestras de agua tomadas de niveles de arcillas y arenas finas de la Formación Sabana se clasifican como bicarbonatadas sódicas. La presencia de sodio se debe principalmente a procesos de cambio de bases de las arcillas. El flujo de agua subterránea en esta unidad es de carácter regional.

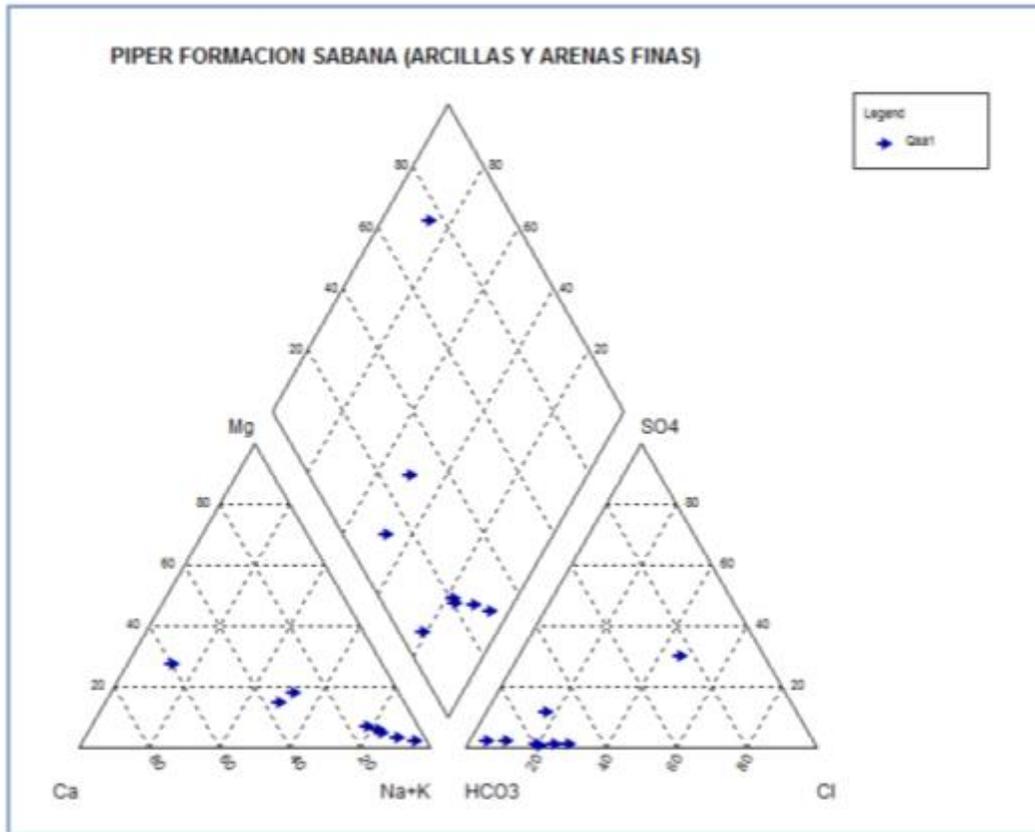


Figura 5.2.1-93 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en niveles de arcillas y arenas finas de la Formación Sabana.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Clasificación Geoquímica de las aguas tomadas en niveles de arenas, arcillas y turba de la Formación Sabana

Las muestras de agua tomadas de niveles de arenas, arcillas y turba de la Formación Sabana, se clasifican como aguas bicarbonatadas sódicas. La presencia de sodio se debe principalmente a procesos de cambio de bases de las arcillas. Se presentan concentraciones importantes de NO_3 y sulfatos debido a la materia orgánica y actividades industriales y urbanas del Distrito. El flujo del agua subterránea en esta unidad es de carácter regional.

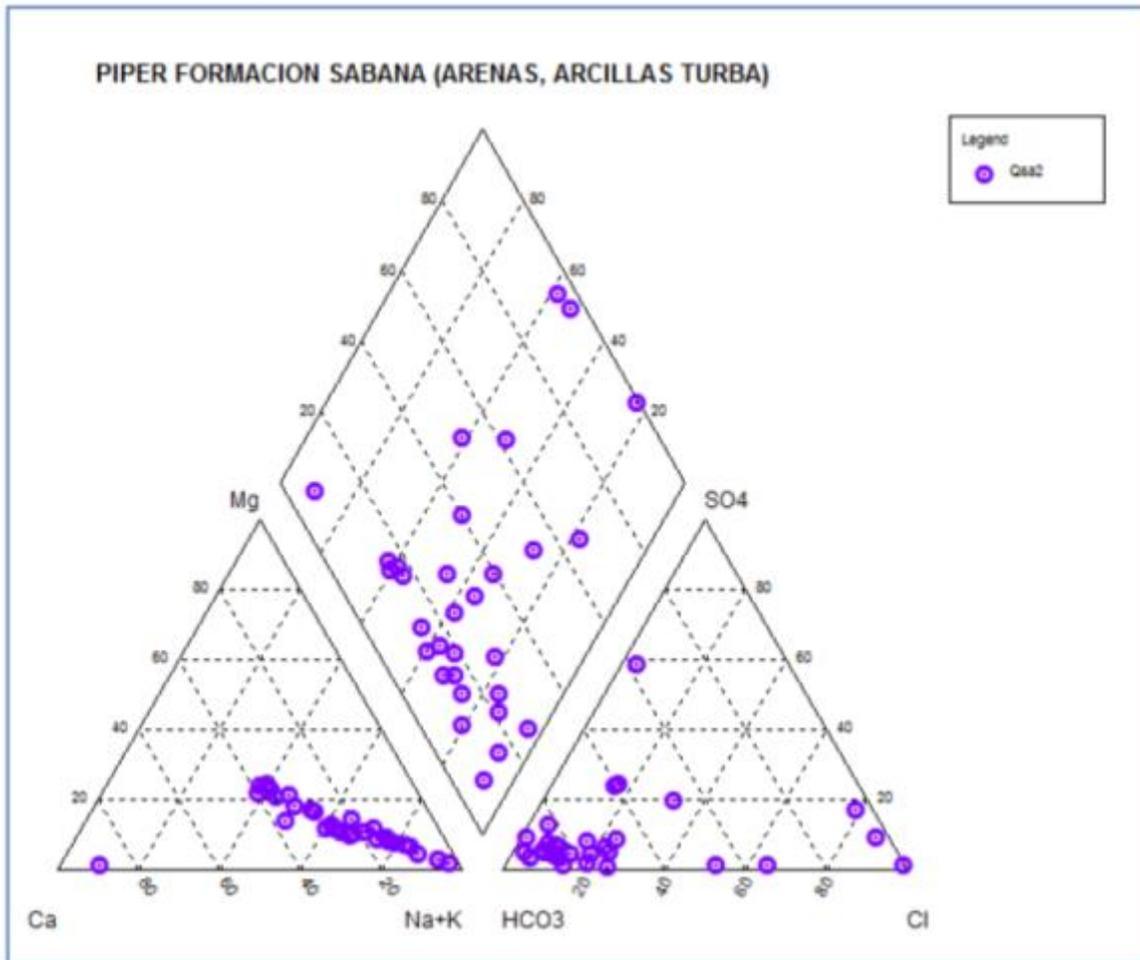


Figura 5.2.1-94 Diagrama de Piper mostrando la clasificación de las muestras de agua tomadas en niveles de arenas, arcillas y turba de la Formación Sabana
Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Clasificación Geoquímica de fuentes superficiales

Las fuentes superficiales se clasifican como aguas bicarbonatadas cálcicas y sulfatadas, debido al carácter de tipo local, la presencia de sulfatos se debe a las actividades urbanas e industriales.

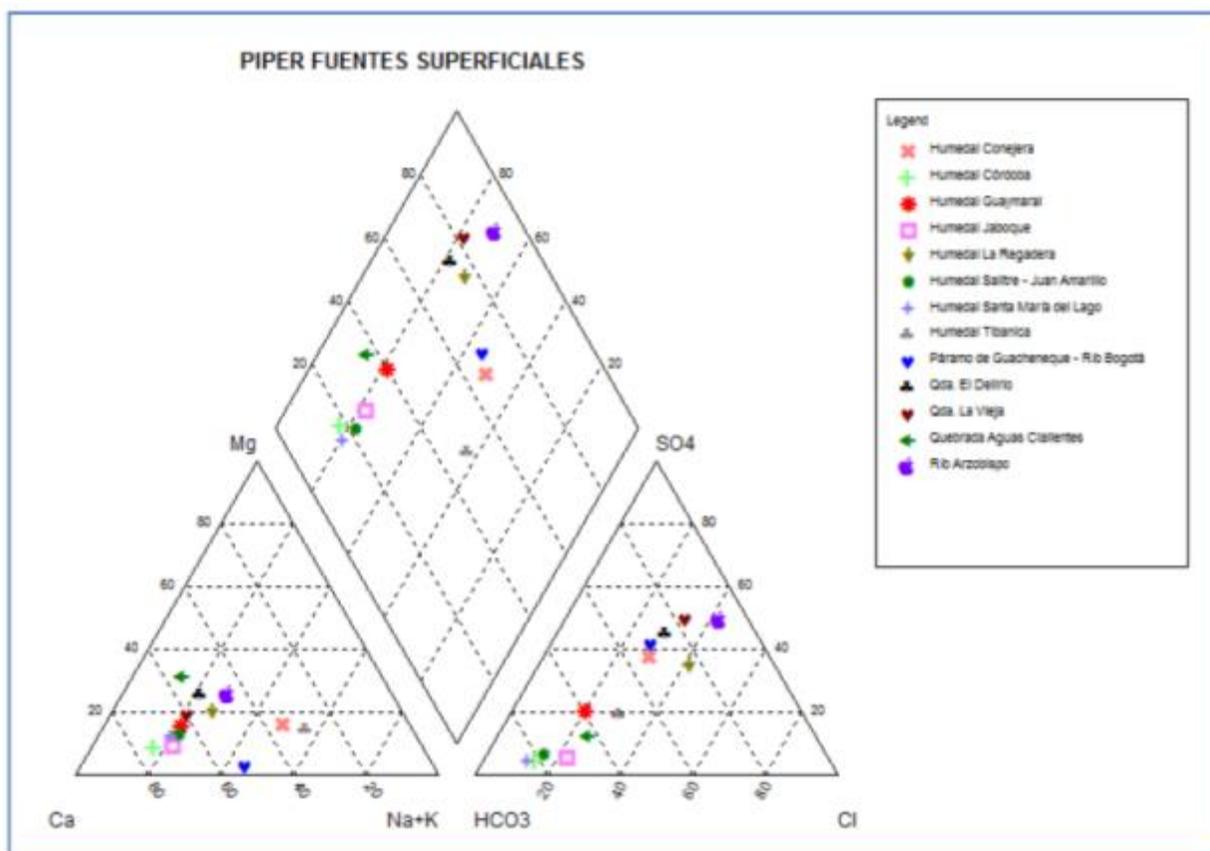


Figura 5.2.1-95 Diagrama de Piper fuentes superficiales

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Evaluación Hidrogeoquímica

De las evaluaciones hidrogeoquímicas adelantadas en la Sabana de Bogotá, se considera apropiado considerar la realizada en el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012), ya que se basa en información tomada en pozos localizados en la zona que cubre la ciudad de Bogotá. Dentro de los parámetros medidos en este estudio se encuentra el valor de pH, la conductividad eléctrica, temperatura, concentración de sodio y cloruros e isótopos.

- Valor de pH

De acuerdo al estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012) el agua subterránea en el Distrito Capital tiene valores de pH entre 5.6 a 8.8, los valores más bajos se presentan en los sectores de Puente Aranda y Bosa, al centro y sur de Bogotá, y en el área de Usaquén y Torca – Guaymaral al norte de Bogotá, coincidiendo con las zonas de descarga (Figura 5.2.1-96). En el sector centro y sur se presenta una descarga (pozos profundos) desde el punto de vista antrópico debido a la demanda de agua subterránea para uso industrial principalmente; al norte de Bogotá se presenta una descarga natural del acuífero Cretácico con presencia de pozos artesianos.

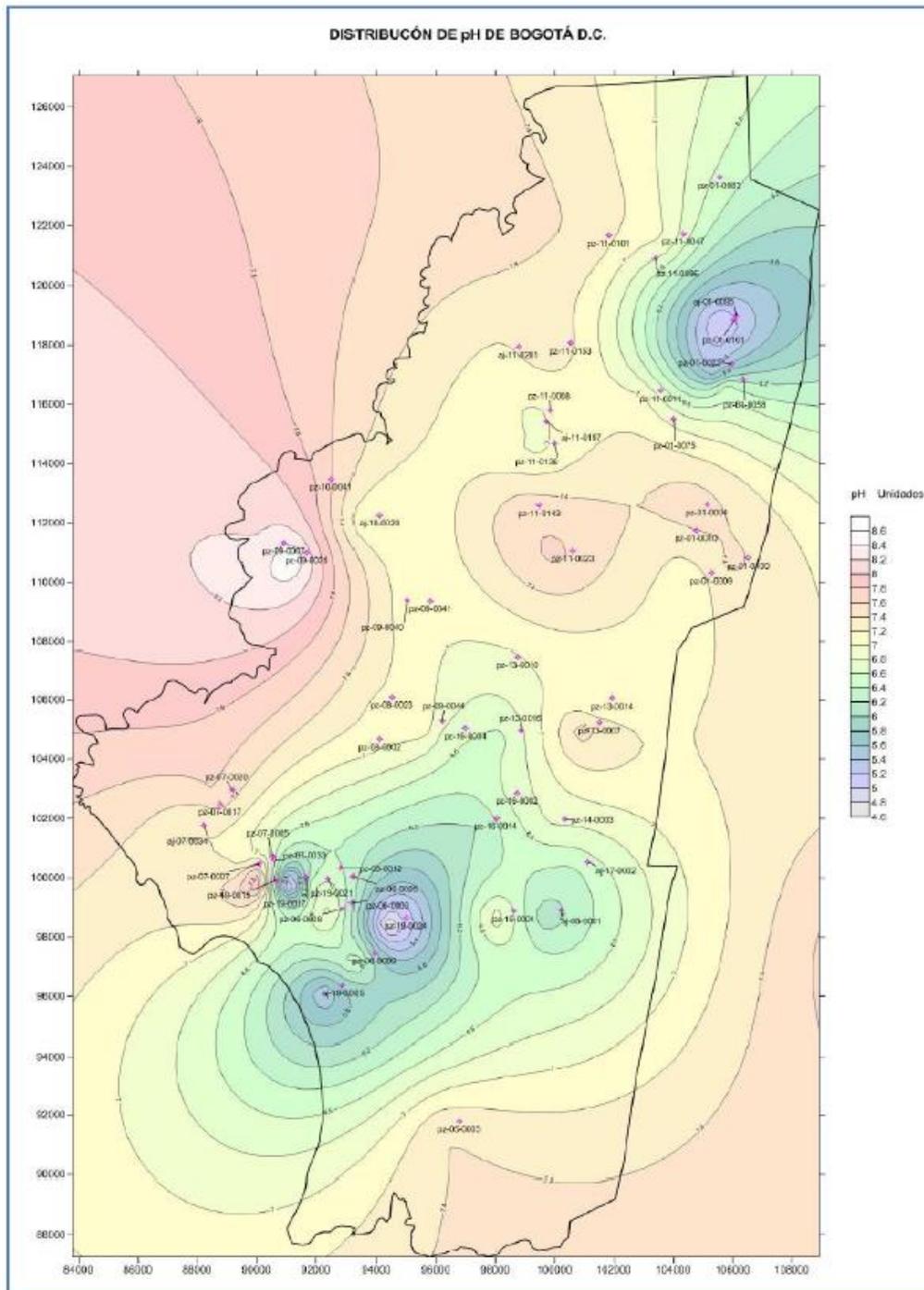


Figura 5.2.1-96 Distribución espacial de pH.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Conductividad Eléctrica

En el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012) se indica que la conductividad eléctrica en el subsuelo del Distrito Capital presenta valores de 100 a 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la cual se va incrementando de Este a Oeste concordando con la dirección de flujo del agua subterránea.

La Figura 5.2.1-97 muestra el cambio de aniones y los relaciona con la salinidad del agua teniendo en cuenta el recorrido y tiempo de permanencia del agua en el acuífero (secuencia de Chevotarev), esto evidencia que la conductividad eléctrica en los cerros orientales de Bogotá es menor debido a que es la zona de recarga y luego tiene un movimiento hacia el occidente hasta inmediaciones del río Bogotá donde se presentan los mayores valores, mostrando claramente el recorrido del agua subterránea, este incremento de iones se debe al paso del agua subterránea a través de las rocas del Cretácico y luego fluyendo por los depósitos de la Formación Sabana principalmente (Figura 5.2.1-98).

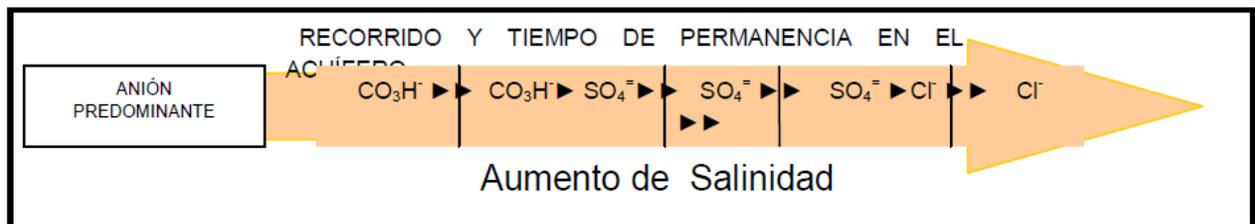


Figura 5.2.1-97 Secuencia de Chevotarev.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

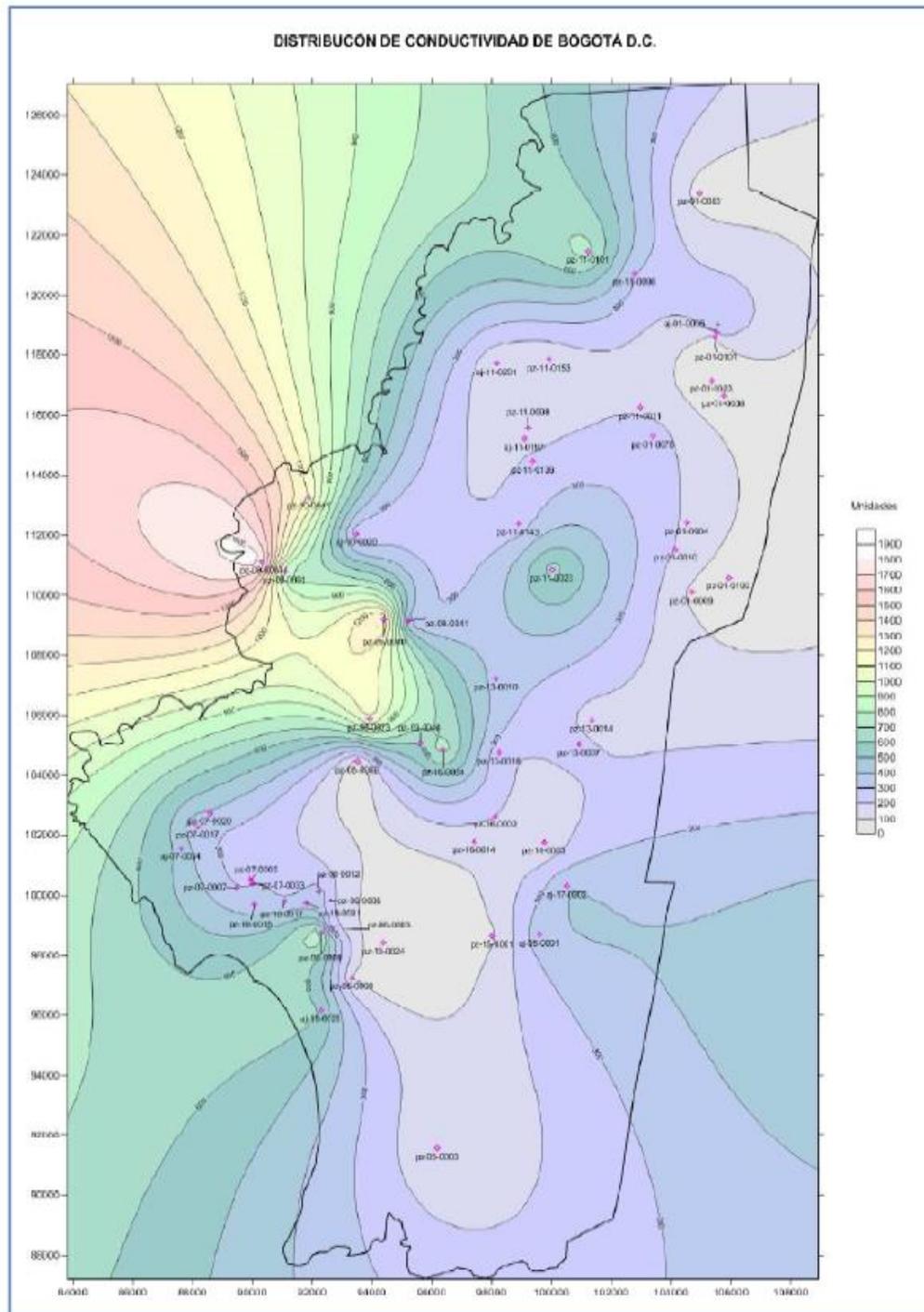


Figura 5.2.1-98 Distribución espacial de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

Fuente: Estudio "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Temperatura

La temperatura de las aguas subterráneas aumenta 33 °C por cada kilómetro de profundidad. En acuíferos con porosidad primaria (aguas de capa), la temperatura varía con la extensión lateral y penetración de los estratos en el subsuelo.

Según el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012), la distribución de la temperatura en el subsuelo, muestra que los valores más altos se presentan en las zonas de gran extracción y demanda de agua subterránea, correspondiente a las zonas industriales, debido que en estas áreas se encuentran ubicados los pozos de mayor profundidad, comprendidas entre 200 y 500 metros (Figura 5.2.1-99).

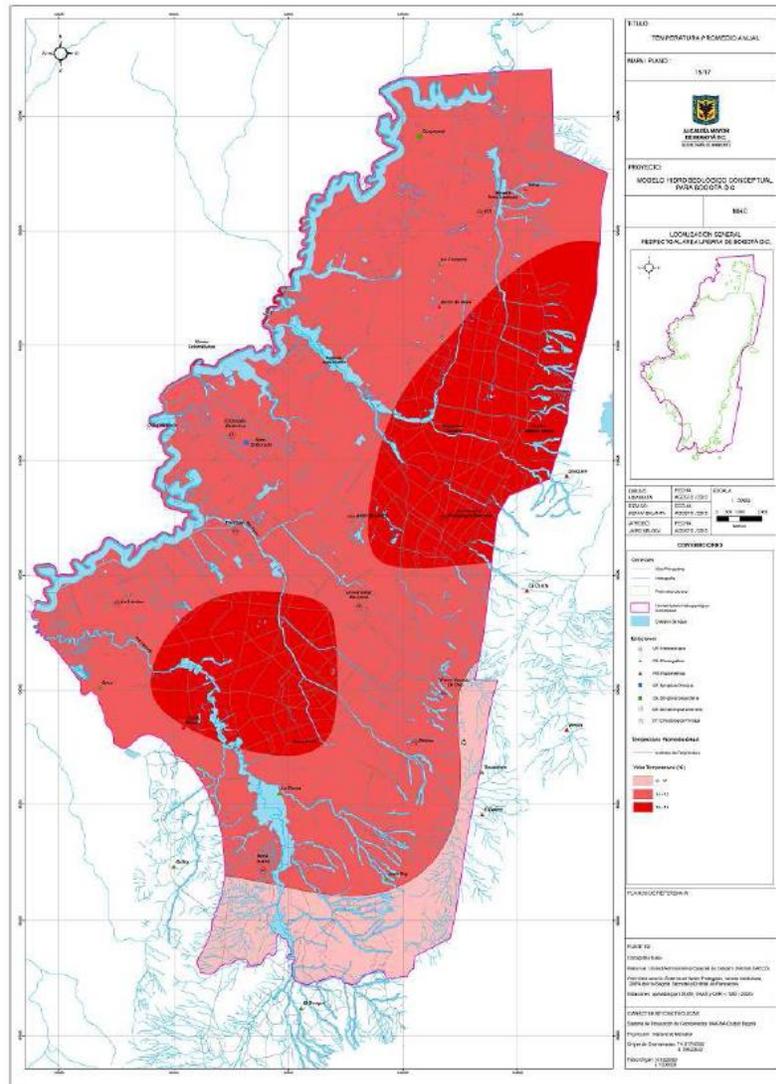


Figura 5.2.1-99 Distribución espacial de temperatura.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Concentración de Sodio y Cloruro

La distribución espacial del sodio (Figura 5.2.1-100) y de cloruros (Figura 5.2.1-101), según los resultados del estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012), indica que las mayores concentraciones de estos iones se encuentran en los sectores de gran extracción de agua subterránea, siendo concordante con el comportamiento del pH, la conductividad eléctrica y la temperatura; esta situación es lógica y deja ver que el agua subterránea tiene un tiempo de permanencia considerable, el cual presenta un flujo a nivel regional proveniente de los cerros orientales de los estratos rocosos del Grupo Guadalupe, ya sea por condiciones de porosidad primaria o por el incremento o presencia de fracturas abiertas.

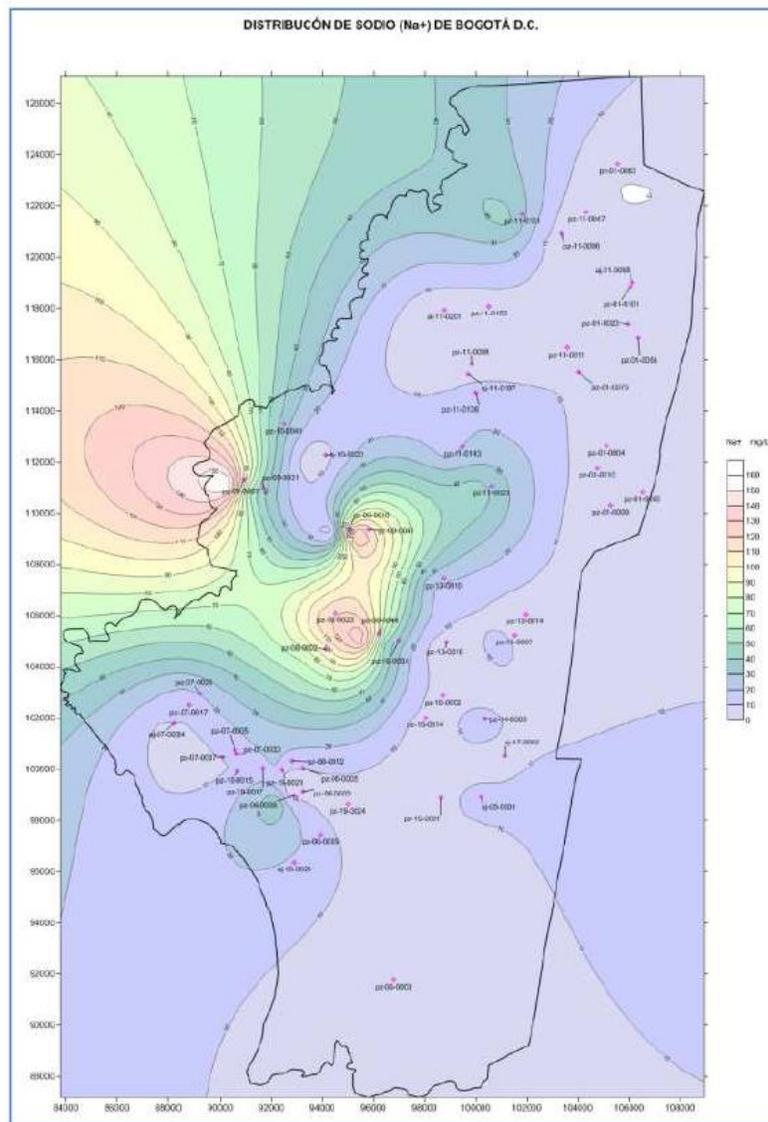


Figura 5.2.1-100 Distribución espacial del Sodio.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

En el mapa de isocloruros, se observa que en los sectores de Usaquén y Torca-Guaymaral se presenta un incremento de los cloruros, esto debido a que es una zona de descarga del acuífero confinado de la Formación Arenisca de Labor y Tierna, en donde se presentan pozos artesianos.

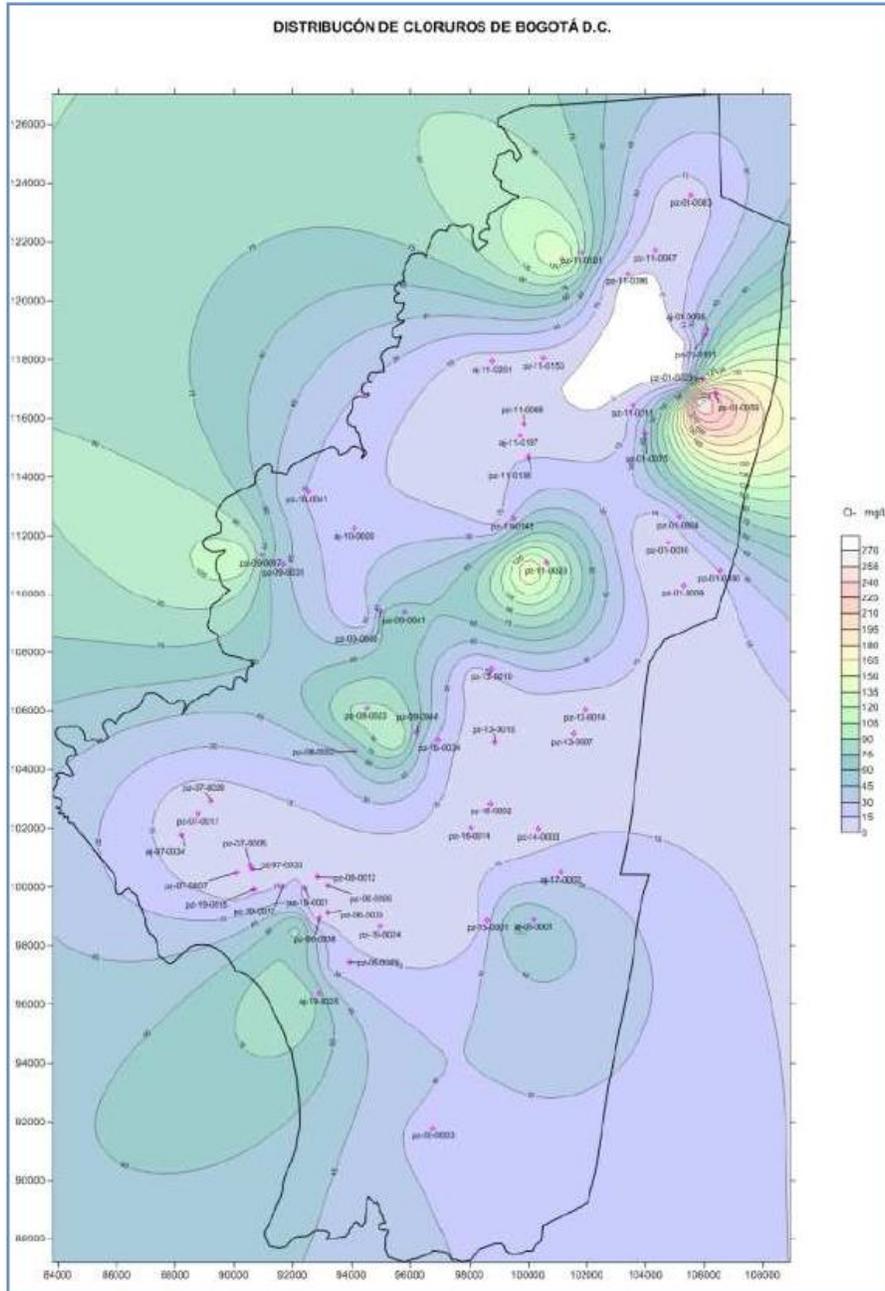


Figura 5.2.1-101 Distribución espacial de Cloruros.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

De igual manera en el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012) se indica que de acuerdo al diagrama de cajas (Figura 5.2.1-102), los iones de cloruro y de sodio sobresalen de los demás iones, confirmando la tendencia de un flujo principalmente regional desde los cerros orientales y del sur de Bogotá hacia el Grupo Guadalupe, en el occidente de la ciudad.

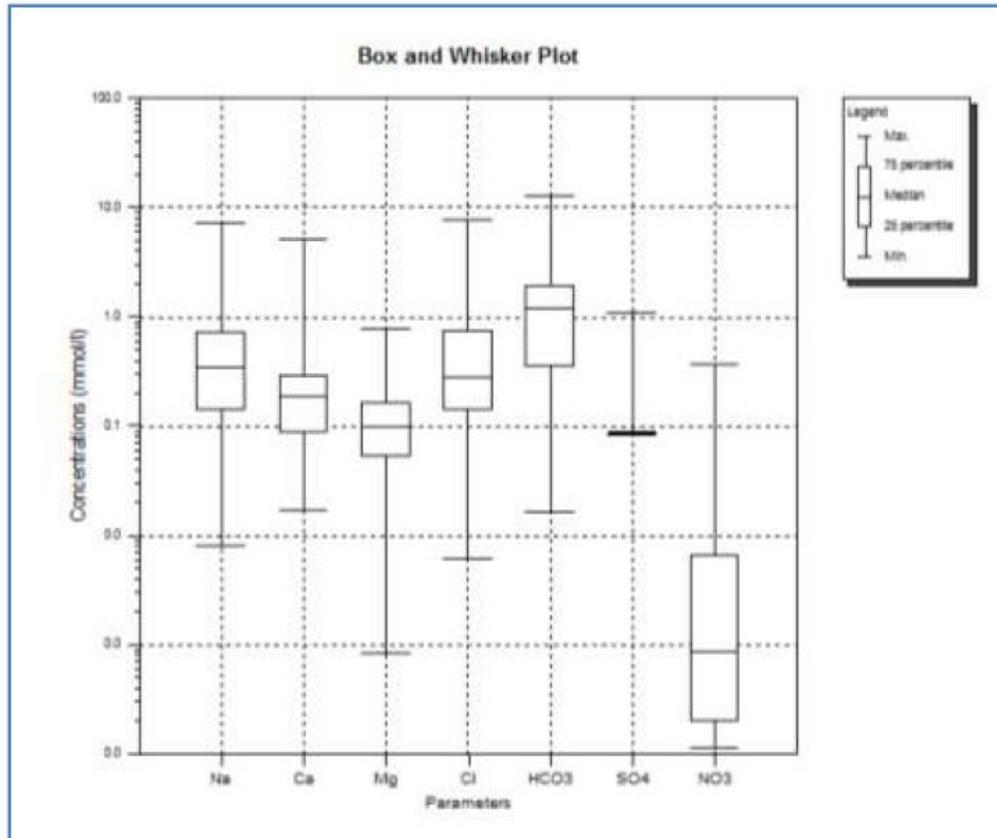


Figura 5.2.1-102 Diagrama de cajas de los iones de las unidades geológicas en el Distrito Capital. Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Isótopos

El estudio isotópico presentado en el estudio del “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013) fue enfocado principalmente a la determinación de isótopos estables que se encuentran en una molécula de agua, el Deuterio (H2 o D) y el Oxígeno -18 (O18). Los isótopos ambientales Hidrogeno-2 (H2) y el Oxígeno-18 (O18), se consideran como trazadores ideales y permiten señalar los procesos que actúan sobre ellos, tal como la evaporación, condensación, solidificación, etc.; con lo cual se logra identificar la procedencia de la molécula de agua. Esto está estrechamente relacionado con el fraccionamiento isotópico causado por los cambios de estado que se presentan en el ciclo hidrológico.

Se realizó la toma de muestras y análisis de isótopos estables, con el protocolo adecuado y laboratorios certificados para la toma de muestras en puntos, tanto de agua superficial como de

agua subterránea, para la interpretación del origen y corroborar el movimiento del recurso hídrico subterráneo en el Distrito Capital.

La composición isotópica de una muestra de agua, se expresa en desviación por mil (d), con relación a un estándar llamado SMOW (Stándar Mean OceanWater); de tal manera se tiene:

$$d = R - R_{smow} / R_{smow}$$

Dónde:

R = se refiere a la relación de isótopos D/H, O18/O16 de la muestra en estudio.

Harmon Craig en 1961 desarrolló una ecuación lineal entre O18 y H2 para el agua lluvia a escala mundial, denominada Línea Meteorica Mundial de Craig. La relación existente entre el Hidrogeno-2 y el Oxígeno-18 se establece mediante una ecuación, resultado de numerosas mediciones realizadas con muestras de agua lluvia o precipitación en Colombia (Rodríguez. C; 2004), la cual corresponde a una línea recta con pendiente definida denominada línea de precipitación o línea meteorica de Colombia, representada en un eje de coordenadas cartesianas (dH2vs dO18). La ecuación se expresa:

$$dH2 = 8.00 dO18 + 9,6 \text{ Línea Meteorica de Colombia}$$

Para el caso de un lago, embalse, humedal o cualquier masa de agua expuesta a evaporación directa se produce un cambio en la relación dH2 y dO18, obteniendo una línea recta llamada línea de evaporación, con una pendiente que oscila entre 4 y 6; y así se obtiene una ecuación que es diferente para cada sistema que se analice.

Las muestras tomadas en los humedales del Distrito Capital conforman la línea de evaporación la cual obedece a la siguiente ecuación:

$$dH2 = 5,66 dO18 + 19,87$$

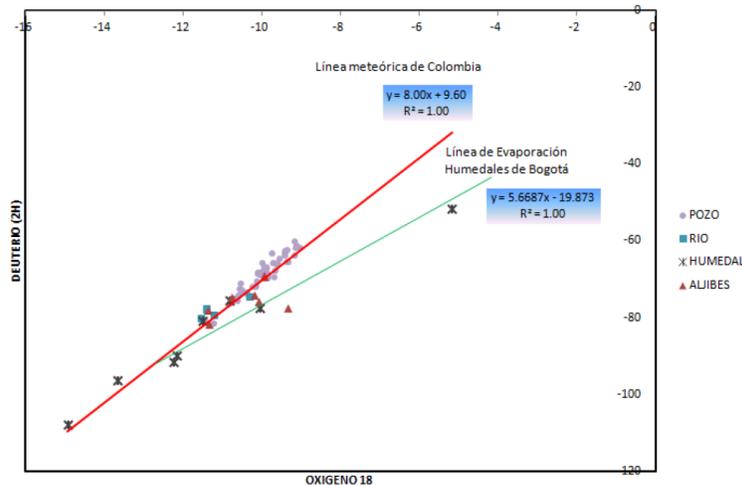


Figura 5.2.1-103 Línea meteorica.

Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

La muestra del humedal Juan Amarillo deja ver claramente que son aguas sometidas a evaporación durante decenas de años, lo cual sirvió para elaborar la línea de evaporación de los

humedales de Bogotá (presenta la mayor evaporación según el análisis de isotopos estables, lo que indica que no se presenta ninguna conexión agua superficial – agua subterránea)

El humedal Santa María del Lago presenta menor evaporación y una posible interacción con agua subterránea de flujo local.

El humedal Tibanica y la represa La Regadera son esencialmente alimentados y en gran proporción por precipitación local y fuentes superficiales, no evidenciando conexiones hidráulicas con el agua subterránea.

Los humedales de Guymaral y Torca presentan una interconexión agua superficial–agua lluvia, alimentados principalmente de agua subterránea con un flujo intermedio a regional.

El humedal Conejera presenta interconexión con fuentes superficiales y relación con agua subterránea.

Los humedales de Córdoba y Jaboque son alimentados principalmente por agua subterránea con un flujo de carácter regional.

Las muestras del páramo de Guacheneque (Nacimiento del río Bogotá), río Arzobispo y Humedal Conejera provenientes de las partes de mayor altura en la cuenca, son captadas y conducidas por los niveles permeables del Grupo Guadalupe y Formación Guaduas, que posteriormente fluye a los depósitos cuaternarios y Formación Sabana en sus niveles permeables.

Teniendo en cuenta la curva meteórica para Colombia (Rodríguez, C. 2004), la cual posee la siguiente ecuación:

$$y = 8x + 9.6$$

Como referencia del comportamiento de los diferentes puntos de agua se observa que con la relación altitudinal que presenta la siguiente ecuación para el Deuterio:

$$H2 = -0,0186h - 19 \text{ (Rodríguez, C. 2004)}$$

Se calculó la posible zona de recarga de los diferentes puntos de agua muestreados, donde se observa que el humedal Juan Amarillo recibe solamente agua lluvia y que los demás humedales están siendo alimentados de agua subterránea con tiempos de transito extensos y flujo intermedio a regional, posiblemente de los cerros aledaños a la ciudad de Bogotá.

Las muestras de los pozos y aljibes (agua subterránea) está evidenciando una posible recarga y mezcla de agua lluvia con condiciones de flujo local a intermedio. De igual forma en la cuenca de la Sabana de Bogotá se presenta una desviación (δ) por el efecto de la temperatura, continentalidad y altitud, por tal razón se hace necesario realizar un muestreo mensual para identificar las anomalías por fraccionamiento isotópico.

Tabla 5.2.1-125 Relación de Altitud de Recarga con Deuterio

Punto de Agua	Altitud de recarga con Deuterio
Humedal Salitre - Juan Amarillo	2672
INGEOMINAS NO 2	3134
UNICENTRO	3188
Colegio de La Enseñanza No. 2	3220
Colegio Teresiano "Compañía de Santa Teresa de Jesús"	3220
Gaseosas Colombiana No. 4	3258

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto de Agua	Altitud de recarga con Deuterio
COUNTRY No. 2	3263
Parqueadero Punto de Plata Luis Enrique Plata	3268
CAFAM No. 1	3295
TIBATI	3301
Hijas de Santa Maria Providencia	3327
Carmel Club No. 2	3327
MEALS	3376
BAVARIA No. 2	3413
Suba - EAAB	3424
Sede Social y Deportiva No. 2 BAVARIA	3430
Club Los Lagartos Raqueta	3435
GRASCO No. 2 - Bodega 14	3440
Parque Simón Bolívar	3456
Auto Centro Santana	3494
ASITEX LTDA No. 2	3500
Los Tres	3505
Universidad San Buenaventura	3510
MOBIL SUBA INVERSIONES VIACAR	3537
Avenida Ciudad de Cali - Lavadero Beto	3559
Centro CAR 19	3564
La Aguadora - EAAB	3575
Manufacturas Eliot No. 2	3580
PROTELA S.A	3580
INDEGA PANAMCO - Planta Norte	3586
Colegio El Rosario	3602
Finca La Junca	3607
Sapito Pito	3612
Ladrillera Helios S.A	3634
Escuela Unión Colombia	3634
Sociedad Proma Ltda.	3639
Gaseosas Colombiana No. 2	3693
Lava Cars Ciudad Jardín	3720
ACEGRASAS No. 2	3747
HB Estructuras Metálicas	3763
CONSULTECNICA	3774
Lafayette No. 1	3801
General Motors	3806
CLARA FEY No. 2	3844
Frigorífico Guadalupe	3865
NATESA	3870

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto de Agua	Altitud de recarga con Deuterio
Parque El Tunal	3881
La Vecina	3887
Quebrada Aguas Calientes	3897
HILAT No. 2	3919
Servicentro El Radar	3924
IMAL	3930
CARBOQUIMICA No. 2	3962
Humedal Guaymaral	3967
Mary Osorio de Morales	3973
Jardines del Apogeo No. 1	3994
PETCO	4010
Humedal Santa Maria Del Lago	4069
SUDEIM	4075
Quebrada La Vieja	4075
El Delirio - (Quebrada San Cristóbal)	4086
Pequeñitas y Pequeñitos de Jesús	4107
Páramo de Guacheneque - Pozo de La Nutria, nacimiento rio Bogotá	4155
Rio Arzobispo	4204
Humedal Conejera	4247
PAVCO	4268
CARBOQUIMICA No 4	4279
La Mansión del Duende	4290
Humedal La Regadera	4731
Humedal Tibanica	4833
Humedal Jaboque	5086
Humedal Córdoba	5704

Fuente: Estudio "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

5.2.1.16.7 Caracterización Área de Influencia Directa del componente hidrogeológico

Análisis de la información de referencia

La Formación Sabana, que forma el relleno fluvio-lacustre de la cuenca, compuesto por gravas, arenas, limos, arcillas y turbas, posee niveles acuíferos de alta o de moderada permeabilidad. Tiene acuíferos libres, acuíferos colgados, acuíferos confinados, capas semi-confinantes y capas confinantes. En la Formación Sabana la transmisividad varía entre 5 y 50 m²/d y el rendimiento de pozos individuales entre 0,1 y 5 l/s. La recarga de la Formación Sabana proviene de infiltración directa en los bordes de la Sabana.

Dentro de las unidades hidrogeológicas de interés se debe precisar lo siguiente:

La Formación Sabana en sus niveles arenosos continuos se clasifica como un acuífero de porosidad primaria con gran importancia hidrogeológica, los acuíferos que no poseen continuidad

lateral o conexión hidráulica (lentes) son acuíferos colgados y con poca o ninguna posibilidad de presentar recarga.

Unidades hidrogeológicas que intervendrá el proyecto

El corredor de la PLMB se desarrolla sobre los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá, representados por Depósitos de Llanura de Inundación, la Formación Sabana y el Complejo de Conos, unidades que constituyen el Acuífero Sabana (Ac-qs), como se muestra en el plano Anexo 5.2.1.10 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0005_RA.

Estimación de la dirección del flujo del agua subterránea

El flujo natural del agua subterránea en la zona de estudio se presenta desde los Cerros Orientales hacia el río Bogotá, en sentido Este-Oeste y desde los cerros del sur hacia el río Tunjuelo.

Identificación de las zonas de recarga y descarga naturales de los acuíferos

Las zonas de recarga natural de los acuíferos presentes en el relleno fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá, se localizan en los Cerros Orientales y del Sur de Bogotá, específicamente donde afloran los estratos permeables del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas (nivel medio).

Características hidro-geoquímicas de los puntos de agua que intervendrá el trazado de la PLMB

Para determinar las características hidro-geoquímicas del agua subterránea de los acuíferos localizados en el AID del PLMB se tomaran muestras de agua en los piezómetros ubicados a lo largo del alineamiento del metro para la realización de los análisis fisicoquímicos: ión amonio, CO₂, ión magnesio, pH, sólidos totales, sulfatos. La metodología aplicada para esta caracterización se presenta en el capítulo de calidad del agua.

Tabla 5.2.1-126 Piezómetros

No.	Nombre	Estructura	Coordenadas		Prof m
			Este	Norte	
1	PT-ALO-01	ESTACIONES	105545,0	88613,1	
2	PT-AV68-1	ESTACIONES	101472,0	94230,5	
3	PT-CLL10-01	ESTACIONES	100550,7	99548,9	
4	PT-CLL26-01	ESTACIONES	101866,5	100395,1	
5	PT-CLL45-01	ESTACIONES	103777,4	101068,3	
6	PT-CLL63-01	ESTACIONES	105738,6	101379,5	
7	PT-CLL72-03	ESTACIONES	107181,7	101770,5	
8	PT-PLMB-PT-01	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	106687,4	88626,1	
9	PT-PLMB-PT-03	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	106663,1	88897,6	
10	PT-PLMB-PT-04	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	107086,4	89231,8	
11	PT-PLMB-RT-01	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	105833,9	88464,2	
12	PT-PLMB-RT-02	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	106060,5	88358,7	
13	PT-PLMB-RT-03	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	106307,6	88393,1	
14	PT-PLMB-RT-04	RAMAL TÉCNICO Y PATIO	106422,6	88615,2	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

No.	Nombre	Estructura	Coordenadas		Prof m
			Este	Norte	
15	PT-PLMB-VDT-01	VIADUCTO	100302,3	99374,0	
16	PT-PLMB-VDT-03	VIADUCTO	101399,8	100156,6	
17	PT-PLMB-VDT-05	VIADUCTO	102614,0	100785,7	
18	PT-PLMB-VDT-07	VIADUCTO	103589,1	101020,4	
19	PT-PLMB-VDT-09	VIADUCTO	104867,3	101248,9	
20	PT-PLMB-VDT-11	VIADUCTO	106129,0	101477,6	

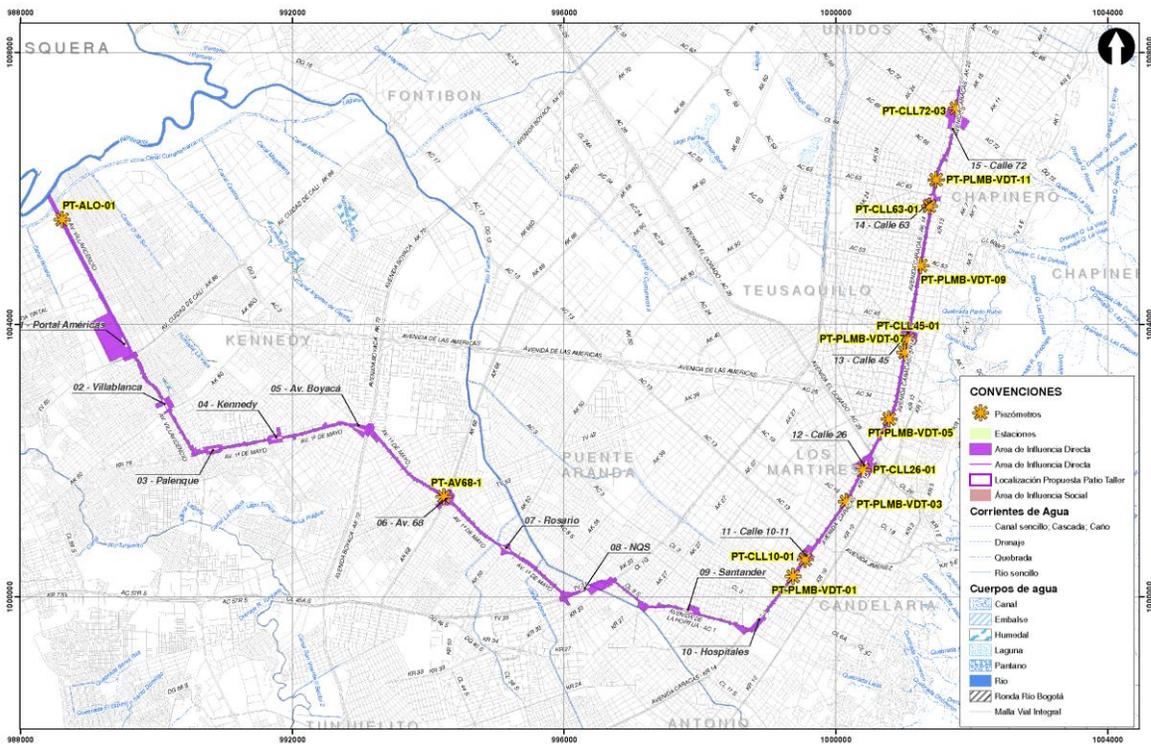


Figura 5.2.1-104 Localización de piezómetros

Los resultados de los análisis in situ de las aguas de los puntos monitoreados en el área de influencia del proyecto Metro, indican que las concentraciones de pH, que se ajustan a los criterios que establece el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en sus artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4, exceptuando los puntos de muestreo canal río Seco aguas arriba y aguas abajo.

Referente al contenido de **oxígeno disuelto**, los piezómetros monitoreados muestran valores entre 0 mgO₂/L y 5 mgO₂/L, los cuales son relativamente altos para este tipo de aguas, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas suelen estar poco oxigenadas debido al bajo intercambio gaseoso con la atmósfera y la baja producción fotosintética (Marín, R. 2003.). Solamente en las agua recolectadas en los pozos PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL 63-01, PT-CALLE 26-01, PT-PLMB-VDT-03, PT-PLMB-VDT-07 reporta nula la presencia de este gas (0,0 mgO₂/L).

Las aguas subterráneas contienen en estado natural una serie de sales disueltas, provenientes de los diversos materiales del suelo y subsuelo (FAO, 1992), los cuales a su vez son indicativos

indirectos de la mineralización del agua (conductividad y sólidos disueltos). En referencia a lo anterior y según la clasificación dada por RODIER, J. (1998), las aguas subterráneas de los pozos del proyecto Metro de Bogotá, según los valores obtenidos de conductividad (Tabla 5.2.1-127), presentan un grado de mineralización desde débil para los puntos PT-PLMB-VDT-11 y PT-PLMB-VDT-05, media acentuada en los puntos PT-PLMB-VDT-01, PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL 63-01, PT-CLL 72-03, PT-CLL 42, hasta mineralización Media en los puntos PT AV 68-1, PT-CALLE 26-01, PT-PLMB-VDT-03 y PT-PLMB-VDT-07.

Tabla 5.2.1-127 Clasificación del agua en términos de la conductividad

Conductividad	Grado de mineralización
< 100 $\mu\text{S/cm}$	Muy Débil
100 < 200 $\mu\text{S/cm}$	Débil
200 < 333 $\mu\text{S/cm}$	Media acentuada
333 < 666 $\mu\text{S/cm}$	Media
666 < 1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización importante
>1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización excesiva

Fuente: RODIER, J. 1998. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar

- Análisis físico-químicos del agua subterránea

A partir de los análisis físico-químicos realizados se obtienen los siguientes resultados: Las aguas subterráneas de los puntos monitoreados cumplen con los valores establecidos:

- Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.3 para los parámetros coliformes fecales, y coliformes totales en todos los puntos de aguas subterráneas, se exceptúan los puntos de muestreo PT VILLAVICENCIO/1ERO MAYO, PT AV 68-1, PT-PLMB-VDT-09, en el análisis de coliformes totales, cuyos valores no se encuentran dentro del rango establecido del artículo 2.2.3.3.9.3.
- Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.4 para los parámetros de coliformes totales en los puntos PT-PLMB-VDT-01, PT-PLMB-VDT-11, PT-CLL 72-03, se exceptúan los puntos PT VILLAVICENCIO/1ERO MAYO, PT AV 68-1, PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL 63-01, PT-CLL 42, PT-CALLE 26-01, PT-PLMB-VDT-03, PT-PLMB-VDT-05, PT-PLMB-VDT-07 cuyas concentraciones no cumplen con los valores establecidos.

- Análisis bacteriológico

El **análisis bacteriológico** permite evidenciar contaminación por coliformes totales en las aguas subterráneas del área de influencia se demuestra esta condición al registrar valores de coliformes totales superiores a los niveles aceptados en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076/2015. En caso que se requiera destinar el recurso para el consumo humano, es necesario realizar un tratamiento que garantice la completa desinfección.

Las concentraciones reportadas en los análisis de grasas y aceites e hidrocarburos totales indican la presencia de estos compuestos en las aguas subterráneas del área de influencia del Proyecto Metro de Bogotá.

En cuanto al contenido de **sólidos disueltos**, en las aguas subterráneas en función de la concentración de este parámetro, pueden ser clasificadas en aguas dulces, salobres, saladas o salmueras (LÓPEZ, J. *et al*, 2009). De acuerdo con los valores obtenidos, las aguas subterráneas monitoreadas en el área de influencia, se clasifican como aguas dulces por presentar niveles entre menores a 1000 mg/L. En la Tabla 5.2.1-128 se presenta la clasificación de las aguas.

Tabla 5.2.1-128 Clasificación de la calidad del agua subterránea

Tipo	TSD (mg/L)
Agua dulce	1000
Agua salobre	5000
Agua salada	40000
Agua salmuera	>40000

Fuente: LÓPEZ, J. *et al*, 2009. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo

5.2.1.16.8 Niveles piezométricos

A lo largo del trazado del Proyecto de la PLMB, fueron instalados quince (15) piezómetros para medir las variaciones del nivel freático desde el 20 de mayo de 2017. Los piezómetros fueron instalados en algunas de las perforaciones exploratorias, obteniéndose los siguientes resultados

Tabla 5.2.1-129 Mediciones del nivel freático en los piezómetros instalados en algunas de las perforaciones del trazado de la PLMB

PIEZOMETRO	NF1	NF2	NF3	NF4	NF5	NF6	NF7
PT-AV68-1	3,10	4,39	4,20				
Fechas	31/07/2017	04/08/2017	14/08/2017				
PT-HOS-01	5,10	2,00					
Fechas	08/08/2017	14/08/2017					
PT-CLL10-01	1,88	1,88	2,76	1,90			
Fechas	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017			
PT-CLL26-01	4,50	6,87	5,25				
Fechas	20/07/2017	04/08/2017	14/08/2017				
PT-CLL45-01	4,00	3,70	3,60	4,00	3,20	3,99	4,10
Fechas	19/06/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017
PT-CLL63-01	6,00	5,15	5,10	5,10	5,15	6,12	5,40
Fechas	03/06/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017
PT-CLL72-03	1,10	0,90	0,85	1,10	1,20	0,99	1,00
Fechas	20/05/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2016	04/08/2016	14/08/2016
PT-PLMB-PT-02	6,20	4,80					
Fechas	05/08/2017	14/08/2017					
PT-PLMB-PT-03	5,40	2,20					
Fechas	08/08/2017	14/08/2017					
PT-PLMB-VDT-01	2,10	1,50					
Fechas	07/07/2017	23/08/2017					
PT-PLMB-VDT-03	5,50	4,68	4,71	4,90			

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

PIEZOMETRO	NF1	NF2	NF3	NF4	NF5	NF6	NF7
Fechas	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017			
PT-PLMB-VDT-05	4,50	2,44	2,10				
Fechas	20/07/2017	04/08/2017	14/08/2017				
PT-PLMB-VDT-07	6,20	6,25	5,90	6,10	4,10	6,45	5,80
Fechas	14/06/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017
PT-PLMB-VDT-09	6,80	8,32	8,20	8,50	8,25	6,93	7,70
Fechas	06/06/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2017	04/08/2017	14/08/2017
PT-PLMB-VDT-11	7,50	4,70	4,40	5,20	5,10	6,19	5,15
Fechas	31/05/2017	22/06/2017	26/06/2017	30/06/2017	14/07/2016	04/08/2017	14/08/2017

Las mediciones indican las variaciones de los niveles freáticos en los piezómetros, no son en general tan significativas. De los quince (15) piezómetros instalados, en diez (10) se pudo registrar la recuperación del nivel freático, con valores comprendidos entre 0,10 y 3,10 m; en cuatro (4) piezómetros se registró un descenso del nivel freático, con valores comprendidos entre -0,10 y -1,10 m y tan solo en un piezómetro (PT-CLLE10-01), el nivel freático se mantuvo prácticamente constante. Se puede establecer por tanto, que en un 66,7% de los sitios observados, el nivel freático se recuperó, en un 26,7% el nivel freático descendió y en 0,6% el nivel freático se mantuvo constante. También se evidencia que el nivel freático no corta la superficie del terreno, a lo largo del trazado de la PLMB, permitiendo establecer que no se tienen a lo largo de este, pozos saltantes o artesianos.

Debido a que en la ciudad se presentan hundimientos del suelo, como ocurre principalmente en algunas calles y avenidas del norte y el occidente, se aduce que este fenómeno es causado por la presencia de arcillas expansivas, la extracción de aguas subterráneas, la compactación o subsidencia del terreno, el crecimiento y la evapotranspiración de ciertas especies de árboles y la deficiencia de los materiales de construcción (Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana, de Lobo-Guerrero, 1992).

En el trabajo de Lobo-Guerrero (1992) se indica que el nivel del agua subterránea en la cuenca de la Sabana está descendiendo debido a que las tasas de extracción de agua, supera las tasas de recarga de los acuíferos. Por tal motivo se han adelantado programas de monitoreo en la Sabana de Bogotá para hacer seguimiento al agotamiento de los acuíferos, ya que este proceso puede correlacionarse con el proceso de consolidación del depósito cuaternario. En 1996 se instaló una red de piezómetros dentro de la ciudad, que ha permitido tener un registro de lecturas que indican pérdidas significativas de presión en varios sectores. De igual manera se ha realizado estudios por parte de entidades como INGEOMINAS (actual Servicio Geológico Colombiano), Acueducto de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), algunas universidades y firmas de consultoría privadas, para identificar las propiedades hidrogeológicas y geotécnicas de los suelos de la Sabana de Bogotá.

Los estudios indican que efectivamente hay subsidencia en la ciudad de Bogotá, con tasas de asentamiento variable. En las mediciones realizadas por INGEOMINAS entre 2003 y 2007 en los puntos denominados como "Bogotá 3, 5, 8, 9, 11 y 15", se determinó que la subsidencia varía entre 8,8 mm/año y 32,1 mm/año, a una tasa de 21 mm/año para el occidente de la ciudad. Sin embargo se observa una variación importante en las tasas registradas para diferentes puntos y se tiene un nivel de incertidumbre alto en esta estimación, teniendo en cuenta que en la zona industrial la cual

es cercana a un tramo del proyecto, se llevan a cabo actividades de extracción de agua en forma intensiva.

La extracción de agua de los acuíferos ocasiona un abatimiento de los niveles freáticos a nivel general en la Sabana. El bombeo de agua subterránea en un pozo produce conos de abatimiento que conllevan al desarrollo de procesos locales de deformación. Establecer la influencia de estos conos de abatimiento en las deformaciones en superficie, requiere de la conformación de un modelo integral de la zona de influencia del proyecto. Para implementar este modelo es necesario contar con el inventario detallado de los pozos existentes en la zona, que incluya información sobre niveles estáticos y dinámicos, espesor y características hidráulicas de los acuíferos y caudales de explotación. Otra información importante es la relacionada con las recargas inducidas por los drenajes naturales y los efectos de la infiltración del agua lluvia.

Para alcanzar este objetivo existe una limitación significativa ya que no se cuenta con un seguimiento periódico de los caudales de explotación, ni de los niveles de agua. Adicionalmente debe tenerse en cuenta que es probable que el número de pozos sea mucho mayor el registrado por la Secretaría de Ambiente.

Una aproximación conceptual al problema de deformaciones inducidas en superficie por la extracción de agua del subsuelo es la presentada por Suárez (2014), quien a partir de un modelo numérico tridimensional simplificado conformado por una capa de acuitardo de 75 m de espesor, subyacente por un acuífero de 77 m de espesor, presenta los conos de abatimiento para pozos de extracción distanciados aproximadamente 100 m, en donde resalta que la interacción entre conos varía en profundidad, siendo significativa dentro del acuífero y reduciéndose en el acuitardo dada su baja permeabilidad.

Como resultado de los análisis se obtienen deformaciones en superficie bajas, del orden de 5 mm, para un período de 5 años de bombeo. Sin embargo se resalta que esta respuesta está controlada por el espesor del acuitardo, su permeabilidad, los caudales extraídos y el período de extracción considerado. Dada la escasez de información y la incertidumbre en la información existente, es muy posible que la cuantificación anticipada del efecto de los conos de abatimiento en la zona tenga unos niveles de precisión muy bajos.

Con el propósito de instrumentar el comportamiento actual de los niveles freáticos y deformaciones debidos a las labores de extracción local y la respuesta de los materiales frente a eventos de carga y descarga, se han instalado a lo largo del corredor de la PLMB instrumentos piezométricos, para tener un seguimiento de la variación de los niveles de agua subterránea en la zona del proyecto y sus alrededores. Así mismo, para etapas posteriores del proyecto se recomienda la instalación de puntos de control topográfico a lo largo del corredor, con el objeto de evaluar las deformaciones verticales del terreno (asentamientos) por efectos de subsidencia.

En el Informe de Diseño Geotécnico de Cimentaciones del Proyecto (Documento ETPLMB-ET03-L02-IT-G-0001-RA), se presentan las investigaciones del subsuelo y los análisis y recomendaciones de diseño, construcción y conservación de las obras.

5.2.1.16.9 Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por las actividades del proyecto

El término vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es usado para representar las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante (Foster, 1987).

En el estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, de la Secretaría Distrital de Ambiente (2013), se evalúa la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos en la Sabana de Bogotá mediante la metodología DRASTIC. En este estudio se tomó la información multi-temporal de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

- Capacidad de atenuación de la carga contaminante (2 variables)
 - Suelo, es la parte más superficial de la zona no saturada, con espesores hasta 2 metros y su importancia radica en la capacidad de atenuación de la carga contaminante.
 - Zona no saturada, es el espesor comprendido entre la superficie y el nivel freático y es considerado la primera defensa del acuífero, debido al retraso que puede generar en el tránsito del contaminante y generar procesos de atenuación.
- Resistencia o inaccesibilidad en sentido hidráulico (3 variables)
 - Régimen hidráulico del acuífero, es el grado de confinamiento de las aguas que contienen y de acuerdo al tipo de acuífero (libre, confinado y semi-confinado).
 - Profundidad del agua subterránea, es la profundidad a la cual se encuentra el agua subterránea, para los acuíferos libres es el nivel freático.
 - Características litológicas, son la definición específica del material que contiene la zona no saturada y las capas confinantes, teniendo en cuenta el grado de consolidación y el tipo de litología.
- Transporte de contaminantes (2 variables)
 - Topografía, es un factor relevante en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, dado que las variaciones de la superficie pueden permitir la evacuación de los contaminantes.
 - Recarga potencial o neta, es el volumen de agua por unidad de área que ingresa al acuífero durante un periodo de tiempo.

El método DRASTIC (su nombre viene del inglés por cada una de las variables utilizadas en la metodología), para determinar la vulnerabilidad intrínseca, se define por:

D: Profundidad del agua subterránea

R: Recarga neta

A: Litología del acuífero

S: Tipo de suelo

T: Topografía

I: Impacto en el acuífero, naturaleza de la zona no saturada

C: Conductividad hidráulica

$$iV = (Dr \cdot Dw) + (Rr \cdot Rw) + (Ar \cdot Aw) + (Sr \cdot Sw) + (Tr \cdot Tw) + (Ir \cdot Iw) + (Cr \cdot Cw)$$

iV: Índice de vulnerabilidad

r: Factor de clasificación o valoración

w: Factor de ponderación

- Generación de gráfica de variables

Se utilizó el software ArcGis, para la generación y estructuración de coberturas de cada una de las variables, elaborando un shape en formato raster, tomando como referencia principal el límite del modelo hidrogeológico de la Secretaría Distrital de Ambiente; así mismo se determinaron los rangos y las valoraciones de los parámetros de la metodología, de acuerdo al conocimiento de la zona de estudio. A continuación se presenta el proceso realizado por cada una de las variables de la metodología DRASTIC:

- D: Profundidad (m)

Inicialmente se analizó y determinó el método de interpolación más adecuado para la zona de estudio, comparando las diferentes metodologías de interpolación de datos usadas en ArcGis (kriging, natural neighbor, spline e IDW), siendo el IDW el más adecuado para el análisis de datos de profundidad (niveles estáticos) por época climática versus año, generando shapes de puntos, los cuales se procedieron, de forma individual, a interpolar por este método, generando capas tipo raster (con tamaños de celdas de 30 metros), las cuales se promediaron por año generando dos principales coberturas llamadas: prom_lluvia_Dr y prom_seca_Dr, siendo estas las primeras variables de la metodología a desarrollar.

Los rangos a utilizar para esta variable de acuerdo al método empleado, se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.1-130 Factor de valoración de la variable profundidad

D: PROFUNDIDAD (m)	Dr
0 - 1,5	10
1 ,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
> 30,5	1

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- R: Recarga (mm)

Para esta variable se adecuaron los rangos, de acuerdo a la zona de estudio y a la experiencia desarrollada por la Secretaría Distrital de Ambiente, calculando una recarga potencial en formato raster; por lo tanto en la Tabla 5.2.1-131. Se especifican los valores y los rangos para el área de interés:

Tabla 5.2.1-131 Factor de valoración de la variable recarga potencial

R: RECARGA POTENCIAL (mm)	Rr
< -200	4
-199 a -100	3
-100 a 0	1
0 a 100	2
100 a 200	3
200 a 300	4
300 a 400	5

R: RECARGA POTENCIAL (mm)	Rr
400 a 500	6
500 a 600	7
> 600	8

*Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente. Sistema de Modelamiento Hidrogeológico para el Distrito Capital. 2012

- A: Litología del Acuífero

Para esta variable también se adecuaron los valores típicos, de acuerdo a los rangos de la metodología, a la zona de estudio y a la experiencia desarrollada por la Secretaría Distrital de Ambiente, en la elaboración del Sistema de Modelamiento Hidrogeológico para el Distrito Capital, partiendo de la geología desarrollada a escala 1:25.000 y generando una cobertura tipo raster; por lo tanto en la Tabla 5.2.1-132. Se especifican los valores y los rangos para el área de interés:

Tabla 5.2.1-132 Factor de valoración de la variable litología del acuífero

A: LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO*	Ar
Lutita masiva	1 - 3
Arenas y gravas de origen glacial	4 - 6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 - 9
Arenisca masiva	4 - 9
Arena o grava	4 - 9

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- S: Tipo de Suelo

Se tuvieron en cuenta los valores y las descripciones de la variable tipo de suelo, de acuerdo a la metodología DRASTIC y al área de estudio para generar una cobertura tipo raster; valores que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5.2.1-133 Factor de valoración de la variable tipo de suelo

S: TIPO DE SUELO	Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compacto	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compacta y no agregada	1

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- T: Pendiente (%)

Es la pendiente del terreno en forma porcentual, de acuerdo a la topografía de la zona, temando en cuenta la valoración asignada en la metodología, lo que generó una cobertura tipo raster; rangos y valores que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5.2.1-134 Factor de valoración de la variable tipo de suelo

T: PENDIENTE (%)	Tr
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- I: Naturaleza de la Zona No Saturada

Para esta variable se adecuaron los valores típicos, los rangos según la metodología, de acuerdo a la zona de estudio y a la experiencia desarrollada por la Secretaría Distrital de Ambiente, partiendo de la geología desarrollada a escala 1:25.000 y generando una cobertura tipo raster; por lo tanto en la Tabla 5.2.1-135 se especifican los valores y los rangos para el área de interés:

Tabla 5.2.1-135 Factor de valoración de la variable naturaleza de la zona no saturada

I: NATURALEZA DE ZONA NO SATURADA	Ir
Capa confinante	1
Arcilla - limos	2 - 6
Lutita	2 - 5
Liditas	2 - 6
Arenisca	4 - 8
Secuencia de arenas y arcillas	2 - 6
Arena o grava	4 - 8
Secuencia de areniscas, arcillolitas y lutitas	4 - 8

*Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente. Sistema de Modelamiento Hidrogeológico para el Distrito Capital. 2012

- C: Conductividad Hidráulica (m/día)

Se tomaron en cuenta los valores y los rangos de la variable conductividad hidráulica, de acuerdo a la metodología planteada y al área de estudio, generando una cobertura tipo raster, pero teniendo en cuenta la experiencia adquirida en el desarrollo del Sistema de Modelamiento Hidrogeológico para el Distrito Capital, se considera que existe una sobreestimación de este parámetro dentro de la metodología y se sugiere seguirlo analizando; los valores se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5.2.1-136 Factor de valoración de la variable conductividad hidráulica

C: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (m/día)	Cr
0,04 - 4,08	1
4,08 - 12,22	2
12,22 - 28,55	3
28,55 - 40,75	6
40,75 - 81,49	8
> 81,49	10

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- Desarrollo de la Metodología DRASTIC

Posterior a regionalizar cada una de las variables en el software ArcGis, generando un total de 8 coberturas tipo raster, esto debido a que la metodología plantea 7 variables pero para el presente estudio se incluyó la variable profundidad dos veces, una para la temporada de alta precipitación y la otra para la temporada de baja precipitación, por lo tanto se procede a plantear la ecuación del método DRASTIC, que viene definida por:

$$iV = (Dr * Dw) + (Rr * Rw) + (Ar * Aw) + (Sr * Sw) + (Tr * Tw) + (Ir * Iw) + (Cr * Cw)$$

Para los factores de ponderación según la metodología, se tomaron los datos para el tipo de contaminante no pesticida, según el comportamiento del área de estudio, los cuales vienen definidos en la Tabla 5.2.1-137:

Tabla 5.2.1-137 Factores de ponderación para el método DRASTIC

Factores de ponderación							
Tipo de contaminante	Dw	Rw	Aw	Sw	Tw	Iw	Cw
No Pesticida	5	4	3	2	1	5	3

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

Determinando así dos planos a escala 1:50.000, con datos estadísticos para las temporadas de alta y baja precipitación, como se muestra en la Tabla 5.2.1-138:

Tabla 5.2.1-138 Estadísticas de la variable profundidad por temporada de precipitación

Temporada de alta precipitación		Temporada de baja precipitación	
ESTADÍSTICO	VALOR	ESTADÍSTICO	VALOR
Valor Mínimo	34	Valor Mínimo	34
Valor Máximo	142	Valor Máximo	147
Media	68,64	Media	69,39
Desviación Estándar	17,332	Desviación Estándar	17,948

Lo que conlleva a establecer que para el área de interés, el valor máximo de vulnerabilidad es de 147, lo que considera la metodología una zona de vulnerabilidad moderada, de acuerdo a los grados de vulnerabilidad planteados por la metodología, por tanto se establece que para el Distrito Capital se cuenta con tres grados de vulnerabilidad según la Tabla 5.2.1-139 (ver Anexo 5.2.1.14 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0006_RA).

Tabla 5.2.1-139: Grados de Vulnerabilidad – Método DRASTIC

Vulnerabilidad general	
Grado	Vulnerabilidad
Muy Bajo	23 - 64
Bajo	65 - 105
Moderado	106 - 146
Alto	147 - 187
Muy Alto	188 - 230

*Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010

- Temporada de alta precipitación

Como muestra el mapa de zonificación para la temporada de alta precipitación, se determinaron tres grados de vulnerabilidad en el área de estudio, los cuales vienen definidos por: vulnerabilidad muy baja (valores de 23-64), identificada principalmente en la zona sur-occidental del Distrito Capital, que comprende en totalidad las localidades de Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Bosa, Antonio Nariño y Tunjuelito; y parte importante de las localidades de Rafael Uribe Uribe, Los Mártires y Teusaquillo. Con una vulnerabilidad baja (valores de 65-105) en la zona noroccidental y parte sur-oriental, donde se encuentran las localidades de Suba y Barrios Unidos, parte de Engativá, Usaquén, Teusaquillo, Santa Fe y San Cristóbal; y con una vulnerabilidad moderada (valores de 106-147) distribuida en las zonas nororiental y sur oriental, donde se encuentra la localidad de Candelaria y en pequeños porcentajes las localidades de Usaquén, Los Mártires, Teusaquillo, Usme y Ciudad Bolívar, estas últimas zonas son las que se deben plantear como prioritarias en la gestión a realizar en el programa de evaluación, control y seguimiento que realiza la Secretaria Distrital de Ambiente en su jurisdicción.

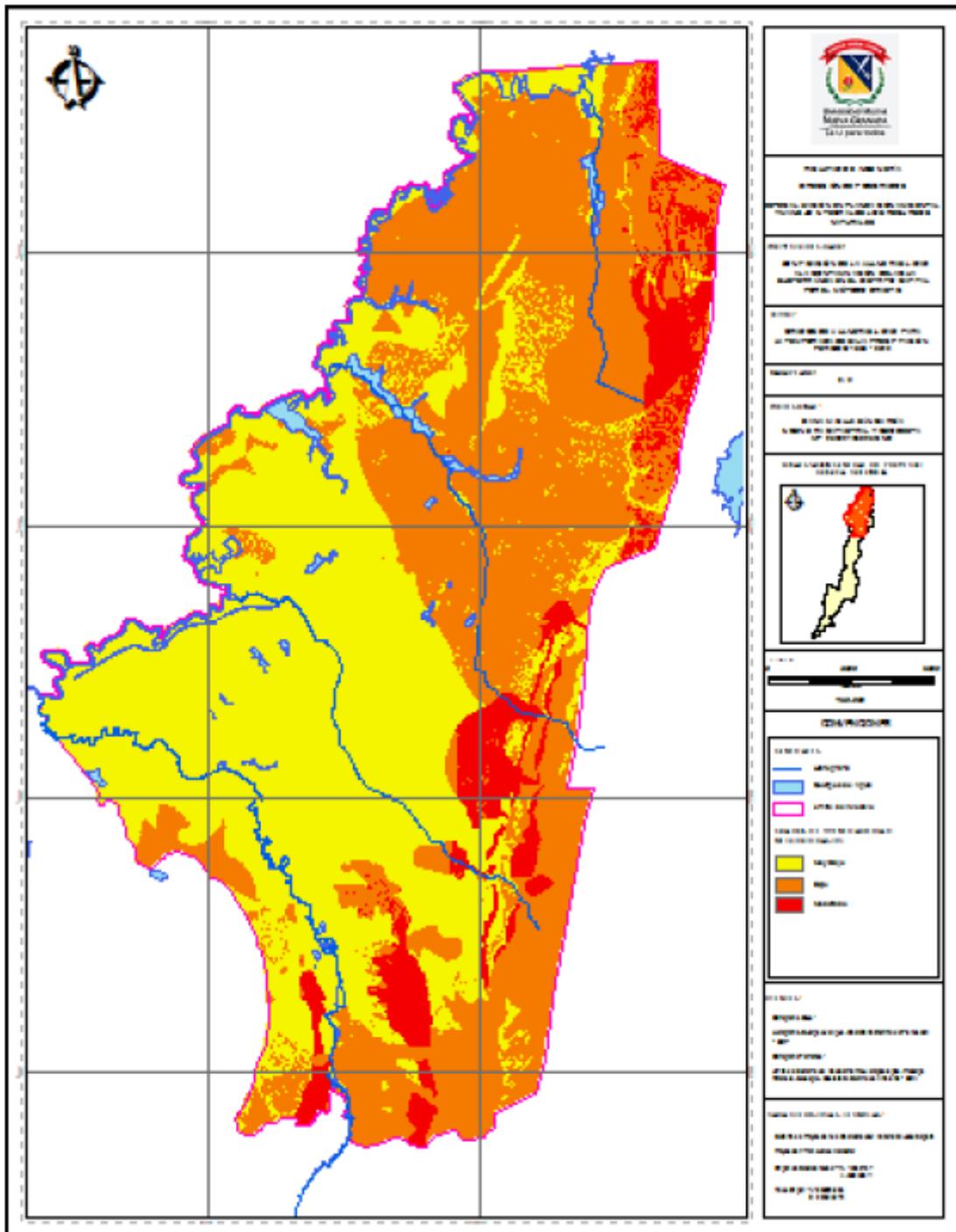


Figura 5.2.1-105 Vulnerabilidad de acuíferos en temporada de alta precipitación.
 Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

- Temporada de baja precipitación

Equivalente al mapa anterior, se presenta la zonificación para la temporada de baja precipitación, determinando tres grados de vulnerabilidad en el área de estudio, iguales a las definidas anteriormente: muy baja (valores de 23-64), donde las localidades identificadas son las mismas que en la temporada de alta precipitación, con una pequeña ampliación en la localidad de Engativá hacia el noroccidente. Con una vulnerabilidad baja (valores de 65-105) se identifican las mismas localidades del mapa anterior; y con una vulnerabilidad moderada (valores de 106-147) se encuentra la localidad de Candelaria y los porcentajes de la localidad de Usaquén aumentan hacia el nororiente del Distrito Capital, siendo estas últimas zonas las que se deben plantear como prioritarias en la gestión a realizar en el programa de Evaluación, control y seguimiento que realiza la Secretaria Distrital de Ambiente en su jurisdicción

Según lo anterior, durante las dos temporadas de baja y alta precipitación, la vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico subterráneo (DRASTIC) presenta las mismas condiciones de vulnerabilidad por lo tanto se ha tomado un solo mapa de vulnerabilidad por el método DRASTIC.

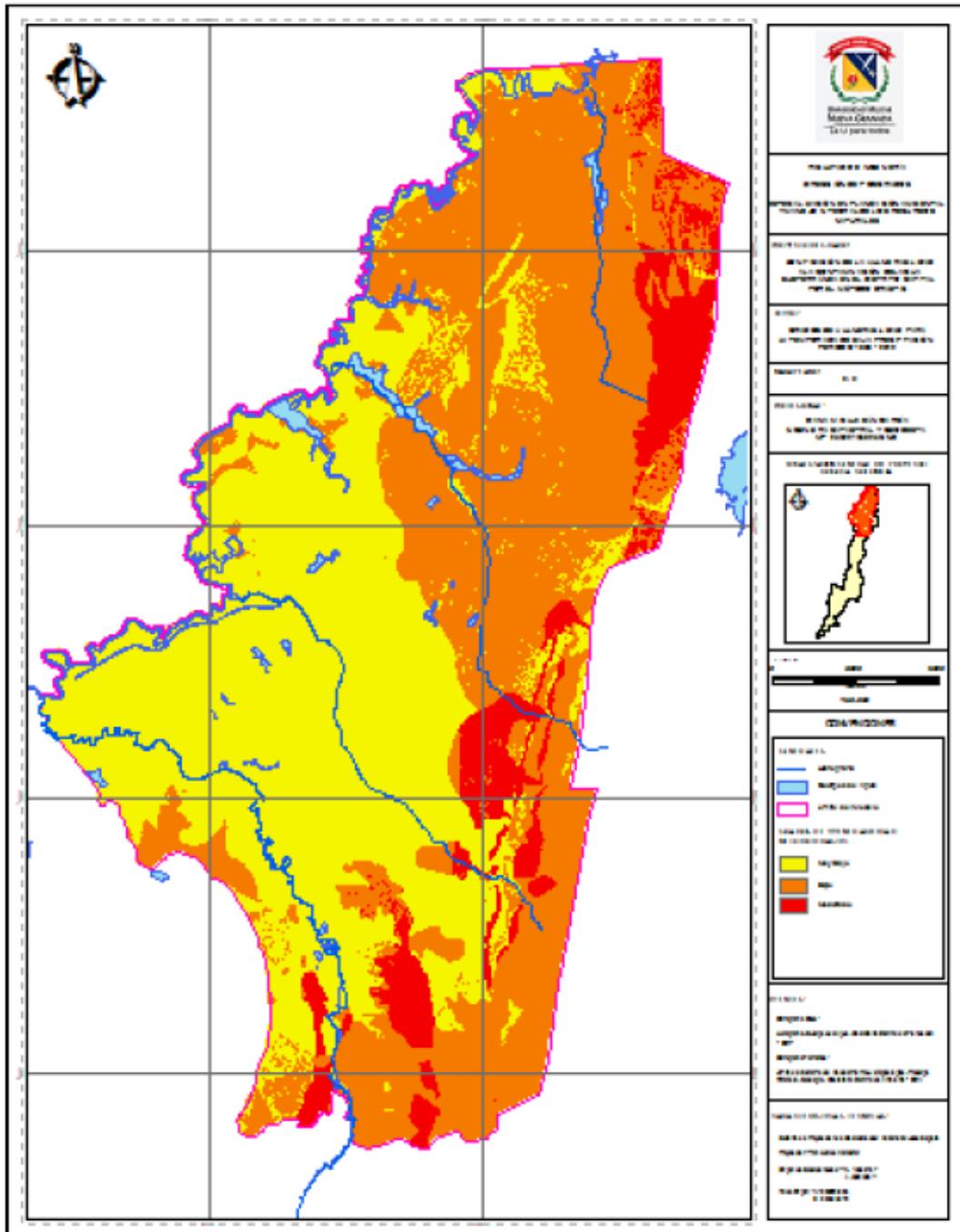


Figura 5.2.1-106 Vulnerabilidad de acuíferos en temporada de baja precipitación.
Fuente: Estudio “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

Siguiendo la metodología DRASTIC, se evaluó la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, localizados en el área de influencia indirecta del proyecto de PLMB (ver Anexo 5.2.1.14 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0006_RA).

De acuerdo a los resultados de esta evaluación, se establece que la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es: i) Muy baja en una extensión de 8257,39 hectáreas, equivalente al 74,68% del área de influencia indirecta, ii) Baja en una extensión de 1732,11 hectáreas, equivalente al 15,66% del área de influencia indirecta y iii) Moderada en una extensión de 1068,60 hectáreas, equivalente al 9,66% del área de influencia indirecta. Las zonas donde la vulnerabilidad de los acuíferos es muy baja se localizan al centro y occidente de la ciudad, mientras que las zonas de vulnerabilidad baja y moderada son las localizadas al oriente de la misma, aproximadamente paralela a los Cerros Orientales. Incide en estos resultados las siguientes causas:

- Los valores de precipitación media anual son bajos hacia el occidente de la ciudad, en inmediaciones del curso del río Bogotá y van aumentando hacia el oriente, alcanzando los valores más altos en los Cerros Orientales.
- Similarmente, los valores más bajos de infiltración, inclusive negativos, se encuentran al occidente de la ciudad, donde se encuentra el curso del río Bogotá y van incrementando hacia el oriente, con valores máximos en la zona de los Cerros Orientales,
- El nivel freático es en general, más alto al oriente de la ciudad, en proximidad a los cerros y va descendiendo paulatinamente hacia el occidente.
- En la zona de piedemonte de los Cerros Orientales se localizan depósitos cuaternarios más permeables, debido a que su litología incluye además de arcillas y niveles de turba, abundantes intercalaciones de niveles de arenas y gravas permeables, como los que conforman el Complejo de Conos.
- Alejándose de los Cerros Orientales, se encuentra la Formación Sabana y los Depósitos de Llanura de Inundación, los cuales están conformados principalmente por arcillas y limos, con intercalaciones de arena fina, arenas arcillosas y arenas limosas.

Con relación al área de influencia directa del trazado del Proyecto de la PLMB, se establece con base en los resultados obtenidos aplicando la metodología DRASTIC, que el Tramo 1 se localiza mayoritariamente en el área donde los acuíferos presentan vulnerabilidad muy baja a la contaminación y relativamente una baja proporción en la zona donde los acuíferos presentan vulnerabilidad a la contaminación, mientras que el Tramo 2, se localiza tanto en zonas donde los acuíferos presentan vulnerabilidad moderada y baja a la contaminación (ver Anexo 5.2.1.14 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0006_RA).

En este sentido se define que:

- El Tramo 1 desde el Patio-Taller hasta la abscisa K12+200, incluyendo el Portal Américas y las Estaciones Villa Blanca, Palenque, Avenida Boyacá, Avenida 68, Rosario, NQS, Santander y Hospitales, se localizan en la zona de vulnerabilidad muy baja.
- El Tramo 1 en el sector comprendido entre las abscisas K12+200 y K14+700, incluyendo las estaciones Centro Histórico y Central, se localiza en un área donde los acuíferos presentan vulnerabilidad moderada a la contaminación.
- El Tramo 2, entre las abscisas K14+700 y K16+650, incluyendo la estación Calle 45, se localiza en el área de vulnerabilidad moderada y entre las abscisas K16+650 y K20+308, incluyendo las estaciones Calle 63, Calla 72 y Tramo de Maniobras, se localiza en el área de vulnerabilidad baja.

Las zonas de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, interceptadas por el trazado del Proyecto de PLMB, se muestran igualmente en el Anexo 5.2.1.14 Plano ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0006_RA.

5.2.1.16.10 Criterios de selección de los puntos de monitoreo aguas subterráneas

La selección de los puntos de monitoreo se realizó a partir de la identificación de los tipos de acuíferos, unidades geológicas con mayor potencial de permeabilidad, áreas con mayor capacidad de infiltración y niveles freáticos superficiales (< 20 m), en el área del proyecto, estos criterios se describen en el Capítulo 4.1 sobre caracterización geológica e hidrogeológica del área de estudio.

Puntos de monitoreo de aguas subterráneas

Con el fin de evaluar la calidad del agua subterránea identificado en el área de influencia del proyecto, se realizó una campaña de monitoreos puntuales de dichas aguas. A continuación, se presenta la identificación de los puntos monitoreados a lo largo del trazado del proyecto.

Tabla 5.2.1-140 Georeferenciación puntos de monitoreo - aguas subterráneas

Puntos de monitoreo	ID	Coordenadas		Fotografía
		Norte	Oeste	
Villavicencio – Primera de Mayo	2010128-13	04°36'57,2" N	74°08'46,6" O	
PT-AV68-1	2010128-14	04°36'34,4" N	74°77'46,6." O	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Puntos de monitoreo	ID	Coordenadas		Fotografía
		Norte	Oeste	
PT-PLMB-VDT-01	2010128-15	04°36'04,9" N	74°04'53,4" O	
PT-CLL63-01	2010128-18	04°38'53,0" N	74°03'54,4" O	
PT-PLMB-VDT-11	2010128-17	04°39'04,3" N	74°03'31,3" O	
PT-CLL72-03	2010128-19	04°39'39,8" N	74°03'41,8" O	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Puntos de monitoreo	ID	Coordenadas		Fotografía
		Norte	Oeste	
PT-CLL42	2010128-20	04°39'39,8" N	74°03'41,8" O	
PT-PLMB-VDT-07	2010128-24	04°37'43,0" N	74°04'06,3" O	
PT-PLMB-VDT-05	2010128-23	04°37'11,2" N	74°04'12,2" O	
PT-PLMB-VDT-03	2010128-22	04°36'32,0" N	74°04'33,5" O	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Puntos de monitoreo	ID	Coordenadas		Fotografía
		Norte	Oeste	
PT-CLL26-01	2010128-21	04°36'46,5" N	74°04'26,7" O	

5.2.1.16.11 Metodología Análisis Fisicoquímicos

Parámetros medidos y Metodología Aplicada.

Los métodos aplicados para las mediciones in situ y análisis en laboratorio se basaron en los consignados en el “Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF” y la EPA, estos métodos se describen para cada parámetro a continuación en la Tabla 5.2.1-141.

Tabla 5.2.1-141 Parámetros evaluados, métodos y referencia

Parámetro	Método	Referencia
pH	Electrométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF, 4500 H+B (ED 22 2012)
Temperatura	Termómetro	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 2550 B (ED 22 2012)
Conductividad	Sonda	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 2510 B (ED 22 2012)
Oxígeno disuelto	Sonda	Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, 4500 O G (ED 22 2012)
Nitrógeno Kjeldah	Volumétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 4500-NH3 B y C
Grasas aceites y	Partición/infrarrojo	NTC 3362 Método C
Hidrocarburos Totales	Partición/infrarrojo	NTC 3362 Método C - S.M. 5520-F - Partición/Infrarrojo - 2.1 mg HT/L - A
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	Luminiscencia	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5210 B, ASTM 888-09

Parámetro	Método	Referencia
Demanda Química de oxígeno	Fotometrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5220 D
Tensoactivos	Fotometrico	Standard Methods for examination of water and wastewater AWWA APHA WEF S.M. 5540 C
Coliformes fecales	Microbiológico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 9223 B Modificado NMP/100
Coliformes totales	Microbiológico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 9223 B NMP/100
Fósforo total,	Colorimétrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 4500-P B, E
Turbiedad	Nefelométrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2130 B
Sólidos disueltos	Gravimetrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 C
Sólidos suspendidos	Gravimetrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 D
Sólidos sedimentables	Volumetrico	Standard Methods for examination of water and wastewater S.M. 2540 C

5.2.1.16.12 Análisis in situ aguas subterráneas

Las aguas subterráneas monitoreadas en el área de influencia del proyecto, reportaron las siguientes concentraciones de pH. Ver Figura 5.2.1-107.

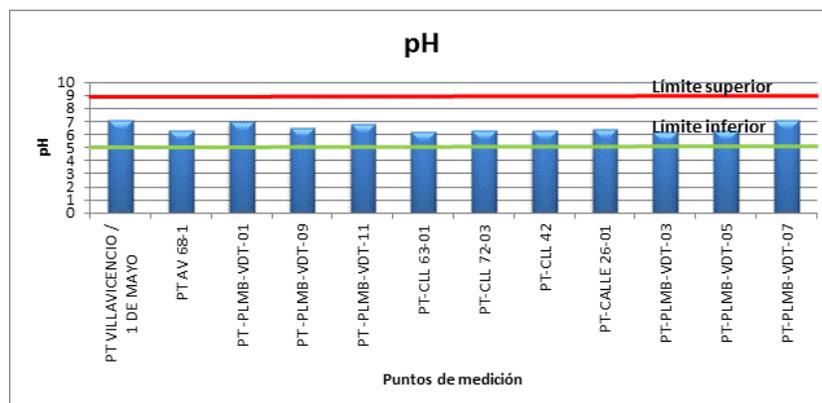


Figura 5.2.1-107 Concentraciones de pH. En Aguas Subterráneas

De acuerdo a la normatividad colombiana (Decreto 1076/2015 Sección 9 capítulo 3, ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos art 2.2.3.3.9.3) se establece como límite inferior 5 unidades y límite superior, 9 unidades. Los resultados arrojaron que las aguas se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Referente al contenido de oxígeno disuelto, los piezómetros monitoreados en el área de influencia registran valores entre 0 mgO₂/L y 5 mgO₂/L, los cuales son relativamente altos para este tipo de aguas, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas suelen estar poco oxigenadas debido al bajo intercambio gaseoso con la atmósfera y la baja producción fotosintética (MARÍN, R. 2003).

Solamente en las agua recolectadas en los pozos PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL 63-01, PT-CALLE 26-01, PT-PLMB-VDT-03, PT-PLMB-VDT-07 reporta nula la presencia de este gas (0.0 mgO₂/L).

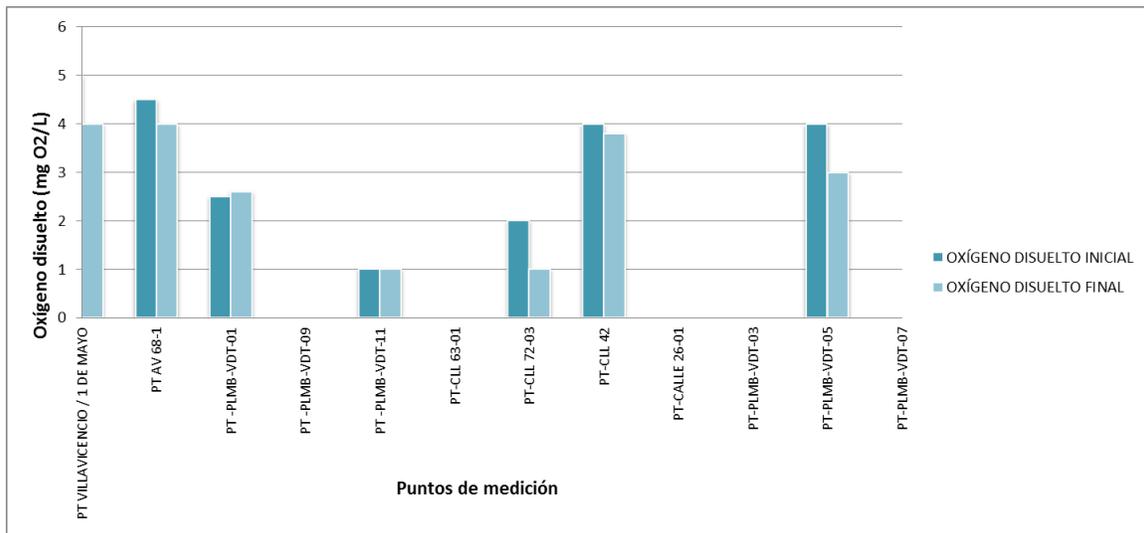


Figura 5.2.1-108 Oxígeno disuelto en aguas subterráneas

Las aguas subterráneas contienen en estado natural una serie de sales disueltas, provenientes de los diversos materiales del suelo y subsuelo (FAO, 1992), los cuales a su vez son indicativos indirectos de la mineralización del agua (conductividad y sólidos disueltos).

En referencia a lo anterior, a continuación se presenta la clasificación del grado de mineralización de las aguas:

Tabla 5.2.1-142 Escala de conductividad

Conductividad	Grado de mineralización
< 100 μ S/cm	Muy Débil
100 < 200 μ S/cm	Débil
200 < 333 μ S/cm	Media acentuada
333 < 666 μ S/cm	Media
666 < 1000 μ S/cm	Mineralización importante
>1000 μ S/cm	Mineralización excesiva

Fuente: RODIER, J. 1998. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar

Los resultados arrojaron que las aguas monitoreadas se clasifican en débil (PT-PLMB-VDT-11, PT-PLMB-VDT-05), media acentuada (PT-PLMB-VDT-07, PT-PLMB-VDT-09, PT-CLL-63-01, PT-CLL-72-03, PT-CLL42), media (PT-CALLE 26-01, PT-PLMB-VDT-03, PT-PLMB-VDT-07) y mineralización excesiva (PT VILLAVICENCIO / 1 DE MAYO).

Respecto a la temperatura de las aguas medidas, presentaron un promedio de 17,3°C. Los resultados obtenidos en la campaña de medición se presentan en la Figura 5.2.1-109.

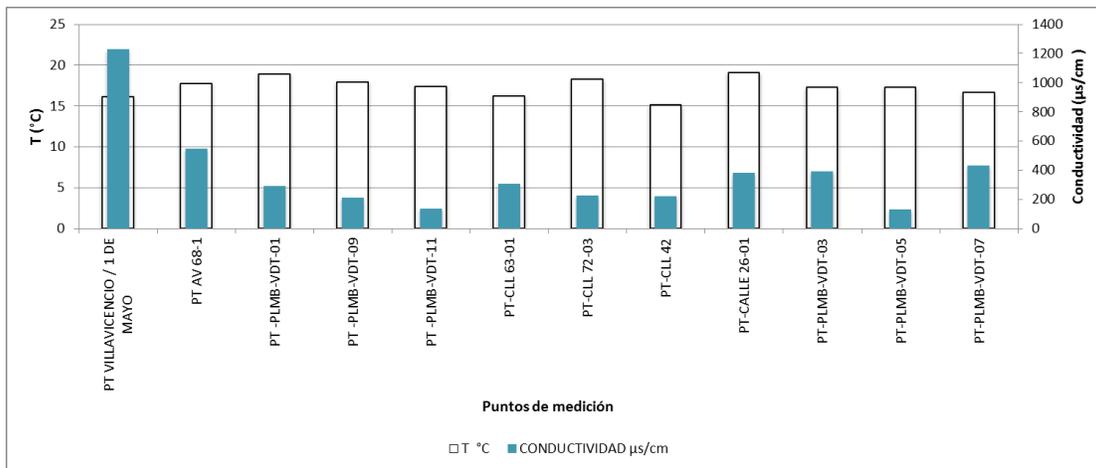


Figura 5.2.1-109 Temperatura y conductividad de agua subterránea

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-143 Resultados in situ aguas subterráneas área de influencia proyecto construcción Metro de Bogotá

AGUAS SUBTERRÁNEAS	ID MUESTRA	PT VILLAVICENCIO / 1 DE MAYO	PT AV 68-1	PT -PLMB-VDT-01	PT -PLMB-VDT-09	PT -PLMB-VDT-11	PT-CLL 63-01	PT-CLL 72-03	PT-CLL 42	PT-CALLE 26-01	PT-PLMB-VDT-03	PT-PLMB-VDT-05	PT-PLMB-VDT-07	DECRETO 1076/2015 SECCIÓN 9 CAP 3, ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO Y VERTIMIENTOS ART 2.2.3.3.9.3	DECRETO 1076/2015 SECCIÓN 9 CAP 3, ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO Y VERTIMIENTOS ART 2.2.3.3.9.4
	FECHA DE MUESTREO	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17	07-08-17		
COMPONENTE	UNIDAD	2010128-13	2010128-14	2010128-15	2010128-16	2010128-17	2010128-18	2010128-19	2010128-20	2010128-21	2010128-22	2010128-23	2010128-24		
ANÁLISIS IN SITU															
OXÍGENO DISUELTO INICIAL	mg O2/L	5	4,5	2,5	0	1	0	2	4	0	0	4	0	NR	NR
OXÍGENO DISUELTO FINAL		4	4	2,6	0	1	0	1	3,8	0	0	3	0	NR	NR
PH / T (°C)	Uni, pH	7,11/16,10	6,31/17,77	7,04/18,91	6,53/17,96	6,75/17,42	6,19/16,20	6,34/18,26	6,3/15,1	6,45/19,05	6,16/17,25	6,32/17,27	7,09/16,63	5,0-9,0	6,5-8,5
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	16,1	17,77	18,91	17,96	17,42	16,2	18,26	15,1	19,05	17,25	17,3	16,6	NR	NR
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	1227	546,9	288,3	212,7	136,9	303,9	223,7	222,7	380,9	391,6	127,9	432,5	NR	NR

5.2.1.16.13 Análisis físico químico aguas subterráneas

Los resultados son comparados con las normativas colombianas vigentes:

- Decreto 1076 de 2015: Capítulo 3 Ordenamiento Del Recurso Hídrico - Sección 9 Disposiciones transitorias expedida por el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4.

El Nitrógeno total corresponde a la suma de los valores de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal presentes en el agua. En cuanto a la norma colombiana Decreto 1594 de 1984, cuando el recurso es destinado a consumo humano, la concentración de amoniaco debe ser menor o igual a 1 mg/L de N y la de nitratos y nitritos 10 mg/L de N.

Para el caso de las aguas medidas en la zona de influencia de la PLMB se presentaron valores entre 0-10 mg/L de Nitrógeno total. Las aguas monitoreadas en el área de influencia del proyecto, reportaron las siguientes concentraciones de fósforo total y Nitrógeno total:

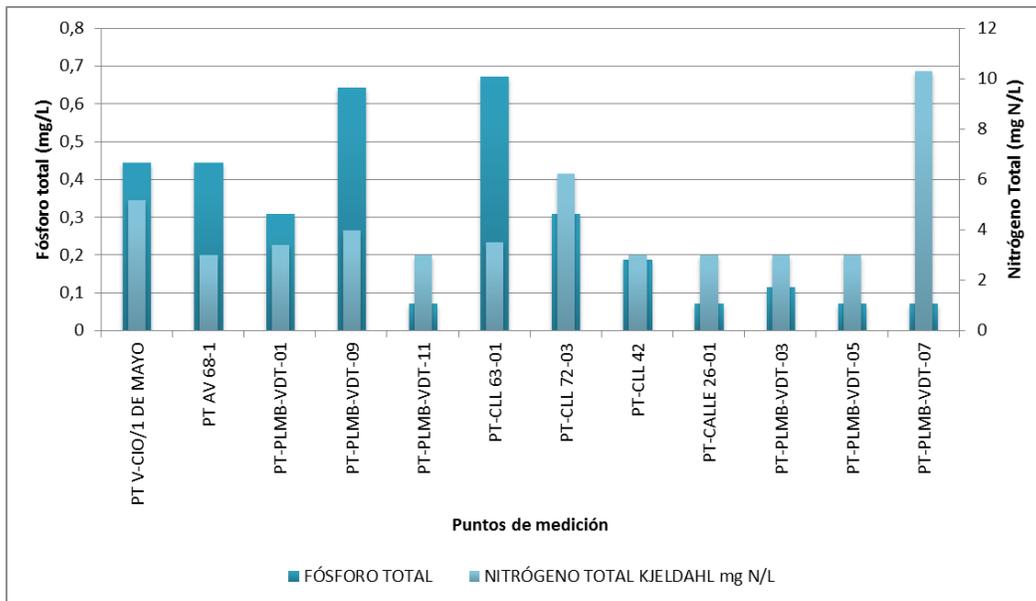


Figura 5.2.1-110 Concentraciones de Fósforo y Nitrógeno Total

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Aunque la norma no establece un límite permisible para este componente, se encontró en dos (2) puntos de medición una alta concentración de grasas y aceites (41.1 mg/l en PT-PLMB-VDT-11 y 43.8 mg/L en PT-PLMB-VDT-07). Respecto a los hidrocarburos totales, el análisis arrojó que el punto PT-PLMB-VDT-07 supera los 35 mg/L.

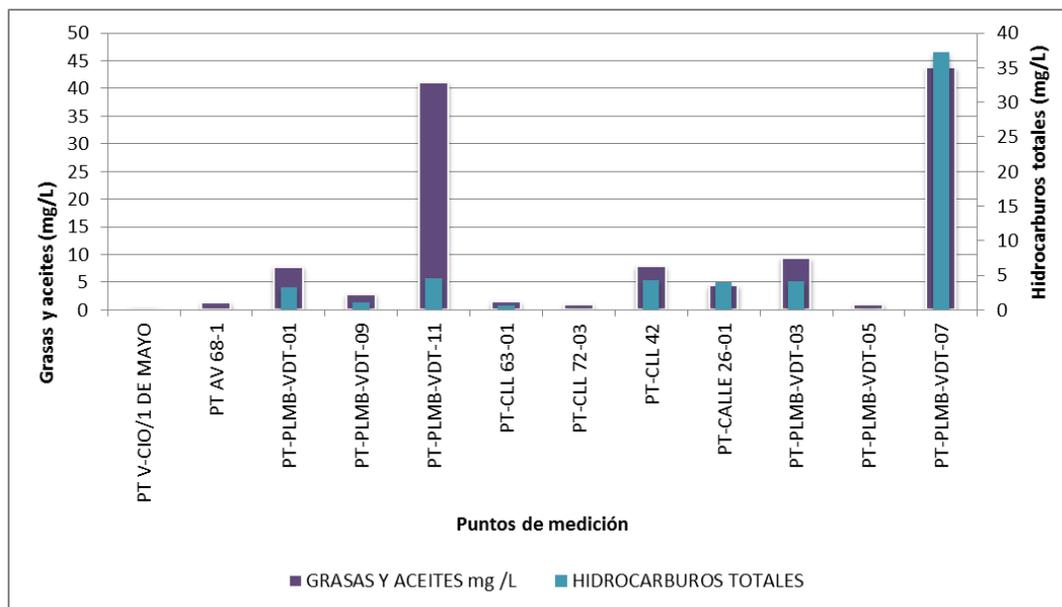


Figura 5.2.1-111 Concentraciones de grasas y aceites

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración, etc. La mayor concentración de sólidos disueltos se encontraron en las muestras PT-Villavicencio/1 de mayo (685 mg/L), PT AV68-1 (680 mg/L) y PT CLL 42 (588 mg/L)

En cuanto al contenido de sólidos disueltos, en función de la concentración de este parámetro, pueden ser clasificadas en aguas dulces, salobres, saladas o salmueras (LÓPEZ, J. *et al*, 2009). De acuerdo con los valores obtenidos, las aguas subterráneas monitoreadas en el área de influencia, se clasifican como aguas dulces por presentar niveles entre menores a 1000 mg/L. En la Tabla 5.2.1-144 se presenta la clasificación de las aguas.

Tabla 5.2.1-144 Clasificación de la calidad del agua subterránea

Tipo	TSD (mg/L)
Agua dulce	1000
Agua salobre	5000
Agua salada	40000
Agua salmuera	>40000

Fuente: LÓPEZ, J. *et al*, 2009. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo

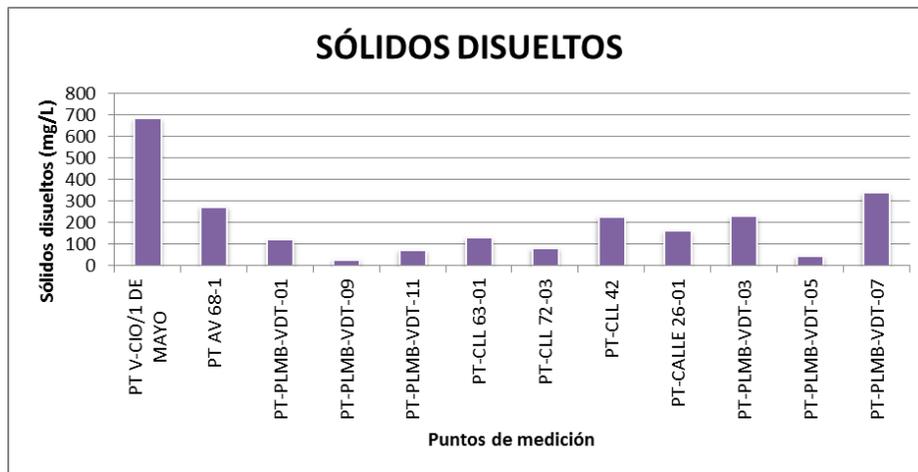


Figura 5.2.1-112 Concentraciones de sólidos disueltos

En cuanto a los sólidos suspendidos, estos se encuentran en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas y son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua. Las mediciones arrojaron que el punto PT-Villavicencio/1 de mayo presenta una concentración de 6435 mg/L. La normatividad colombiana ha establecido un límite permisible de dicho parámetro.

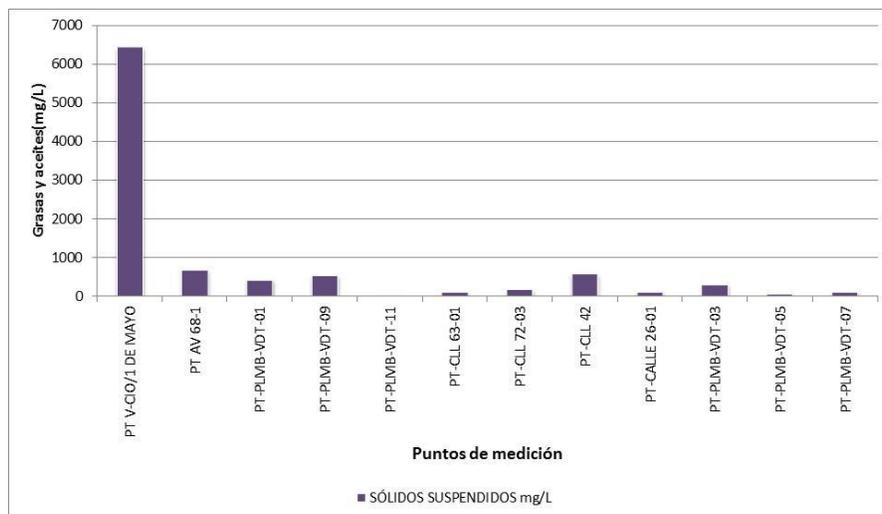


Figura 5.2.1-113 Concentraciones de sólidos suspendidos

Análisis bacteriológico

El análisis bacteriológico permite evidenciar contaminación por Coliformes totales en las aguas subterráneas del área de influencia. A continuación, se presentan los resultados de las mediciones en el trazado.

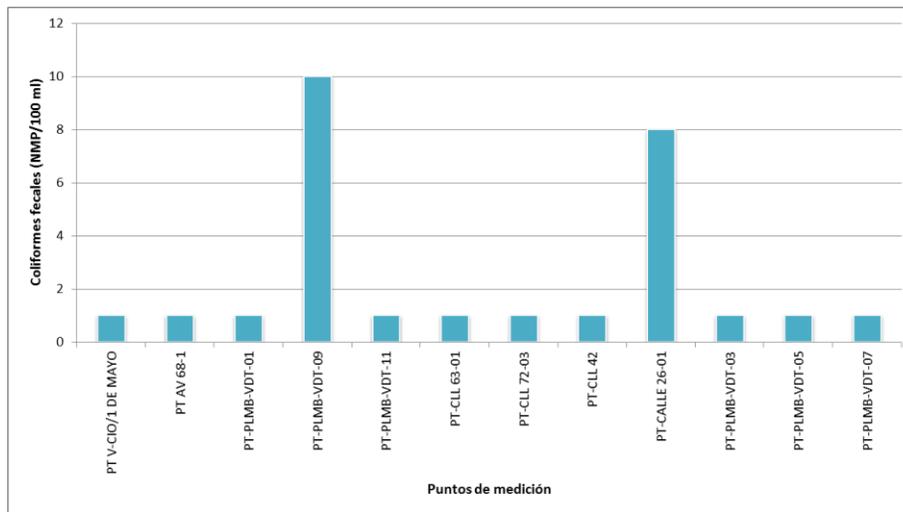


Figura 5.2.1-114 Concentraciones de Coliformes fecales

Los Coliformes fecales son un subgrupo de los Coliformes totales presentes en heces fecales. Están formados por Escherichia coli y ciertas especies de Klebsiella. La normatividad colombiana establece como límite máximo permisible 2000 NMP/100 ml, por lo tanto, las mediciones realizadas a lo largo del corredor se encuentran en los niveles mínimos frente a la norma.

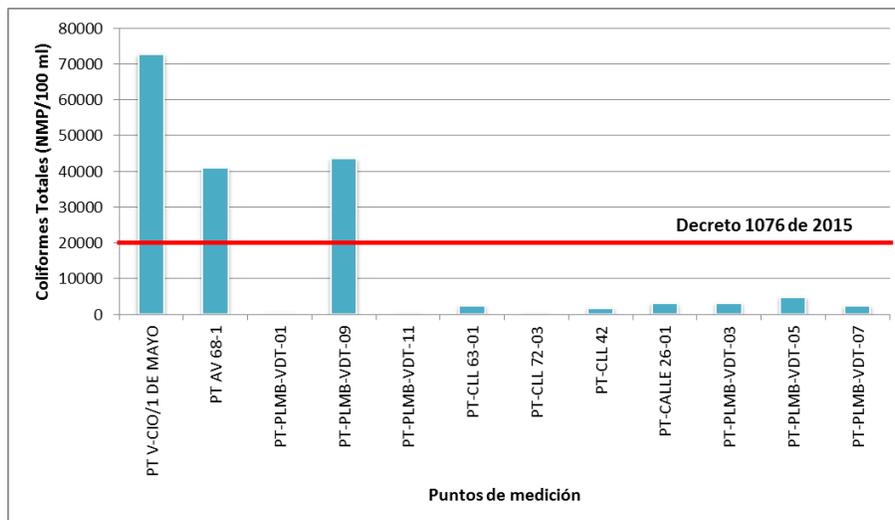


Figura 5.2.1-115 Concentraciones de Coliformes Totales

El grupo de microorganismos Coliformes es indicador de contaminación bacteriana. Los puntos de muestreo PT VILLAVICENCIO/1ERO MAYO, PT AV 68-1, PT-PLMB-VDT-09, en el análisis de Coliformes totales, cuyos valores no se encuentran dentro del rango establecido del artículo 2.2.3.3.9.3.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las mediciones

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-145 Resultados de análisis laboratorio de las aguas subterráneas área de influencia del proyecto

AGUAS SUBTERRÁNEAS	ID MUESTRA	PT V-CIO/1 DE MAYO	PT AV 68-1	PT-PLM B-VDT -01	PT-PLMB-VDT-09	PT-PLMB-VDT-11	PT-CLL 63-01	PT-CLL 72-03	PT-CLL 42	PT-CALLE 26-01	PT-PLMB-VDT-03	PT-PLMB-VDT-05	PT-PLMB-VDT-07	DECRETO 1076/2015	DECRETO 1076/2015
	FECHA DE MUESTREO	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	07/08/2017	05/08/2017	05/08/2017	05/08/2017	05/08/2017	05/08/2017	SECCIÓN 9 CAP3, ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO Y VERTIMIENTOS
COMPONENTE	UNIDAD	2010128-13	2010128-14	2010128-15	2010128-16	2010128-17	2010128-18	2010128-19	2010128-20	2010128-21	2010128-22	2010128-23	2010128-24	ART 2.2.3.3.9.3	ART 2.2.3.3.9.4
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS															
FÓSFORO TOTAL	mg/L	0,443	0,443	0,308	0,643	<0,07	0,672	0,308	0,186	<0,07	0,114	<0,07	<0,07	NR	NR
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg N/L	5,17	<3,00	3,39	3,96	<3,00	3,51	6,22	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	10,3	NR	NR
GRASAS Y ACEITES	mg /L	0,21	1,28	7,78	2,73	41,1	1,47	0,972	7,83	4,38	9,31	0,992	43,8	No se acepta película visible de grasas	No se acepta película visible de grasas
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<0,2	0,258	3,21	1,06	4,55	0,553	<0,2	4,22	3,98	4,06	0,345	37,2	NR	NR
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	685	274	122	28,7	71,7	130	82	227	162	230	44	341	NR	NR
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	6435	680	432	534	53,9	127	185	588	127	314	66	127	NR	NR
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS															
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	<1	<1	<1	10	<1	<1	<1	<1	8	<1	<1	<1	2000	NR
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	72700	41060	435	43520	228	2381	172	1725	3026	3130	4833	2382	20000	1000

5.2.1.16.14 *Análisis aguas subterráneas Patio-Taller*

La Tabla 5.2.1-146 presenta los resultados fisicoquímicos obtenidos para el análisis de los puntos ubicados en el Patio-Taller.

Tabla 5.2.1-146 Resultados físico-químicos (Patio-Taller)

Aguas subterráneas INGETEC 2010128	ID Muestra	Pt-plmb-pt-03	Pt-plmb-02	Decreto 1076/2015 sección 9 cap3, ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos art 2.2.3.3.9.3	Decreto 1076/2015 sección 9 cap3, ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos art 2.2.3.3.9.4
	FECHA DE MUESTREO	2017-08-31	2017-08-31		
COMPONENTE	UNIDAD	2010128-25	2010128-26		
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FÓSFORO TOTAL	mg/L	1,44	1,88	NR	NR
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg N/L	14,6	5,60	NR	NR
GRASAS YACEITES	mg /L	0,672	6,33	No se acepta película visible de grasas	No se acepta película visible de grasas
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	0,303	4,13	NR	NR
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	306	540	NR	NR
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	233	1870	NR	NR
ANÁLISIS BACTERIOLOGICOS					
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	34600	51200	2000	NR
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	648800	1203300	20000	1000

Es posible evidenciar contaminación por coliformes totales y fecales (en los puntos PLMB-PT-03 y PT-PLMB-02) al registrar valores de coliformes totales y fecales, superiores a los niveles aceptados en los Artículos 2.2.3.3.9.3. y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076/2015.

5.2.1.17 Componente atmosférico

5.2.1.18 Meteorología

La caracterización climatológica de la zona se realizó con base en los datos registrados en las estaciones operadas por el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales), EAB (Empresa de acueducto de Bogotá) y SDA (Secretaria Distrital de Ambiente).

Se presenta la información recopilada, los periodos de registro de cada estación y el periodo común de análisis de cada parámetro y la caracterización temporal de las variables climáticas, así como la distribución espacial de la precipitación total en la zona del proyecto.

Adicionalmente se realizó la revisión del documento de estudio ambiental realizado en el año 2015 por el IDU (Instituto de desarrollo urbano).

5.2.1.18.1 Estudios anteriores

El IDU desarrolló un estudio de impacto ambiental donde realizó la caracterización climática de la zona.

En este documento la estación utilizada para evaluar el comportamiento de las variables climáticas fue la estación Kennedy operada por la Secretaria Distrital de Ambiente. Los parámetros que fueron analizados en dicha etapa fueron: Velocidad del viento, dirección del viento, Temperatura, Precipitación total, Radiación solar, humedad relativa y presión. No se especifica el periodo de registro, solo se mencionan que utilizaron el año más actual disponible en ese momento (2013).

5.2.1.18.2 Recopilación de información

La zona donde se proyecta el trazado de la línea de metro se encuentra instrumentada con estaciones climatológicas que permiten conocer el comportamiento de variables tales como precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa, nubosidad, velocidad y dirección del viento, entre otras.

En la zona se encuentran 17 estaciones, de las cuales 4 son operadas por el IDEAM, 9 son operadas por la Empresa de Acueducto de Bogotá y 4 son operadas por la Secretaria de ambiente, de estas estaciones se realizó la recopilación de información disponible.

Las características de las estaciones se presentan en la Tabla 5.2.1-147 y su localización se presenta en la Figura 5.2.1-116

Tabla 5.2.1-147 Caracterización de estaciones

Nombre	Tipo estación	Código	Entidad que la opera	Periodo de registro	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
VENADO ORO VIVERO	CO	2120558	IDEAM	Nota 1	4°35´	74°03´	2725
APTO EL DORADO	SP	2120579	IDEAM	Nota 1	4°42´	74°09´	2547
UNIVERSIDAD NACIONAL	CP	2120622	IDEAM	Nota 1	4°38´	74°05´	2556
INEM KENNEDY	CO	2120656	IDEAM	Nota 1	4°39´	74°08´	2580
KENNEDY	Automática	-	SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE	2010--2016	4°37´	74°9´	2580
CARVAJAL	Automática	-	SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE	2010--2016	4°35´	74°8´	2563
SAN CRISTOBAL	Automática	-	SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE	2010--2016	4°35´	74°5´	2688
TUNAL	Automática	-	SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE	2010--2016	4°34´	74°7´	2589
CAMAVIEJA	PG	2120569	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1975-2016	4°38´	74°06´	2640
SAUCEDAL II	PM	2120207	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1999-2016			2900
EL GRANIZO	PG	2120032	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1947-2017	4°37´	74°03´	3125

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Nombre	Tipo estación	Código	Entidad que la opera	Periodo de registro	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
SAN DIEGO	PG	2120023	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1947-2017	4°37'	74°04'	2700
SAN LUIS	PG	2120040	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1936-2017	4°39'	74°03'	2959
USAQUEN SANTA ANA	PG	2120111	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1929- 2017	4°42'	74°02'	2647
BOSA BARRENO	PG	2120154	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1942-2017	4°36'	74°11'	2550
SANTA LUCIA	PG	2120052	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1956-2017	4°35'	74°08'	2630
EL DELIRIO	PG	2120013	ACUEDUCTO DE BOGOTÁ	1933-2017	4°33'	74°04'	3000

Dónde:

CO: Climatológica ordinaria

CP: Climatológica principal

SP: Sinóptica principal

PG: Pluviográfica

PM: Pluviométrica

**Nota 1: Periodos de cada uno de los parámetros registrados en las estaciones operadas por las diferentes entidades.*

A continuación se presenta la localización de las estaciones:

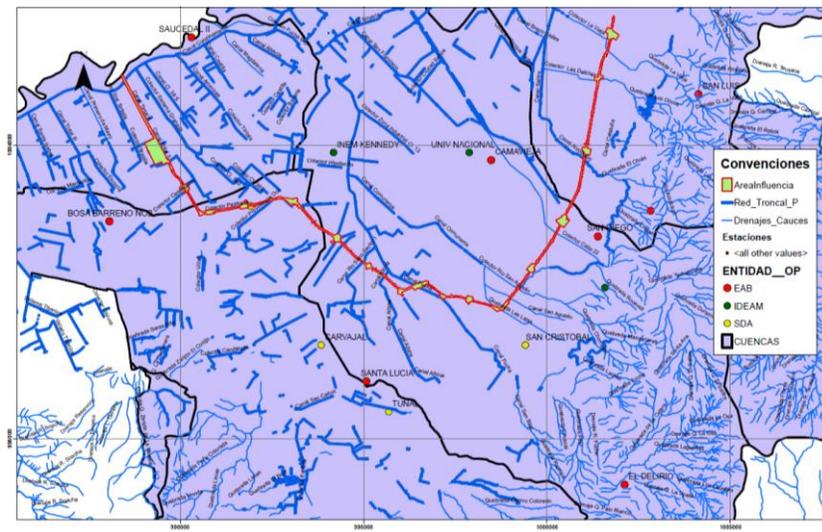


Figura 5.2.1-116 Localización estaciones

Una vez fueron recopilados los registros de las estaciones se realizó la caracterización temporal de los parámetros y la distribución espacial de la precipitación total. Los resultados se presentan a continuación:

5.2.1.18.3 Variación temporal de parámetros climáticos

Para la caracterización climática de la zona de estudio se tendrá en cuenta el periodo común de las estaciones del IDEAM, teniendo en cuenta que las estaciones del Acueducto de Bogotá solo registran lluvias y que las estaciones de la secretaria tiene un periodo de registro corto (2010 – 2016), para la caracterización de la precipitación total y precipitación máxima también se tendrán en cuenta los registros del Acueducto para la definición del periodo común presentado. Los resultados se presentan a continuación en la Tabla 5.2.1-148:

Tabla 5.2.1-148 Periodo común parámetros estaciones IDEAM - ACUEDUCTO

Parámetro	Periodo en común
Brillo solar	1998-2012
Evaporación	1999-2013
Humedad relativa	1998-2012
Nubosidad	1999-2013
Precipitación número de días	1998-2013
Precipitación total	1999-2016
Precipitación máxima	1998-2013
Punto de rocío	1988-2012
Temperatura media	1998-2011
Tensión de vapor	1988-2011
Temperatura mínima	1998-2011
Temperatura máxima	1998-2011
Velocidad del viento	1980-2012

Los registros de las estaciones de la Secretaria de Ambiente se tuvieron en cuenta para conocer el comportamiento temporal de las variables que cada una registra en el periodo reciente 2010 – 2016.

A continuación se realiza el análisis para cada una de las variables registradas por las estaciones:

Brillo solar

El parámetro de brillo solar es registrado por cuatro estaciones: Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional, con periodo en común (1998-2012). La distribución temporal de esta variable se presenta en la Figura 5.2.1-117

La estación Venado Oro Vivero tiene el registro con menor cantidad de horas de brillo solar entre todas las estaciones durante todos los meses, siendo el valor más bajo de 62,30 horas en abril.

El registro más bajo para la estación Aeropuerto El Dorado es 94,48 horas en el mes de mayo, diferente al comportamiento de las demás estaciones que tienen su registro más bajo en abril.

Enero es el mes en que todas las estaciones que miden brillo solar registran la mayor cantidad de horas, con el valor más alto de 177,03 horas de la estación Universidad Nacional.

Con respecto a la localización de cada una de las estaciones, se puede interpretar que aquellas situadas hacia el occidente y sur occidente de la ciudad registran mayor cantidad de horas, en comparación a las que están localizadas en el oriente de la ciudad (Estación Venado Oro Vivero).

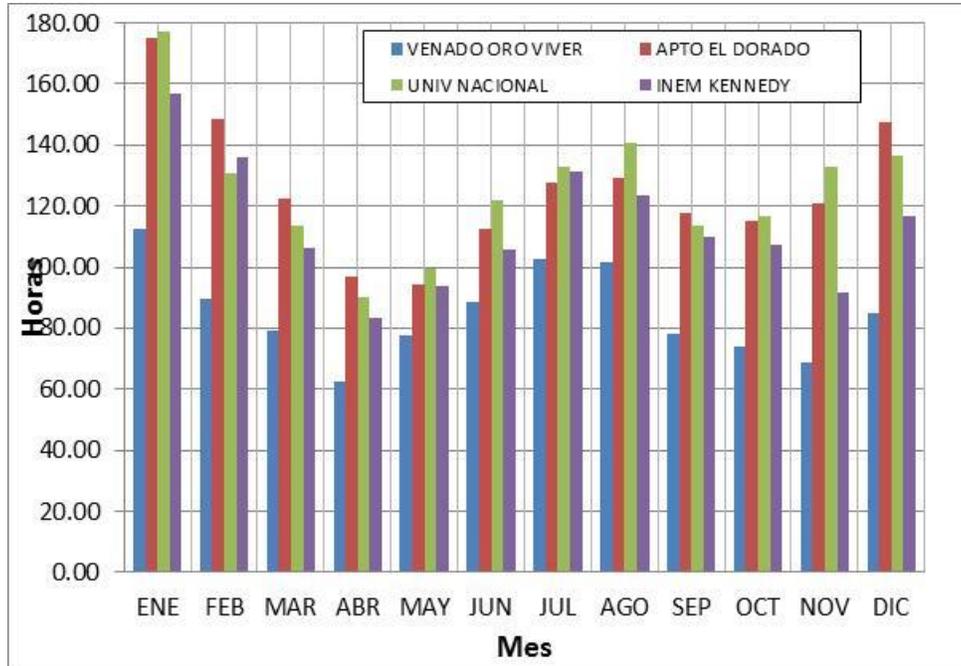


Figura 5.2.1-117 Distribución temporal del brillo solar

Evaporación

Las estaciones que miden este parámetro son: Venado Oro Vivero, Inem Kennedy y Universidad Nacional, con periodo en común (1999-2013).

Durante todos los meses del año, la estación Venado Oro Vivero tiene el registro con menor cantidad de evaporación entre todas las estaciones, siendo el valor más bajo de 57,94 mm en octubre.

La estación Inem Kennedy tiene los registros con mayor cantidad de evaporación entre todas las estaciones, siendo el registro más alto 110,38 mms.

Las estaciones que están localizadas al occidente y sur occidente de la ciudad presentan la mayor cantidad de milímetros de evaporación, con respecto a las ubicadas hacia el oriente (Venado Oro Vivero). Lo anterior se presenta en la

Figura 5.2.1-118.

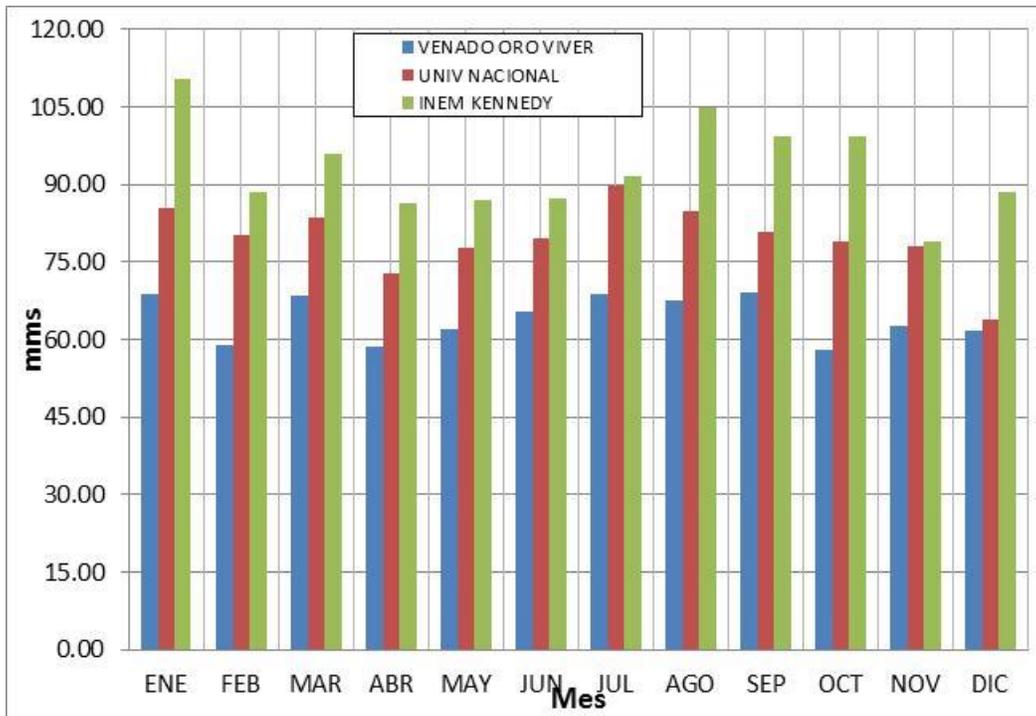


Figura 5.2.1-118 Distribución temporal de la evaporación

Humedad relativa

La humedad relativa es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura.

El parámetro humedad relativa está medido por cuatro estaciones del IDEAM (Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional) con un periodo en común 1998-2012 y tres de la SDA (Kennedy, San Cristóbal y Tunal) con un periodo en común más actual de 2010-2016.

La estación Venado Oro Vivero registra los mayores valores entre todas las estaciones, con su valor más alto de 83,90 % en el mes de noviembre.

El menor registro entre todos los meses pertenece a la Estación San Cristóbal, con 54,66% en enero.

Debido a que el periodo en común de las estaciones que pertenecen a la secretaria de ambiente de Bogotá es menor a las estaciones que pertenecen al IDEAM, los registros de humedad relativa son menores en todos los meses, lo que indica que los mayores valores de este parámetro se presentaron en años previos al 2010. A continuación se muestra la distribución temporal de esta variable en la

Figura 5.2.1-119

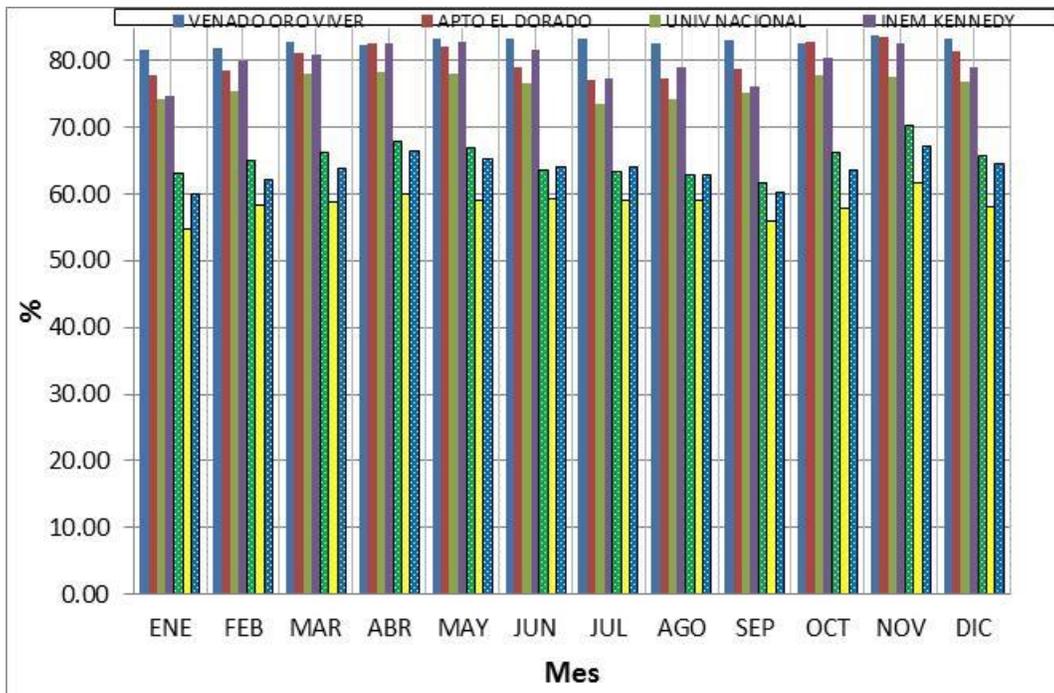


Figura 5.2.1-119 Distribución temporal de humedad relativa

Nubosidad

La nubosidad está registrada en la zona por cuatro estaciones del IDEAM con un periodo en común (1999-2013) que registran los valores para el parámetro de nubosidad son: Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional.

Enero es el mes en el que todas las estaciones registran la menor cantidad de octas, convirtiéndose en el mes con menos nubosidad.

La estación Venado Oro Vivero tiene el mayor registro de este parámetro, con un valor de 7,38 octas en el mes de mayo.

Los registros de la estación Universidad Nacional están iguales o por debajo de 6 octas, con el valor más bajo de 4,33 octas en el mes de enero y el mayor de 6 octas en los meses de septiembre y octubre.

Por su parte la estación del Aeropuerto El Dorado presenta valores intermedios entre las dos estaciones ya mencionadas, su menor registro fue en el mes de enero y su mayor registro se presentó en el mes de marzo.

La distribución temporal de esta variable se presenta en la

Figura 5.2.1-120

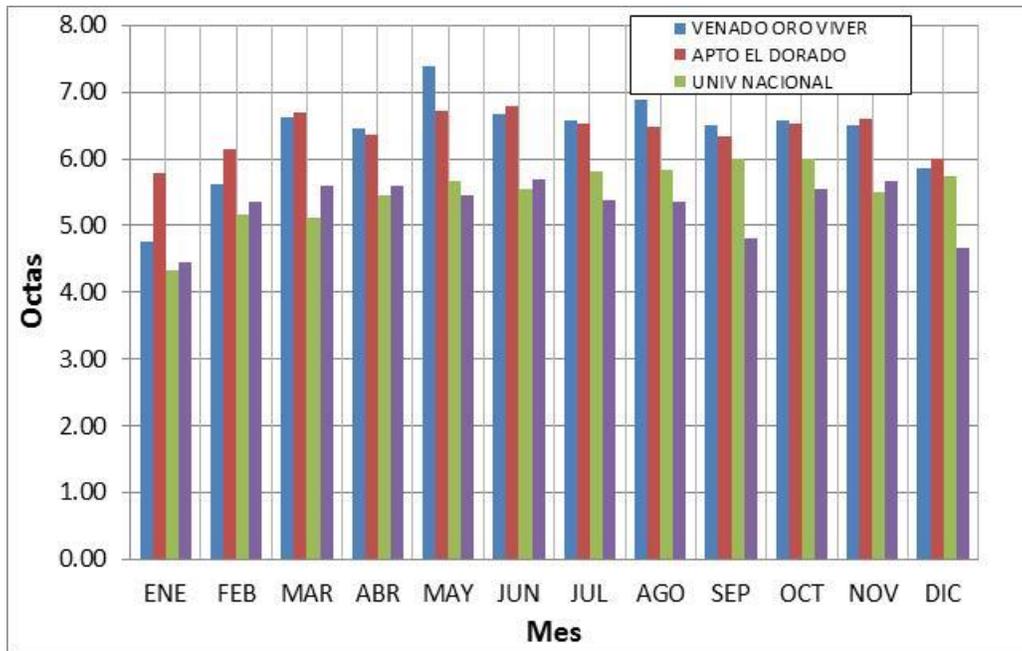


Figura 5.2.1-120 Distribución temporal de nubosidad

Precipitación número de días

Este parámetro es registrado por cuatro estaciones del IDEAM: Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional., los registros tienen un periodo común (1998-2013)

Mayo es el mes donde todas las estaciones registran la mayor cantidad de número de días de precipitación. La estación Venado Oro Vivero tiene los registros más altos de número de días en todo el año, con un valor de 24.

La menor cantidad registrada de número de días de precipitación se presenta en el mes de enero, con el valor más bajo de la estación Inem Kennedy de 7 días.

A continuación se muestra en la Figura 5.2.1-121 la distribución temporal de esta variable.

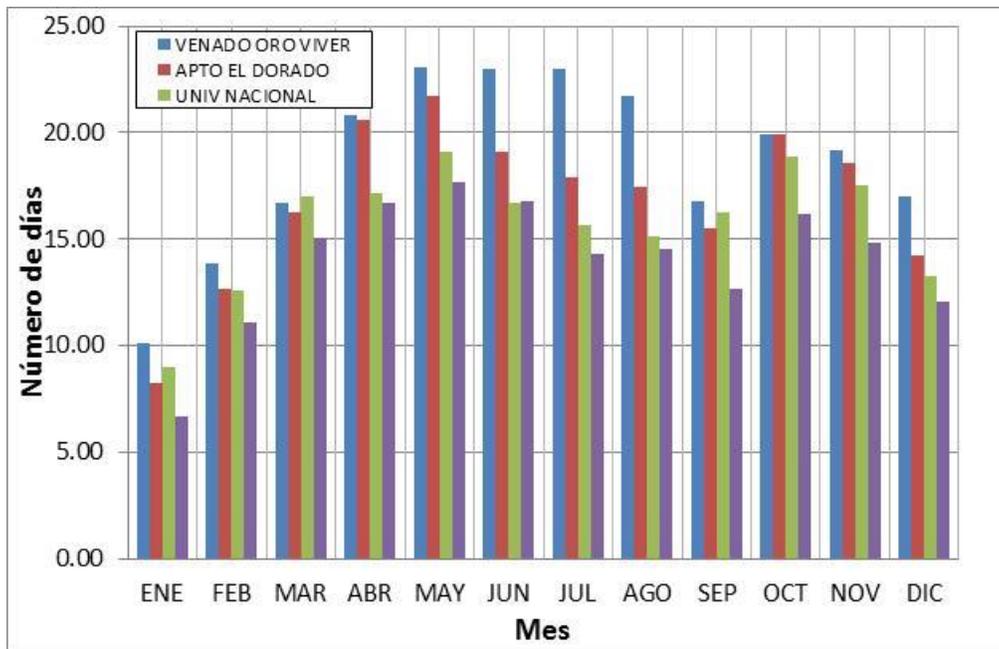


Figura 5.2.1-121 Distribución temporal de precipitación número de días

Presión

La caracterización temporal de la presión se realizó a partir de la estación de la SDA (Kennedy), con periodo de registro 2010-2016., ya que es la única estación de la zona que registra este parámetro.

El mayor valor de presión se presentó en abril con un valor de 744 milibares y el menor valor registrado fue en el mes de agosto con 600 milibares.

A continuación se presenta en la Figura 5.2.1-122 la distribución temporal de esta variable

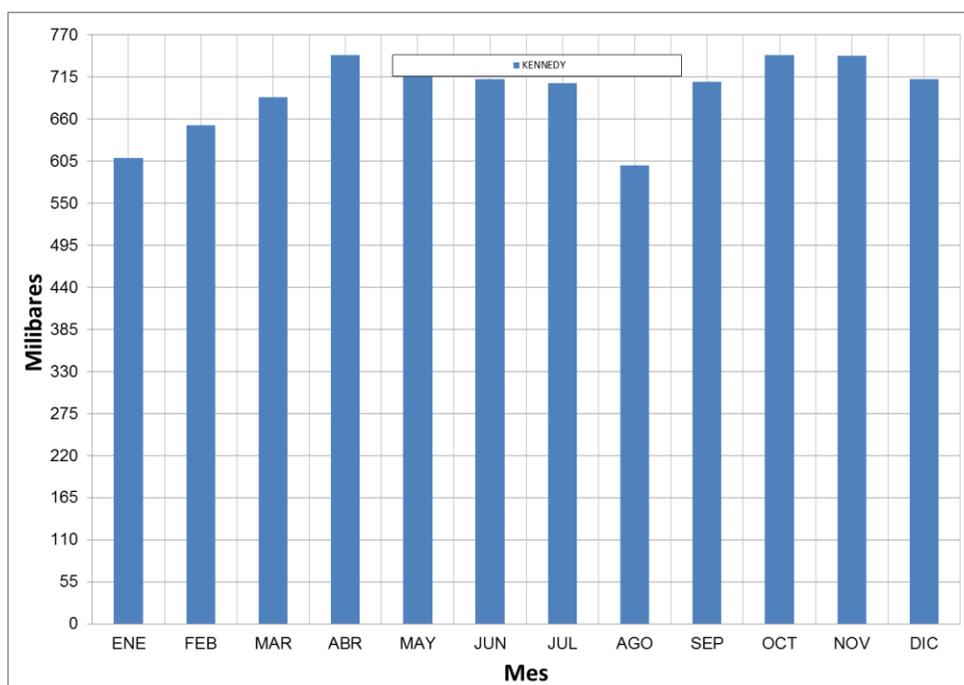


Figura 5.2.1-122 Distribución temporal de presión

Precipitación total

El análisis de este parámetro se realiza con base a los registros tomados de las estaciones que están localizadas en el trazado del proyecto y que pertenecen a tres entidades diferentes: Saucedal II, Camavieja, El Granizo, San Diego, San Luis y Usaquén Santa Ana de EAB. Inem Kennedy y Aeropuerto El Dorado del DEAM y por último Kennedy, Tunal, San Cristóbal y Carvajal operadas por la Secretaria de Ambiente.

Los periodos en el año en donde todas las estaciones que miden este parámetro registran la mayor cantidad de lluvias son dos: Marzo-mayo y octubre-noviembre, como se observa en la Figura 5.2.1-123 Los periodos secos son aquellos meses en donde se presentan menor cantidad de lluvias durante el año, los cuales son: diciembre-febrero, junio-septiembre.

El mayor registro de este parámetro para la estación El Granizo es 174,44 mms, en el mes de noviembre.

La estación Inem Kennedy tiene el menor registro de precipitación total en enero, con un valor de 16,57 mms. Adicionalmente, esta estación en todos los meses del año tiene el registro más bajo de todas las estaciones.

En noviembre, la estación San diego tiene su mayor registro, con un valor de 173,72 mms. Su menor registro es 57,95 mms en el mes de junio.

La localización es una variable que está fuertemente ligada a este parámetro, debido a que las estaciones que están instaladas hacia el oriente y nororient de Bogotá (San Luis, El Granizo, San Diego y Usaquén Santa Ana) registran mayor cantidad de precipitación, en contraposición a las estaciones ubicadas en el occidente y sur occidente capitalino (Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Saucedal II).

Las estaciones operadas por la Secretaria a pesar de contar solo con valores del periodo 2010 – 2016, conservan el comportamiento y valores similares a las de las otras dos entidades.

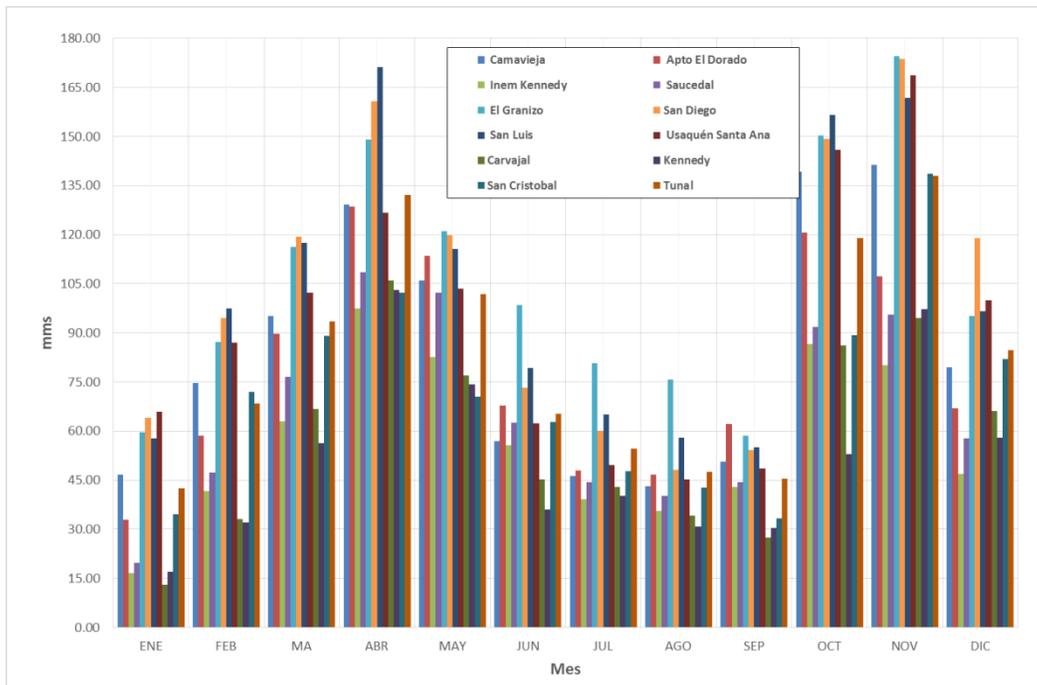


Figura 5.2.1-123 Distribución temporal de precipitación total

Precipitación máxima

Para el análisis de la precipitación máxima se toman los datos de las estaciones operadas dos entidades: Saucedal II, Camavieja, El Granizo, San Luis, San Diego y Usaquén Santa Ana de EAB y las demás estaciones: Venado Oro vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional operadas por el IDEAM. Las estaciones de ambas entidades tienen un periodo en común (1998-2013).

El comportamiento de este parámetro es similar a la precipitación total, ya que existen dos periodos húmedos, los cuales son: febrero-mayo y octubre-noviembre y dos periodos secos, donde se presentan menor cantidad de precipitación total máxima durante el año: diciembre-enero y junio-septiembre.

La estación San Diego tiene el mayor registro entre todas las estaciones, con un valor de 49,36 mm en noviembre.

El menor registro para la estación San Luis es 14,22 mm, en el mes de julio, mientras que su mayor registro para esta estación es en abril con 42,10 mm

La estación Aeropuerto El Dorado tiene su valor más bajo en enero con 13,38 mms. El registro más alto para esta estación es 31,03 mms, en el mes de abril.

El menor registro entre todos los meses pertenece a la estación Inem Kennedy, con 7,07 mms en el mes de enero.

Las estaciones localizadas hacia el oriente de Bogotá (San Luis, El Granizo, San Diego, Usaquén Santa Ana, Venado Oro Vivero y Camavieja) tienen mayores registros en todos los meses, en

comparación a las estaciones que se encuentran en la zona occidental de la ciudad (Inem Kennedy, Saucedal II y Aeropuerto El Dorado).

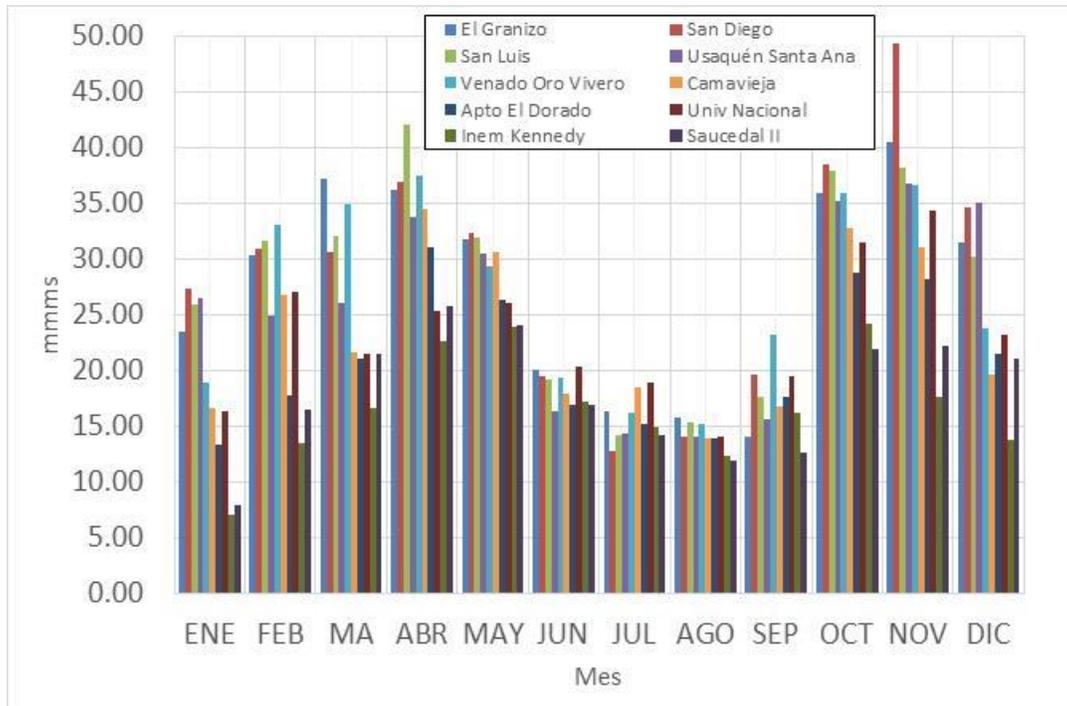


Figura 5.2.1-124 Distribución temporal de precipitación total máxima

Punto de rocío

Las estaciones de la zona que miden punto de rocío son: Venado Oro Vivero, Universidad Nacional y Aeropuerto El Dorado, con un periodo en común (1988-2012).

La estación Universidad Nacional tiene los registros más altos de punto de rocío en todos los meses y entre todas las estaciones, con el mayor registro de 11,55 °C en abril.

Existe un comportamiento similar entre los registros de la estación Aeropuerto El Dorado y Venado Vivero Oro, localizadas al occidente y oriente de la ciudad respectivamente. A continuación se muestra la distribución temporal de esta variable en la Figura 5.2.1-125 .

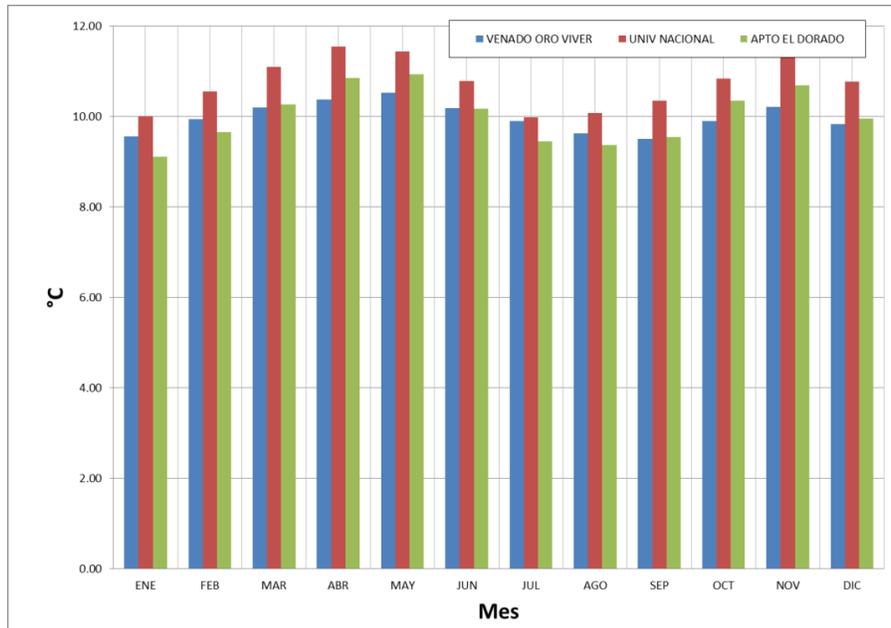


Figura 5.2.1-125 Distribución temporal de punto de rocío

Tensión de vapor

La tensión de vapor es registrada por las estaciones: Venado Oro Vivero, Universidad Nacional y Aeropuerto El Dorado, con un periodo en común (1988-2011). La distribución temporal de esta variable se presenta en la Figura 5.2.1-126 .

La estación Universidad Nacional tiene el mayor registro en todos los meses con respecto a las demás estaciones, con su valor más alto de 13,73 mb en el mes de mayo.

El menor registro para este parámetro es 11,71 mb y pertenece a la estación Aeropuerto El Dorado en el mes de enero.

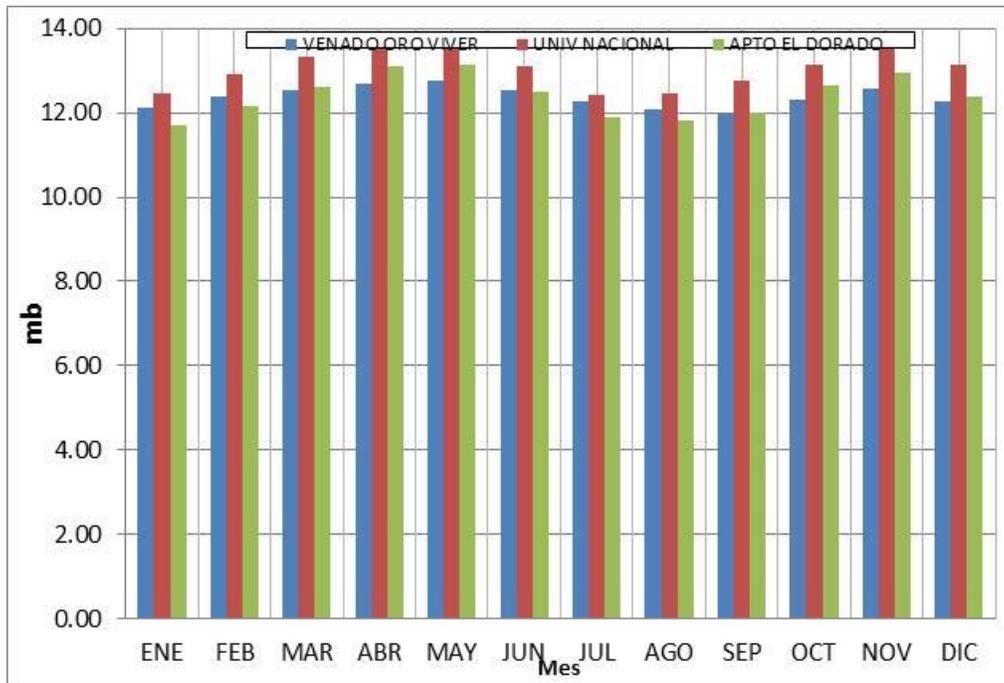


Figura 5.2.1-126 Distribución temporal de tensión de vapor

Temperatura máxima

La temperatura máxima es registrada por cuatro estaciones: Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional, con un periodo en común (1998-2011).

El mes de febrero es donde todas las estaciones tienen los registros más altos de temperatura máxima.

En todos los meses del año, a excepción de noviembre, la estación Inem Kennedy tiene los mayores registros de temperatura máxima, con su valor más alto de 23,53 °C en febrero. En la Figura 5.2.1-127 se muestra la distribución temporal de esta variable.

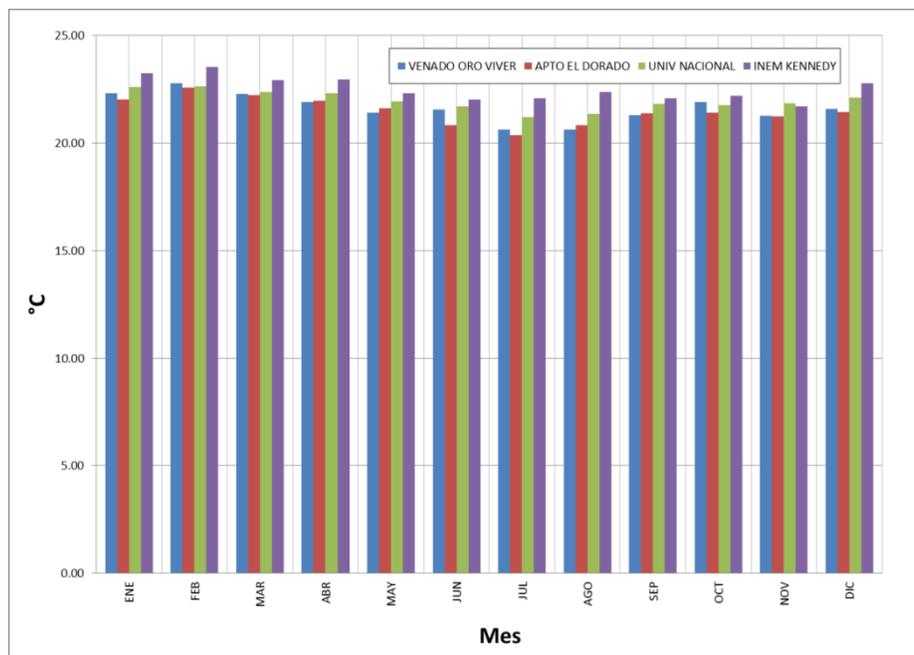


Figura 5.2.1-127 Distribución temporal de temperatura máxima

Temperatura media

El análisis de esta variable se realiza con base a las estaciones de dos entidades: IDEAM (Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional) y SDA (Carvajal, Kennedy, San Cristóbal y Tunal). Ambas entidades con un periodo común distinto (1998-2011) y (2010-2016) respectivamente.

La estación Venado Oro Vivero tiene los menores registros de todos los meses de temperatura media entre las estaciones del IDEAM, con su valor más bajo de 13,03 °C en julio. Por parte de la SDA, la estación San Cristóbal tiene el menor valor de este parámetro en el mes de julio con un valor de 12,67 °C.

Los mayores registros de temperatura media para las estaciones del IDEAM pertenecen a la estación Inem Kennedy, con un valor de 15,68 °C en mayo y de las estaciones de la SDA, la estación Carvajal con 15,90 °C en el mes de febrero.

Las estaciones localizadas hacia el oriente de la ciudad (Venado Oro Vivero y San Cristóbal) registran los menores valores de temperatura media, siendo esta zona más fría, en comparación a las estaciones que están ubicadas hacia el occidente y suroccidente de Bogotá (Inem Kennedy y Carvajal), estas registran los valores más altos de este parámetro.

Por tal razón la cantidad de mms de evaporación es mayor en la zona occidental y sur occidental, debido a que su temperatura es más cálida que en el oriente de la ciudad. A continuación se puede observar la distribución temporal de este parámetro en la Figura 5.2.1-128 .

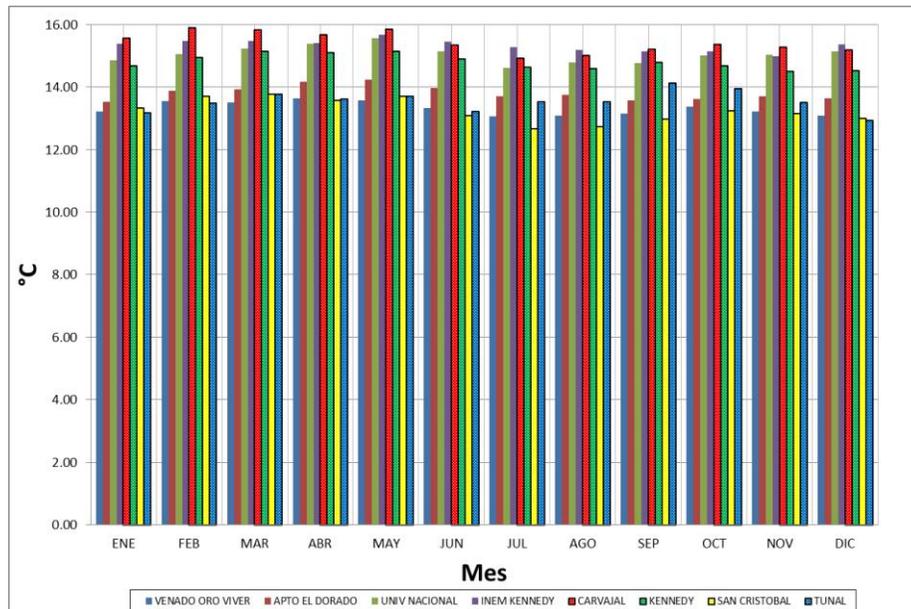


Figura 5.2.1-128 Distribución temporal de temperatura media

Temperatura mínima

Las estaciones que miden este parámetro son: Venado Oro Vivero, Aeropuerto El Dorado, Inem Kennedy y Universidad Nacional, con periodo en común (1998-2011).

La estación Aeropuerto El Dorado tiene los registros más bajos de este parámetro, con el menor valor de 1,54°C en el mes de enero.

Enero es el mes en donde todas las estaciones registran los menores valores para temperatura mínima, a excepción de la estación Inem Kennedy que tiene su registro más bajo en el mes de febrero, este comportamiento se observa en la

Comparando las estaciones que están localizadas en los extremos occidental (Aeropuerto El Dorado) y oriental de la ciudad (Venado Oro Vivero), se observa que en la zona occidental hay registros con menores valores de temperatura mínima. La distribución temporal de esta variable se presenta en la Figura 5.2.1-129

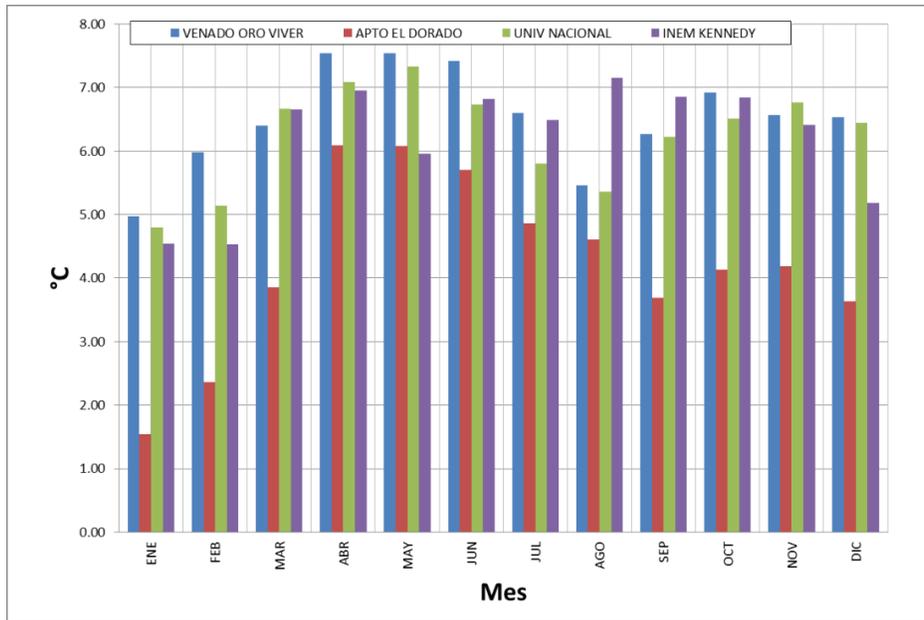


Figura 5.2.1-129 Distribución temporal de temperatura mínima

Radiación solar

Este parámetro está registrado por tres estaciones de la SDA: Kennedy, San Cristóbal y Tunal, con periodo en común (2010-2016).

La estación San Cristóbal tiene el registro más alto de este parámetro con 200,05 W/m² en septiembre. A excepción de enero, esta estación registra los mayores valores de radiación solar entre las demás estaciones.

El menor registro para radiación solar lo tiene la estación Tunal, en el mes de noviembre con un valor de 142,32 W/m². En la Figura 5.2.1-130 se observa la distribución temporal de esta variable.

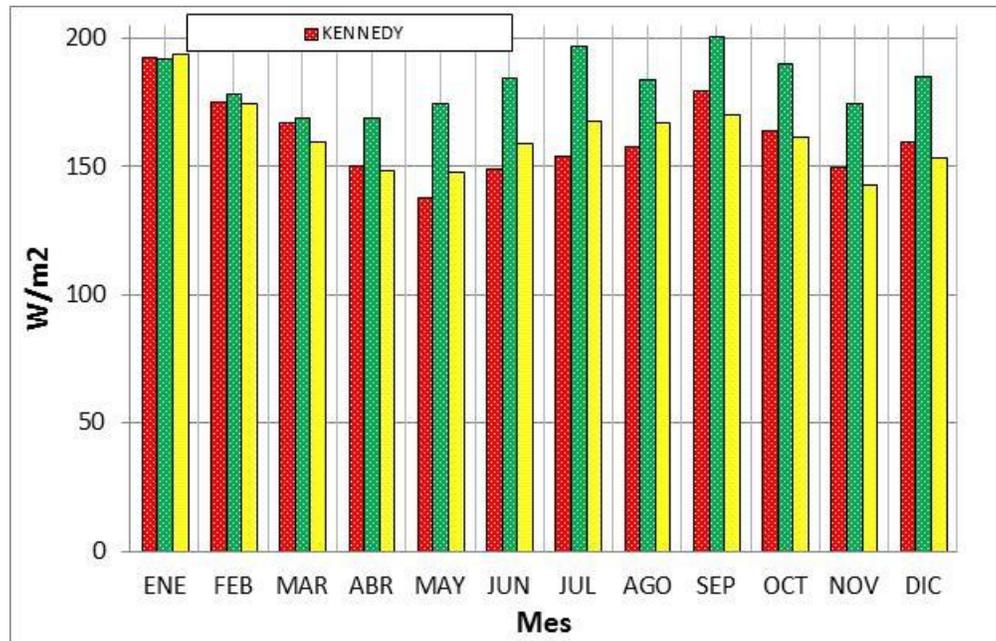


Figura 5.2.1-130 Distribución temporal de radiación solar

Vientos

Por definición, el viento es el movimiento natural del aire. Se determina por la dirección o punto del horizonte desde donde sopla y por su velocidad, de la cual depende su mayor o menor fuerza. Si bien el viento es una cantidad vectorial y se puede considerar una variable primaria por naturaleza, por lo general la velocidad (la magnitud del vector) y la dirección (orientación del vector) se tratan frecuentemente como variables independientes.

El análisis de la velocidad del viento se realiza con una estación del IDEAM (Aeropuerto El Dorado) y cuatro estaciones de la SDA (Carvajal, Kennedy, San Cristóbal y Tunal), con periodo en común (1980-2012) y (2010-2016) respectivamente.

Los mayores registros de la velocidad del viento los tiene la estación Kennedy, con su valor más alto en agosto de 2,81 m/s, como se puede ver en la Figura 5.2.1-131 .

La estación Tunal registra los valores más bajos de este parámetro, el menor registro es de 1,01 m/s en el mes de junio.

Localizada en el oriente de la ciudad, la estación San Cristóbal tiene registros más bajos en comparación a las estaciones situadas hacia el occidente, sur y sur occidente de Bogotá (Aeropuerto El Dorado, Carvajal y Kennedy). El menor registró para la estación San Cristóbal con 1,37 m/s en el mes de noviembre.

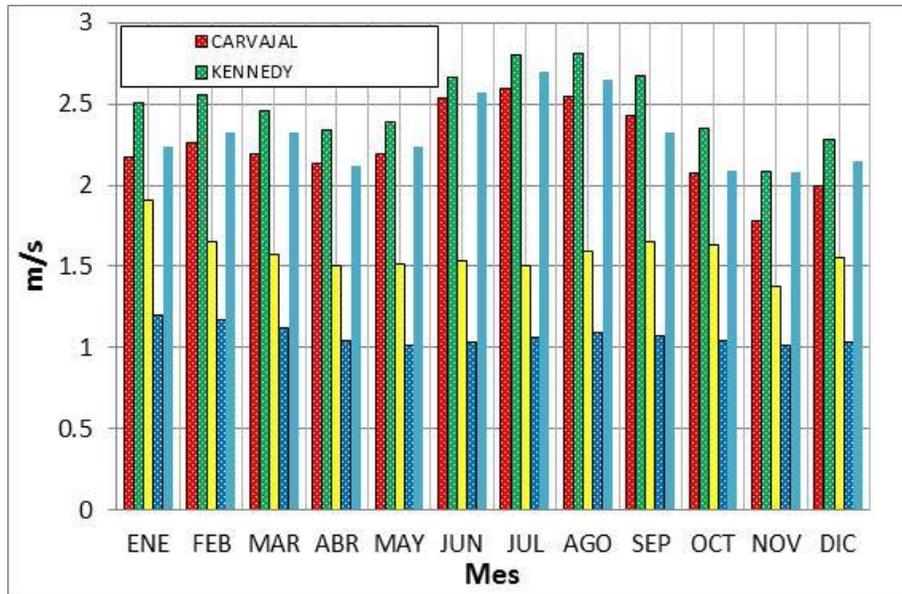


Figura 5.2.1-131 Distribución temporal de velocidad del viento

La Secretaria De Ambiente (SDA) de la capital instaló las estaciones: Carvajal, Kennedy, San Cristóbal y Tunal, que permiten conocer el comportamiento de la dirección del viento en la zona de trazado del proyecto, en el periodo comprendido entre 2010 y 2016. A continuación se muestran las rosas de los vientos para cada una de ellas en las Figura 5.2.1-132 a la Figura 5.2.1-133.

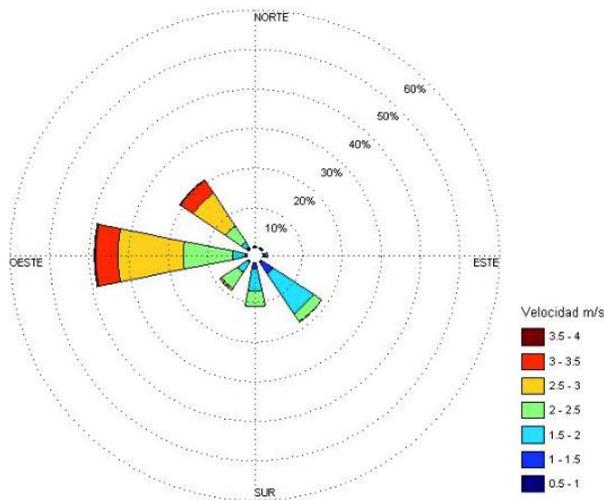


Figura 5.2.1-132 Rosa de los vientos - Estación Carvajal

En esta estación la dirección predominante es el oeste.

De manera general y de acuerdo con la escala de Beaufort, en función de la velocidad:

El 87,6% de los vientos tienen un puntaje de dos y pueden clasificarse como ligeros

El 10,3% de los vientos tiene un puntaje de uno y se clasifican como ventolinas

El 2,1 % obtuvo un puntaje de tres, denominándose suaves

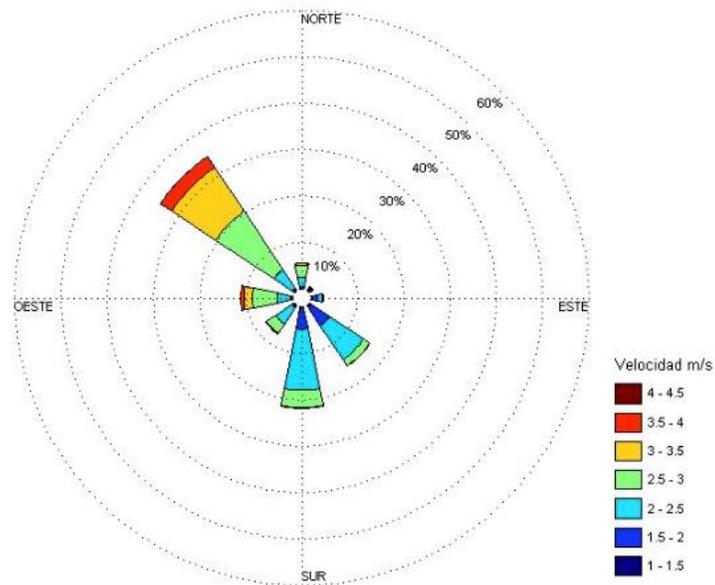


Figura 5.2.1-133 Rosa de los vientos - Estación Kennedy

En esta estación la dirección predominante es la nor-oeste.

De manera general y de acuerdo con la escala de Beaufort, en función de la velocidad:

El 92,3% de los vientos tienen un puntaje de dos y pueden clasificarse como ligeros

El 6,1% de los vientos tiene un puntaje de tres y se clasifican como suaves

El 1,6 % obtuvo un puntaje de uno, denominándose ventolinás

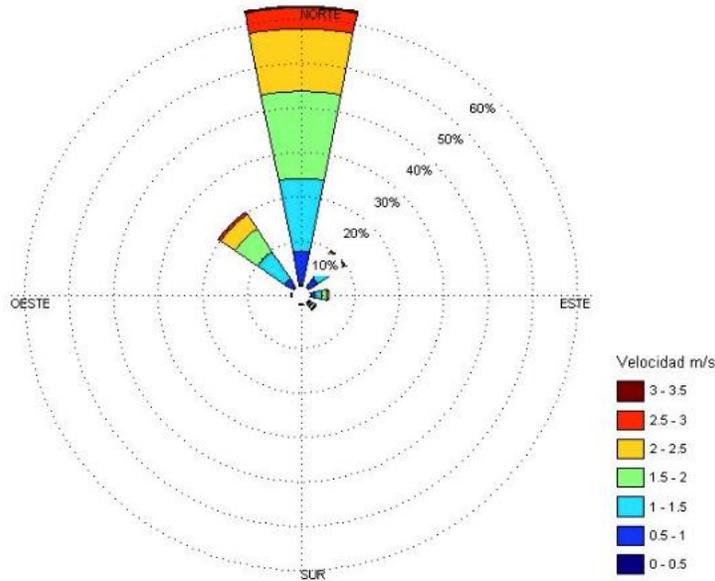


Figura 5.2.1-134 Rosa de los vientos – San Cristóbal

En esta estación la dirección predominante es la norte

De manera general y de acuerdo con la escala de Beaufort, en función de la velocidad:

El 50,6% de los vientos tienen un puntaje de dos y pueden clasificarse como ligeros

El 49,3% de los vientos tiene un puntaje de uno y se clasifican como ventolina

El 0,1 % obtuvo un puntaje de tres, denominándose suave

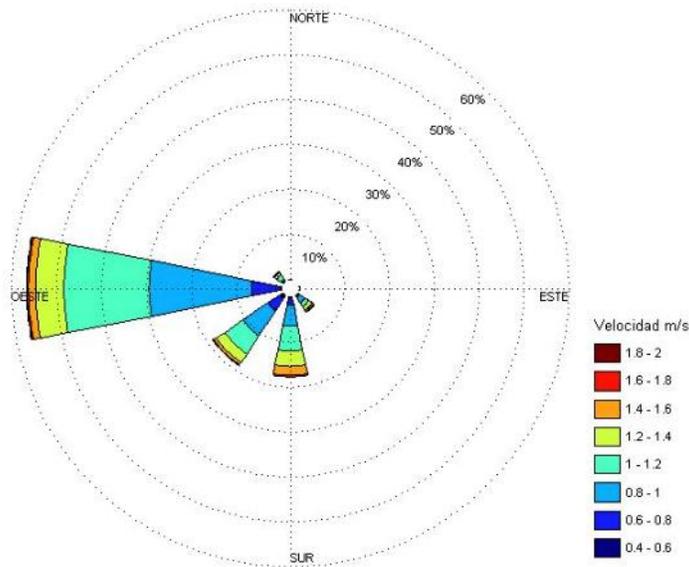


Figura 5.2.1-135 Rosa de los vientos – Tunal

En esta estación la dirección predominante es la oeste

De manera general y de acuerdo con la escala de Beaufort, en función de la velocidad:

El 97,6% de los vientos tienen un puntaje de uno y pueden clasificarse como ventolinas

El 2,4% de los vientos tiene un puntaje de dos y se clasifican como ligeros.

Con respecto a la localización de las estaciones que miden el parámetro de dirección del viento, se puede interpretar que en la zona sur oriente de la ciudad (Estación San Cristóbal) se presenta mayor porcentaje de vientos tipo ventolina, en comparación al occidente de la ciudad (Estación Kennedy). Las estaciones Carvajal y Tunal comparten la misma dirección predominante (Oeste), a pesar de que están localizadas hacia el norte y sur de la ciudad respectivamente.

5.2.1.18.4 Variación espacial de la precipitación

Para conocer el comportamiento espacial de la precipitación, se elaboraron las isoyetas de precipitación total media anual para la zona del proyecto con la ayuda del software Surfer7 el cual aplica el método de interpolación Kriging.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Las isoyetas fueron realizadas tomando como base las estaciones del IDEAM y del Acueducto de Bogotá que se enlistan a continuación para el periodo 1999 – 2016, en la Tabla 5.2.1-149 se presentan las coordenadas y los valores de precipitación anual de las estaciones empleadas y en la se puede observar el mapa de isoyetas.

Tabla 5.2.1-149 Estaciones base para isoyetas totales anuales (mm)

Nombre estación	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Precipitación Total multianual (mm)
Camavieja	998480	1003579	1008,43
Saucedal II	990314	1006928	791,26
San Diego	1001390	1001499	1236,02
El Granizo	1002830	1002199	1266,87
San Luis	1004130	1005379	1231,77
Usaquén Santa Ana	1005804	1010241	1105,78
Inem Kennedy	994184	1003792	688,11
Apto El Dorado	992335	1013007	942,00
Bosa Barreno	988072	1001915	664,977
Santa Lucia	995080	997549	827,79
El Delirio	1002120	994729	1387,822

A continuación se presenta el mapa de isoyetas de la zona de proyecto, de donde se puede evidenciar que hacia el lado oriental la precipitación tiene valores de 1100 mm, los cuales van variando hacia la zona occidental, en la cual los valores de la variable son de 700 mm.

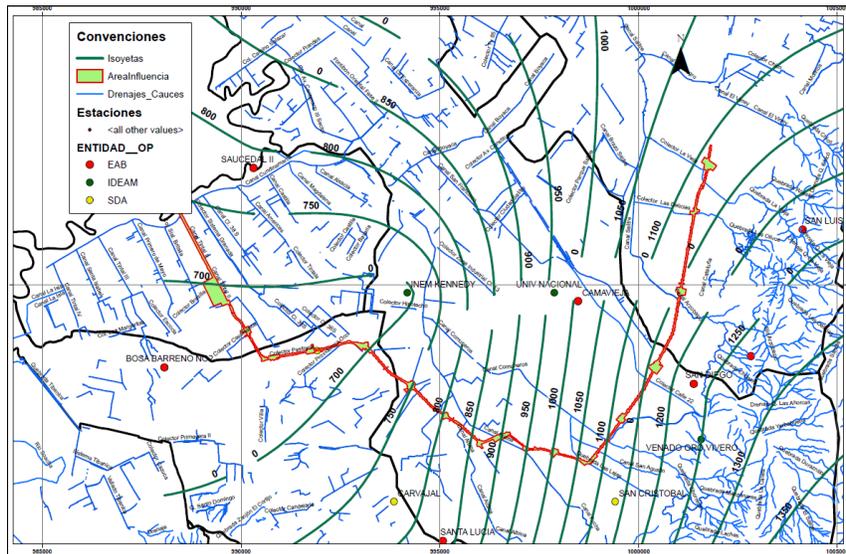


Figura 5.2.1-136 Isoyetas de precipitación zona de proyecto

5.2.1.19 Identificación de Fuentes de emisión

A continuación, se describen los diferentes tipos de fuentes de emisión de partículas y gases a la atmósfera observadas en la zona del estudio, según el Decreto 948 de 1998 expedido por el MAVDT hoy MADS, Resolución 610 de 2010 y el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, de octubre de 2010, expedidos por el hoy MADS.

La identificación de las fuentes se realizó a partir de las observaciones en campo durante las campañas de monitoreo de calidad del aire y de información secundaria consultada en la Secretaría Distrital de Ambiente – SDA (2017), así como de la caracterización del flujo vehicular que se desarrolla en la zona de estudio.

La Tabla 5.2.1-150 presenta los tipos de fuente, nombre y proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas.

Tabla 5.2.1-150 Identificación Fuentes de Emisión – Zona de Estudio

Fuente		
Tipo	Nombre	Proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas
Móvil/Trazado de operación (Lineal)	Av. Villavicencio (ALO – Av. primero de mayo) ¹	Flujo vehicular en las vías existentes en vías pavimentadas y no pavimentadas
	Av. primero de mayo (Av. Villavicencio – Av. Boyacá)	
	Av. primero de mayo (Av. Boyacá – Av. NQS)	
	Av. NQS (Av. primero de mayo – Av. calle 8 sur)	
	Av. calle 8 sur (Av. NQS – Av. calle 1)	
	Av. calle 1 (Av. calle 8 sur – Av. caracas)	
	Av. caracas (Av. calle 1 – Av. calle 26)	
	Av. caracas (Av. calle 26 – Av. calle 53)	
	Av. caracas (Av. calle 53 – Av. calle 76)	
Fija /Dispersa (área)	Estaciones de servicio	Venta al público de carburantes y combustibles petrolíferos a granel por medio de surtidores
	Portal Américas	Flujo vehicular y estacionamiento buses Transmilenio
Fija /Puntual ²	Industriales	Acabado de producto textil, lavandería industrial de prendas de vestir
		Acabado de productos textiles no producidos en la misma unidad de producción
		Acabado de productos textiles
		Confección de prendas de vestir (ropa formal para dama y caballero)
		Curtido y acondicionamiento de cueros
		Deshidratación y comercialización de fruta para consumo directo

¹ Vía no pavimentada

² Base de datos Secretaría Distrital de Ambiente – SDA, 2017.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

		Fuente
Tipo	Nombre	Proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas
		Distribución de productos lácteos
		Elaboración de ladrillos y tubos
		Elaboración de extractores de olores para cocinas
		Ensamble y comercialización de baterías y repuestos eléctricos
		Elaboración de pulpa de fruta para consumo humano
		Fabricación de guantes de caucho
		Fabricación de mezcla asfáltica
		Fabricación y Comercialización de Partes para Motocicletas
		Fabricación de rines para carretilla en aluminio
		Fabricación de otros productos químicos
		Fabricación de alimentos, tortas y ponqués
		Fabricación de alimentos cárnicos
		Fabricación, comercialización y venta de bocadillos y galletas y comercio en general
		Fabricación y transformación de aceros comunes
		Fabricación de hilos
		Fabricación de artículos de cacería y pesca para deportes
		Fabricación de insumos para acabados textiles como suavizantes y detergentes
		Fabricación de bebidas alcohólicas
		Fabricación de guantes de caucho
		Fabricación de embutidos y artículos de salsamentaría
		Fabricación de bocadillo para consumo humano
		Fabricación de juguetes caninos
		Fabricación de productos de caucho para floricultura
		Fabricación de pan
		Fabricación y comercialización de láminas acrílicas
		Fabricación y distribución de productos alimenticios
		Fabricación de productos en caucho para el calzado
		Fabricación de productos lácteos como kumis
		Fabricación de productos biológicos veterinarios
		Fabricación de repuestos en caucho como retenedores para carros
		Fabricación y comercialización de dulces blandos
		Fabricación de resinas y poliuretano
		Fabricación y comercialización de mangueras en caucho para el sector automotriz e industrial
		Fabricación y comercialización de vinos y aperitivos
		Fabricación de muebles hospitalarios.
		Fabricación de productos metalúrgicos industriales
		Fabricación de muebles y estantes metálicos
		Fundición de herrajes
		Fundición de aluminio y labores de mecanizado.
		Fabricación de muebles hospitalarios.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

		Fuente
Tipo	Nombre	Proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas
		Fabricación de productos metalúrgicos industriales
		Fabricación de muebles y estantes metálicos
		Fundición de herrajes
		Fundición de metales
		Fundición de aluminio y labores de mecanizado.
		Transformación de madera
		Producción y comercialización de alimentos
		Producción de salsas para la industria alimenticia
		Producción de acoples y mangueras para la industria
		Producción de carnes frías para consumo humano
		Producción de insumos químicos para la industria galvánica
		Fundiciones de metales para fabricación de repuestos industriales
		Fundición de aluminio
		Secado de madera para piezas y tablones para otras industrias
		Servicios de salud para humanos
		Fundición y venta de estructuras metálicas
		Tenido y acabado textil al por mayor,
		Producción y comercialización de productos de ajonjolí para consumo humano
		Producción y comercialización de café y cacao para consumo humano
		Producción y maquilado de productos cosméticos (shampoo y cremas) para consumo humano
		Fundición de aluminio para fabricación de acoples para equipos de riego de agua
		Fundición de metales no ferrosos
		Prestación de servicios médicos y de salud
		Fundición de zamac para piezas de maquinaria y piezas automotrices
		Producción y comercialización de alimentos enlatados
		Fundición de aluminio para maquinaria
		Servicio de anodizado en aluminio utilizado para construir edificios, marquesinas
		La fabricación de artículos de hierro fundido, acero y aluminio fundido.
		Lavado y acabado textil de prendas
		Tratamiento, procesamiento, refinación y transformación de materias primas de origen animal o vegetal como semillas oleaginosas, sebos y mantecas
		Procesos de estampado en prendas de vestir
		Venta y fabricación de calzado
		Prelavado, tinturado, planchado de prendas de vestir
		Tinturado de prendas de vestir
		Recuperadora de alambre de cobre
		Metalcomer Ltda.
		Producción y distribución de productos lácteos

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente		
Tipo	Nombre	Proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas
	Comerciales	Lavado y limpieza de prendas de tela y de piel, incluso en seco.
		Tintorería.
		Asaderos
		Restaurantes
		Ventas Ambulantes

Fuente: CONSORCIO METROBOG, 2017.

A continuación, se presenta la georeferenciación de las fuentes fijas/Puntual y características de área y longitud de las Fuentes Dispersas y Trazados de operación, respectivamente, ver Tabla 5.2.1-151.

Tabla 5.2.1-151 Características de las Fuentes de Emisión – Zona de estudio

Tipo	Nombre	Característica
Móvil/Trazado de operación (Lineal)	Av. Villavicencio (ALO - Av. Primero de mayo)	Longitud: 4,23
	Av. Primero de mayo (Av. Villavicencio - Av. Boyacá)	Longitud: 2,64
	Av. Primero de mayo (Av. Boyacá - Av. NQS)	Longitud: 3,86
	Av. NQS (Av. Primero de mayo - Av. calle 8 sur)	Longitud: 0,75
	Av. calle 8 sur (Av. NQS - Av. calle 1)	Longitud: 0,60
	Av. calle 1 (Av. calle 8 sur - Av. caracas)	Longitud: 1,60
	Av. caracas (Av. calle 1 - Av. calle 26)	Longitud: 3,19
	Av. caracas (Av. calle 26 - Av. calle 76)	Longitud: 5,58
	Av. Villavicencio (ALO - Av. Primero de mayo)	Longitud: 4,23
Fija /Dispersa (área)	Portal Américas	Área: Ha
	Estaciones de Servicio	Las áreas de cada una de las 48 estaciones de servicio identificadas por la SDA se presenta en el Anexo Fuentes de Emisión.
Fija /Puntual	La georeferenciación de las 134 fuentes industriales y 66 fuentes comerciales identificadas por la SDA se encuentra en el Anexo 5.2.1.1 Fuentes de Emisión.	

Fuente: CONSORCIO METROBOG, 2017.

La Figura 5.2.1-137 presenta la localización de cada una de las fuentes de emisión identificadas en la condición actual de la zona de estudio.

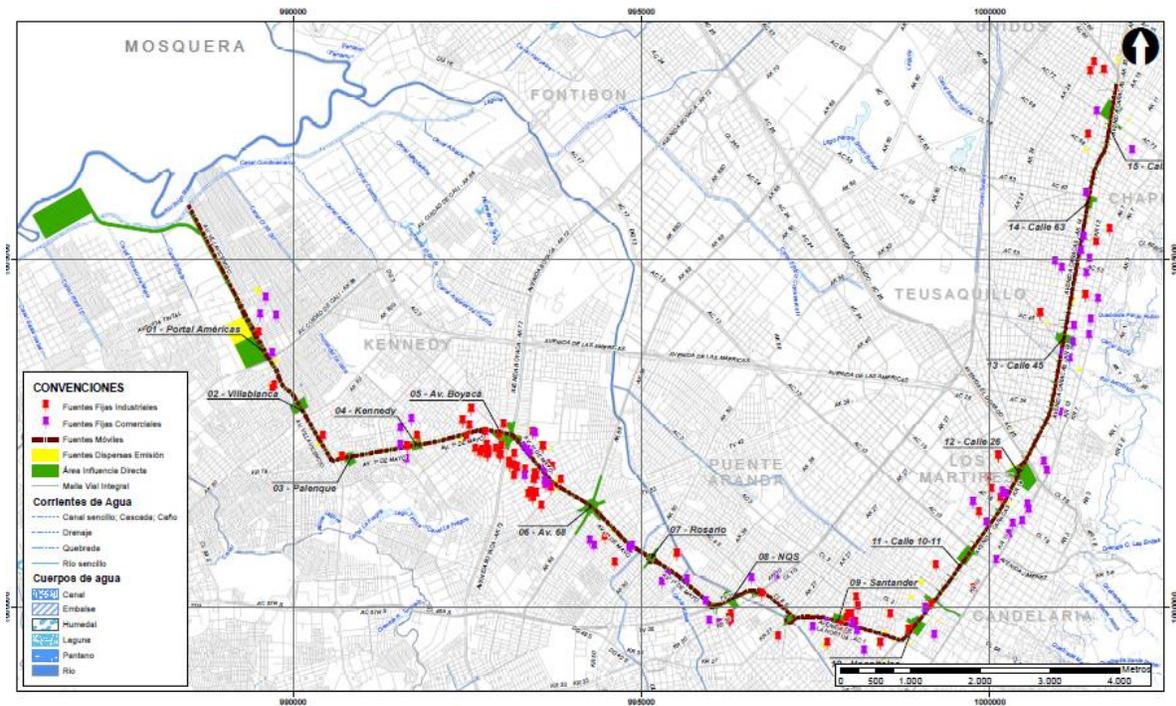


Figura 5.2.1-137 Localización Fuentes de Emisión en la Zona de Estudio

Las emisiones atmosféricas en la zona de estudio se deben principalmente por Fuentes Móviles a causa del Flujo vehicular existente de vehículos livianos, pesados y motos. Adicionalmente, sobre el trazado de la PLMB existen zonas industriales manufactureras las cuales representan la emisión de gases y partículas por Fuentes Fijas /Puntuales y estaciones de servicio que representan emisiones por Fuentes Fijas / Dispersa (área), al igual que el Portal Américas de Transmilenio.

5.2.1.19.1 Potenciales receptores

Teniendo en cuenta que los receptores hacen referencia al grupo de personas o poblaciones susceptibles a la transferencia de contaminantes de la atmósfera en diferentes grados de inmisión, para este estudio, los potenciales receptores corresponden a los ciudadanos que habitan y/o frecuentan la zona de estudio.

Por lo anterior, a partir de la identificación de los usos permisibles del suelo y la clasificación de sectores de restricción de ruido ambiental para la fijación de las normas de ruido ambiental establecidos por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS en el Artículo 15 del Decreto 948 de 1995, La Figura 5.2.1-138 presenta la identificación de los potenciales receptores identificados en el área de influencia del proyecto.

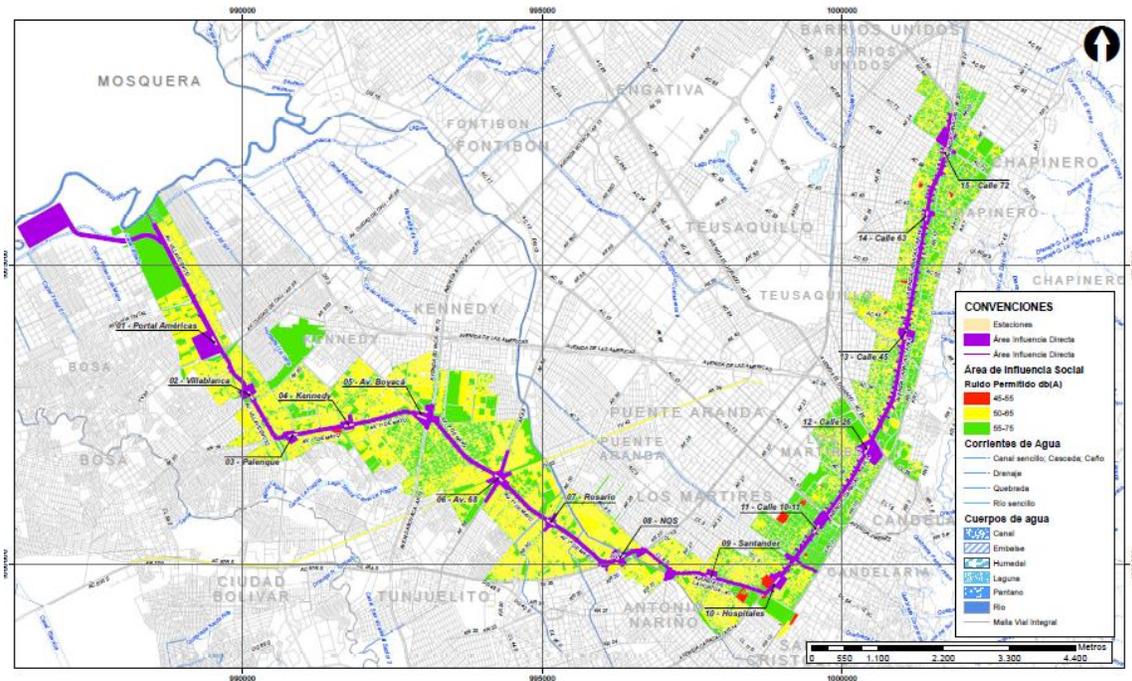


Figura 5.2.1-138 Potenciales receptores de emisiones atmosféricas
Fuente: CONSORCIO METROBOG, 2017.

En el área se identificaron dos sectores de mayor sensibilidad (Sector A. Tranquilidad y Silencio), correspondientes a la zona adyacente a la estación Hospitales y Kennedy, por la presencia de centros de atención a la salud especializada.

5.2.1.20 Calidad del Aire

Para realizar el diagnóstico actual de calidad del aire en el área de influencia directa del proyecto se establecieron las siguientes actividades:

- ✓ Identificar las fuentes de emisión y puntos de monitoreo, que sean significativos a lo largo del trazado del proyecto.
- ✓ Realizar a través de un laboratorio certificado la toma y el análisis de muestras de los siguientes parámetros: PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO_x, SO_x
- ✓ Realizar la comparación de los resultados con los valores establecidos en la normatividad ambiental vigente.

5.2.1.20.1 *Criterios para la ubicación de las estaciones de monitoreo*

La selección de los sitios de instalación de los equipos de monitoreo se desarrolló teniendo en cuenta los lineamientos presentados en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire - Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS. A continuación se presentan los aspectos que se tuvieron en cuenta para escoger el sitio de instalación:

- Altura de la toma de muestra sobre el piso: 2 – 15 m

- Distancia árbol más cercano: por lo menos > 10 m
- La distancia del muestreador a obstáculo como edificios: deberá ser por lo menos el doble de la altura que sobre sale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m.
- No podrá haber flujos de hornos o de incineradores cercano.
- La distancia a las carreteras/caminos deberá ser de 2 a 10 metros del borde de la línea de tráfico más cercana.
- Fácil acceso, para visitas regulares de inspección.
- Seguridad contra vandalismo
- Infraestructura: el sitio debe contar con energía eléctrica segura

A partir del reconocimiento en campo y la identificación preliminar de los sitios para ejecutar el muestreo, se procedió a realizar la solicitud del permiso de instalación de los equipos a cada uno de los propietarios de los predios. Esta solicitud se desarrolló por medio de entrevista en la cual se informaron los aspectos clave para el desarrollo de la actividad y la finalidad del muestreo.

5.2.1.20.2 Puntos de Monitoreo

Para conocer el estado actual de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, se instaló una red de monitoreo de calidad de aire de tipo indicativo en época seca durante un periodo de 20 días, entre el 01 y 21 de Agosto de 2017.

Esta red de monitoreo fue compuesta por 18 estaciones de monitoreo, operadas por el laboratorio K2 Ingeniería S.A.S. acreditado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios Ambientales – IDEAM. Los parámetros medidos correspondieron, Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀), Partículas Menores a 2,5 micras (PM_{2.5}) Dióxidos de Azufre (SO₂) y Dióxidos de Nitrógeno (NO₂). En el Anexo 5.2.1.2 Calidad del Aire, se presentan los resultados y las resoluciones de acreditación de laboratorio.

Para la ubicación de las estaciones de medición de calidad del aire, se tuvieron en cuenta criterios como la presencia de comunidades vecinas, la rosa de vientos (dirección y velocidad del viento), la localización de la infraestructura que será construida y las condiciones topográficas. En la Tabla 5.2.1-152 se presenta la descripción de las estaciones de Monitoreo y en la Figura 5.2.1-139, se presenta una localización general de las mismas. (Ver Anexo 5.2.1.8 ETPLMB-ET19-L04-PLA-I-0019_RA).

Tabla 5.2.1-152 Descripción Estaciones de Monitoreo

Estación 1	Nombre:	Patio-Taller
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	986 485 772 1 005 388 278
	Altitud:	2556 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Finca Cañaveralejo cercana al acueducto, en el sector El Corzo. Como fuente del entorno se evidencia el tráfico de vehículos pesados por vía destapada.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 2	Nombre:	Portal Américas
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	989 623 148 1 003 658 426
	Altitud:	2562 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en un parqueadero y Centro de Lavado de la Av. Villavicencio con 86A. Se evidencia tráfico vehicular en el entorno.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación 3	Nombre:	Villa Blanca
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	990 032 958 1 002 699 999
	Altitud:	2554 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Carrera 80 con Calle 43. Como fuente del entorno se identifica el tráfico vehicular.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 4	Nombre:	Kennedy
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	991 009,97 1 002 242,2
	Altitud:	2560 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 41C-Sur # 78-36. No se evidencian fuentes importantes de emisión en el entorno.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 5	Nombre:	Palenque
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	991 817,52 1 002 223,68
	Altitud:	2560 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 39A # 73C-29 Sur. Predomina el tráfico vehicular normal en el entorno.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación 6	Nombre:	Av Boyacá
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	993 028,87 1 002 564,52
	Altitud:	2563 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 6 Sur # 72-39. Se evidencia como fuente en el entorno el tráfico de vehículos livianos.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

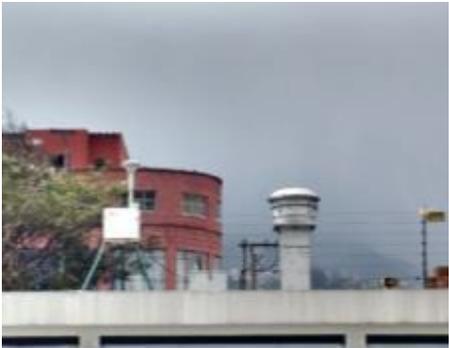
Estación 7	Nombre:	Avenida 68
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	994 335,65 1 001 323,45
	Altitud:	2562 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Punto ubicado en la Calle 27 Sur # 54-08. En el entorno se evidencia tráfico vehicular leve.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 8	Nombre:	Rosario
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	994 979,81 1 000 684,49
	Altitud:	2574 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Cra 50B # 29-31- Presencia de tráfico vehicular en el entorno.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación 9	Nombre:	NQS
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	996 030,84 1 000 094,66
	Altitud:	2568 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 18 Sur # 34C-04. En el entorno hay presencia importante de tráfico vehicular de la Av. 1º de Mayo.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 10	Nombre:	Santander
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	997 991,19 999 566,25
	Altitud:	2604 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la casa del señor Diego Meneses. Las fuentes de emisión del entorno son el tráfico vehicular y algunas industrias.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 11	Nombre:	Hospitales
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	998 845,00 999 682,96
	Altitud:	2614 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la portería principal del Hospital La Misericordia. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular de la Av. Caracas con Calle 1ª.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación 12	Nombre:	Calle 10-11
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	999 784,50 1 000 303,44
	Altitud:	2626 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la azotea del Centro Comercial El Gran San. Calle 10 con Carrera 10. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular en las zonas aledañas.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 13	Nombre:	Calle 26
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	1 000 515,62 1 001 747,14
	Altitud:	2642 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza de la Universidad Incca de Colombia. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular de la Calle 26.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Estación 14	Nombre:	Calle 45
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	1 001 128,95 1 004 127,72
	Altitud:	2610 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza del nuevo Edificio de Psicología de la Universidad Católica. La fuente más relevante del entorno es el tráfico vehicular de la Av. Caracas con Calle 46.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

ESTACIÓN 15	Nombre:	CALLE 52
--------------------	----------------	-----------------

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	1 001 310,79	1 005 024,66
	Altitud:	2594 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza de la Secretaría Distrital de Ambiente. En el entorno se destaca el tráfico vehicular de la zona.	
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20	

Estación 16	Nombre:	Calle 63	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	1 001 307,69	1 006 035,26
	Altitud:	2587 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 63A # 15-15. Como fuentes del entorno se destacan el tráfico vehicular de la zona y la remodelación de un edificio ubicado a 80 m aproximadamente.	
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20	

Estación 17	Nombre:	Calle 72	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	1 001 504,93	1 006 646,53
	Altitud:	2582 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en el la Calle 15 # 68-86, que corresponde a un parqueadero en construcción. Se evidencia en el entorno tráfico vehicular.	
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20	

Estación 18	Nombre:	Calle 76	
	Coordenadas	1 002 062,76	1 007 525,05

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

	Magna Sirgas Origen Bogotá:	
	Altitud:	2589 msnm
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza del Centro Comercial de Alta Tecnología, en la Carrera 15 # 77-05. Predomina tráfico vehicular en la zona.
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/20

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

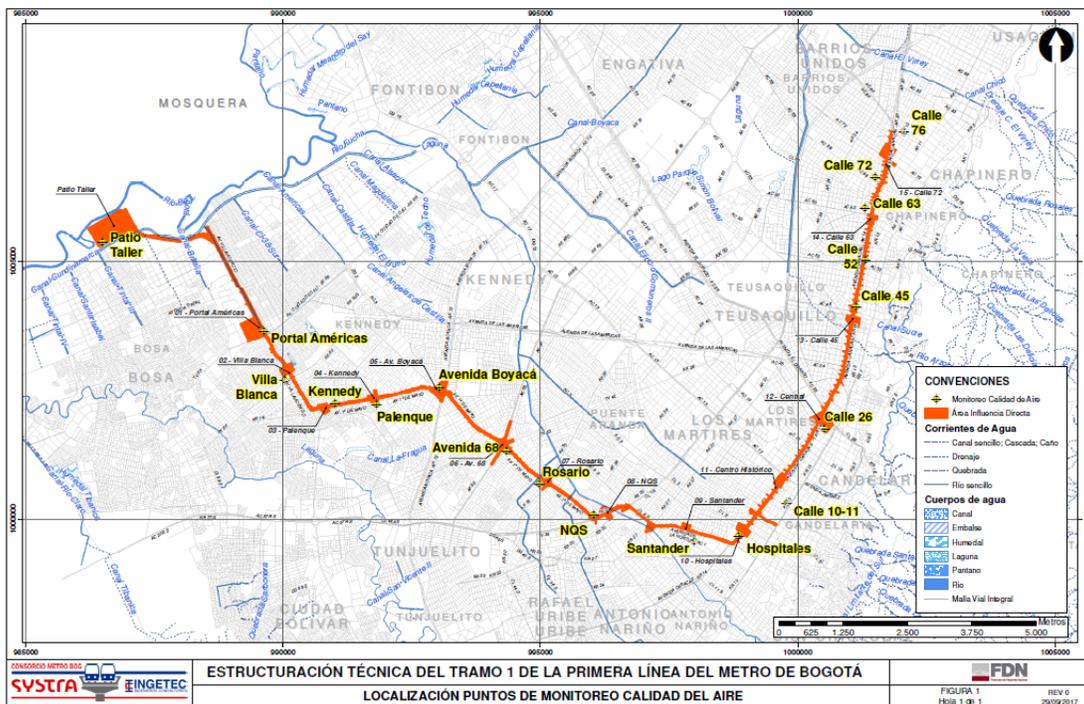


Figura 5.2.1-139 Localización puntos de monitoreos calidad de aire

5.2.1.20.3 Condiciones climáticas

Para el conocimiento de las condiciones climáticas durante el tiempo de muestro, se ubicaron dos estaciones meteorológicas Vantage Vue, marca Davis Instruments en puntos estratégicos, las cuales permitieron registrar el comportamiento de las condiciones atmosféricas de forma representativa para las estaciones de monitoreo. La microlocalización de las estaciones meteorológicas se presenta en la Tabla 5.2.1-153.

Tabla 5.2.1-153 Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica 1	Nombre:	Estación Villa Blanca
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	4°37'18,38"N
		74°9'59,17"W
	Altitud:	2554 msnm
	Equipos:	Vantage Vue, marca Davis Instruments
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/19
ESTACIÓN METEOROLÓGICA 2	Nombre:	RM CAB³ Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	4°37'31,04"N
		74°4'2,06"W
	Altitud:	2621 msnm
	Equipos:	Vantage Vue, marca Davis Instruments
	Periodo de medición:	2017/08/01-2017/08/19

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Con estos datos se determinaron las predominancias en velocidad y dirección del viento con el fin de establecer la dirección y grado de dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Por otra parte, el análisis de la pluviometría de la zona es importante para la determinación de si existe o no remoción húmeda en la zona (lavado atmosférico). La combinación de otros aspectos como humedad y datos de superficie como temperatura, radiación solar y velocidad del viento deben llevar a la estimación de la estabilidad atmosférica

En la Tabla 5.2.1-154 y Tabla 5.2.1-155 se muestran los datos diarios obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente, donde se consolida el valor promedio de: velocidad del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa así como la precipitación acumulada.

³ Secretaría Distrital de Ambiente [en línea] <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/inicio> _ Link "Calidad del Aire en Bogotá" [citado en junio de 2017]

Tabla 5.2.1-154 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación Villa Blanca

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
2017-07-31	13,47	570,45	0,00	0,77	73
2017-08-01	14,16	569,96	0,00	0,41	74
2017-08-02	15,42	568,69	0,00	0,53	70
2017-08-03	15,87	569,03	0,00	0,83	69
2017-08-04	15,11	568,29	1,02	0,68	76
2017-08-05	15,11	568,80	0,00	0,87	72
2017-08-06	15,46	568,65	0,00	0,78	69
2017-08-07	15,76	567,85	0,00	0,74	69
2017-08-08	13,20	567,95	5,84	0,74	70
2017-08-09	16,80	568,38	1,01	0,84	72
2017-08-10	15,53	568,66	0,00	0,51	73
2017-08-11	15,78	567,71	0,00	0,42	74
2017-08-12	15,50	567,81	0,00	0,54	72
2017-08-13	15,50	568,32	0,00	0,69	69
2017-08-14	16,28	568,19	0,00	0,68	58
2017-08-15	15,28	567,12	0,00	0,51	71
2017-08-16	16,29	566,97	0,00	0,84	70
2017-08-17	16,72	566,55	3,05	0,57	74
2017-08-18	16,01	565,51	19,06	0,70	81
2017-08-19	14,10	565,92	10,66	0,66	85
2017-08-20	15,19	567,35	0,00	0,79	75
2017-08-21	15,61	569,02	0,00	0,76	69
2017-08-22	14,90	569,51	0,25	0,92	70
Promedio	15,35	568,12	40,89	0,69	72
Máximo	16,80	570,45	19,06	1,72	85
Mínimo	13,20	562,77	0,00	0,41	58

*Precipitación acumulada

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Tabla 5.2.1-155 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación RMCAB

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
2017-08-01	13,93	564,54	0,40	1,12	62
2017-08-02	14,98	564,08	0,00	1,90	58
2017-08-03	15,40	564,33	0,00	1,31	58
2017-08-04	15,10	564,33	4,50	1,48	64

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
2017-08-05	15,10	564,21	0,10	2,38	60
2017-08-06	15,25	564,13	0,00	1,78	57
2017-08-07	15,51	563,58	0,00	1,24	58
2017-08-08	15,68	563,54	6,70	1,49	58
2017-08-09	15,38	564,17	4,50	1,57	61
2017-08-10	15,15	564,25	0,00	1,45	62
2017-08-11	15,62	563,71	0,00	1,33	62
2017-08-12	15,35	563,71	0,20	1,58	60
2017-08-13	14,60	564,04	0,50	1,48	58
2017-08-14	15,70	563,42	0,00	0,91	50
2017-08-15	15,11	563,17	0,20	1,40	57
2017-08-16	16,04	563,21	0,10	1,00	59
2017-08-17	16,25	563,08	4,90	1,49	63
2017-08-18	15,65	562,88	28,50	0,75	70
2017-08-19	14,17	562,71	28,80	0,95	73
2017-08-20	15,26	563,21	0,20	1,33	63
2017-08-21	15,38	564,21	0,10	1,32	58
2017-08-22	14,79	564,17	0,00	1,49	57
Promedio	15,25	563,76	79,70	1,40	60
Máximo	16,25	564,54	28,80	2,38	73
Mínimo	13,93	562,71	0,00	0,75	50

*Precipitación acumulada

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Temperatura

En la Figura 5.2.1-140 y la Figura 5.2.1-141 se presenta la temperatura promedio diaria para las estaciones meteorológicas Villa Blanca y RMCAB, respectivamente, durante el periodo de la campaña de monitoreo.

En la estación Villa Blanca, los valores medidos presentaron variaciones entre 13,2°C (Valor mínimo) y 16,8°C (Valor máximo) registrados los días 08 y 09 de agosto, respectivamente. El promedio del periodo es de 15,35°C.

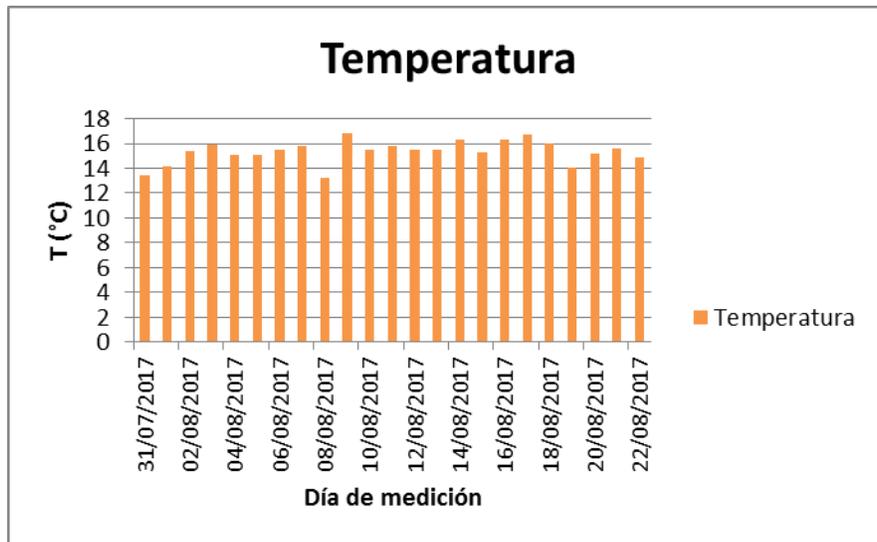


Figura 5.2.1-140 Temperatura promedio diaria Estación Villa Blanca

En la estación RMCAB, el valor mínimo fue de 14,6°C, el valor máximo de 16,25°C, el promedio en esta estación fue de 15,25°C.

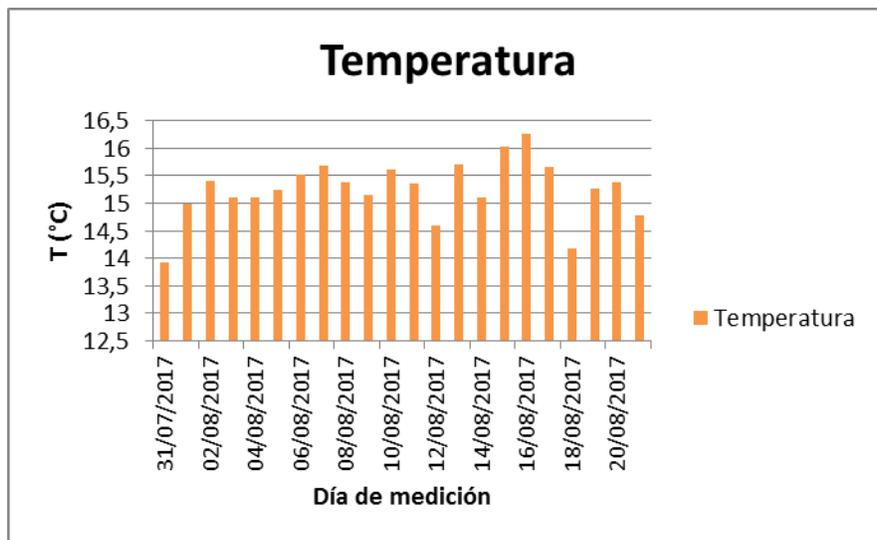


Figura 5.2.1-141 Temperatura promedio diaria Estación RMCAB

Precipitación

En la Figura 5.2.1-142 y la Figura 5.2.1-143 se presenta la precipitación acumulada diaria. La precipitación acumulada durante el periodo de monitoreo fue de 40,89 mm de agua en la estación Villa Blanca y de 79,7 mm en la estación RMCAB; el día 18 de agosto de 2017 se alcanzó el máximo registro, 19,06 mm de agua en la estación Villa Blanca, mientras que en la estación RMCAB el máximo valor fue de 28,50 mm y se alcanzó el 19 de agosto de 2017.

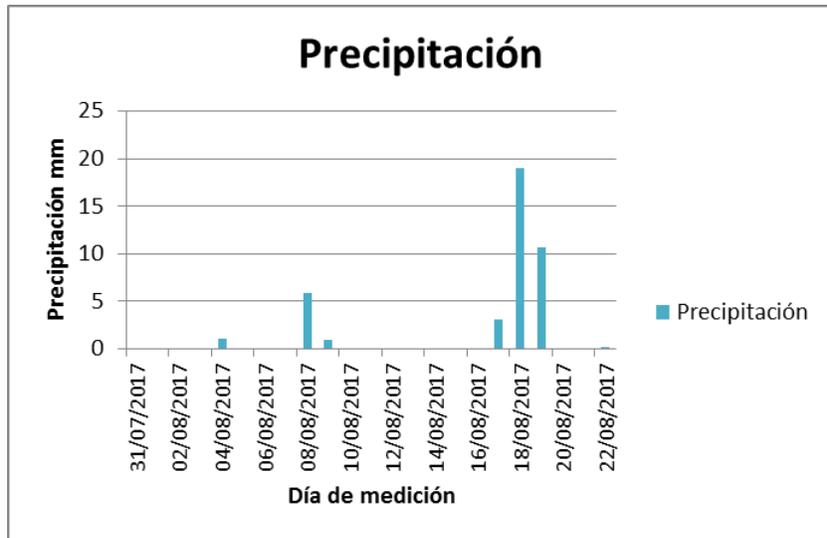


Figura 5.2.1-142 Precipitación acumulada diaria Estación Villa Blanca

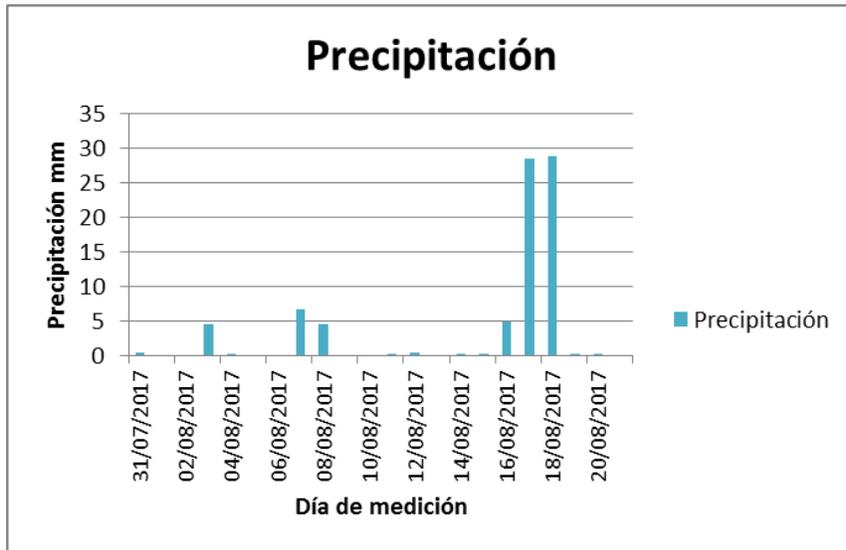


Figura 5.2.1-143 Precipitación acumulada diaria Estación RMCAB

Presión Barométrica

En Figura 5.2.1-144 y Figura 5.2.1-145 se muestra de manera gráfica la presión barométrica promedio diaria registrada en las dos estaciones. Las variaciones de los promedios diarios de presión no superaron los 10 mm de Hg, el promedio durante el periodo de monitoreo fue de 568,12 mm de Hg en la estación Villa Blanca y de 563,76 mm de Hg en la estación RMCAB.

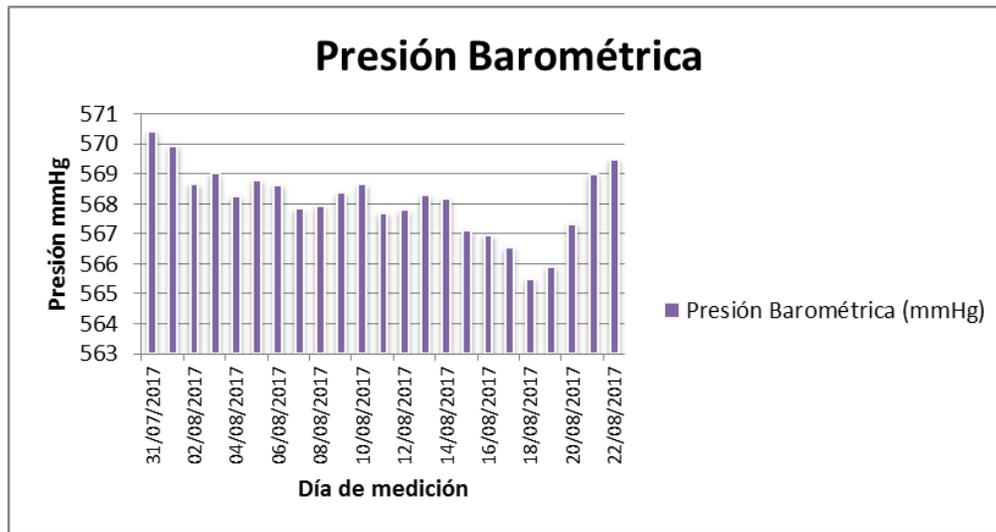


Figura 5.2.1-144 Presión barométrica promedio diaria Estación Villa Blanca

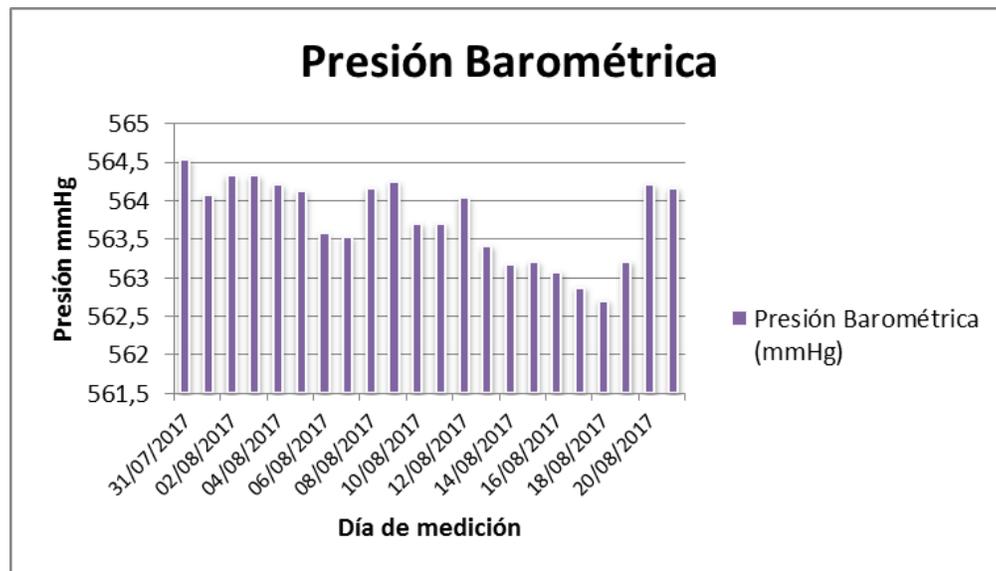


Figura 5.2.1-145 Presión barométrica promedio diaria Estación RMCAB

Dirección y velocidad del viento

En la Figura 5.2.1-146 y Figura 5.2.1-147 se presenta la velocidad promedio del viento diaria de las estaciones durante el periodo de monitoreo. El promedio de velocidad del periodo de monitoreo (1 al 20 de agosto de 2017) en las estaciones Villa Blanca y RMCAB es de 0,69 m/s y 1,40 m/s, respectivamente. En la estación RMCAB se incrementa un poco el valor debido a que se encuentra a mayor altura. Las velocidades más elevadas se presentaron el día 5 de agosto y 22 de agosto en la estación Villa Blanca y 5 de agosto en la estación RMCAB.

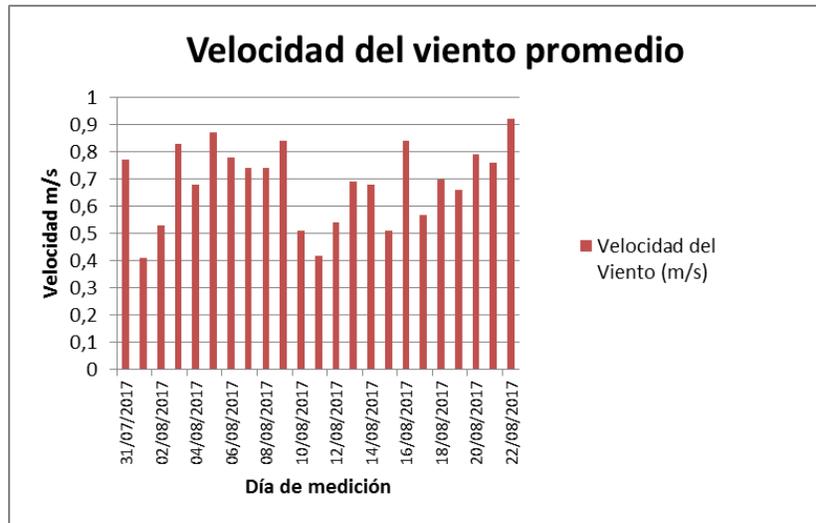


Figura 5.2.1-146 Velocidad del viento promedio estación Villa Blanca.

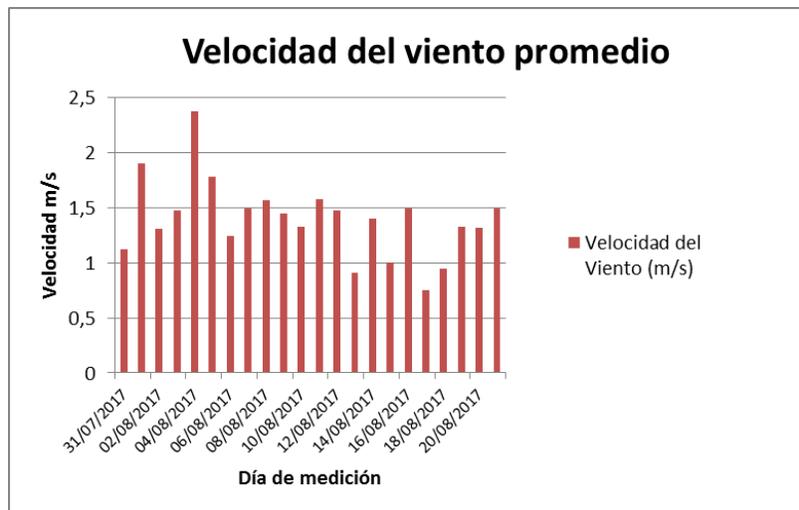
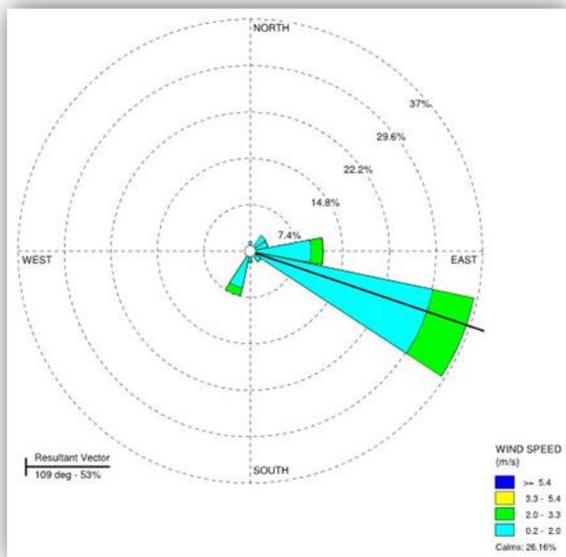


Figura 5.2.1-147 Velocidad del viento promedio estación RMCAB

Rosa de vientos

Como se puede apreciar en la Figura 5.2.1-148 Rosa de vientos, se registra una predominancia de los vientos provenientes de la dirección Este Sureste (ESE) y del Este (E) en la estación Villa Blanca, mientras que en la estación RMCAB predominan los vientos provenientes del Este (E), del Este Sureste (ESE) y del Sureste (SE).

Estación Villa Blanca



Estación RMCAB

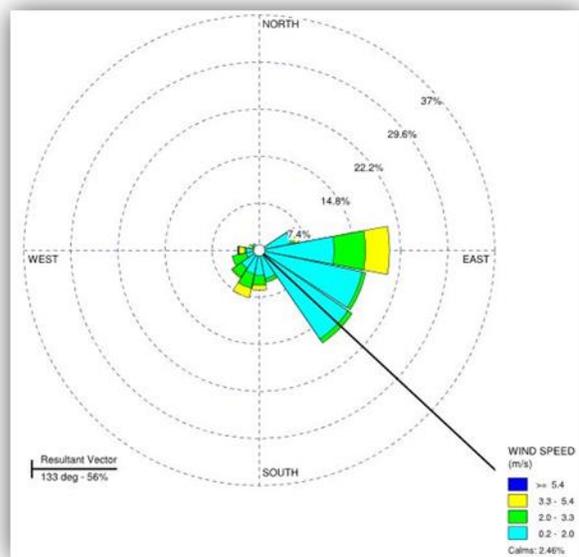


Figura 5.2.1-148 Rosa de vientos – Estaciones Meteorológicas

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual) - Datos meteorológicos procesados en software WRPLOT View – Freeware V: 6.7.165 – Lakes Environmental

5.2.1.20.4 Metodología de muestreo

La metodología para el desarrollo de los muestreos de Calidad de Aire, se desarrolló de acuerdo con lo establecido en el documento Anexo 5.2.1.2 Monitoreo de Calidad de Aire, que contiene el protocolo, los parámetros y procedimientos aplicados bajo los lineamientos del Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire expedido por el MADS. En este Anexo se incluye protocolo de monitoreo desarrollado para el estudio.

En los monitoreos se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (U.S. EPA) de los Estados Unidos de América y avalados por la legislación colombiana, tanto las soluciones para el muestreo como las muestras en sí, permanecieron en una cadena de frío y estas últimas se transportaron bajo cadena de custodia, lo cual permitió mantener la trazabilidad y calidad de los resultados.

Los métodos utilizados en el monitoreo fueron los siguientes:

5.2.1.20.4.1 Medición de Material Particulado

Toma de muestras para la Determinación de Material Particulado como PM₁₀ en la Atmósfera, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM₁₀.

Para el monitoreo de las partículas y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen se siguieron las recomendaciones de las normas de la U.S. EPA contenidas en el 40 CFR Parte 50,

Apéndice J, “*Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere*”; junto con la Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC.

El método consiste en hacer pasar una muestra de aire, succionada por un motor, a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente secado y pesado, durante 24 horas. Los flujos de operación se encuentran entre 1,02 y 1,24 (m³/min) para PM₁₀. Para material particulado se utilizaron equipos de alto volumen Hi – Vol (Figura 5.2.1-149), los cuales fueron verificados al inicio del muestreo mediante el uso de metodología de orificios.

Al estar operando en éste rango de flujo, las muestras se colectaron por periodos de 24 horas. La concentración de la masa de las partículas suspendidas se calculó por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después de muestreo y del total del flujo de aire muestreado.



Figura 5.2.1-149 Muestreador Hi-Vol de PM₁₀
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Equipos de Verificación

La verificación del equipo se realizó con un kit de calibración (Figura 5.2.1-150), este consta una resistencia de flujo variable, la cual es un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos; este kit de calibración posee la respectiva ecuación de calibración con su respectiva curva



Figura 5.2.1-150 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Finalizado el tiempo de muestreo, el filtro se seca a 85°C por una hora en estufa, se lleva a temperatura ambiente en desecador y se pesa nuevamente. La diferencia de peso, es la masa (μg) neta, que dividida por el volumen de aire (m^3) muestreado durante las 24 horas, determina la concentración de partículas, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la determinación del material particulado, en el Laboratorio de K2 INGENIERÍA S.A.S. se utilizó una balanza digital OHAUS (Figura 5.2.1-151).



Figura 5.2.1-151 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La balanza digital Figura 5.2.1-151 utilizada en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. fue:

Tabla 5.2.1-156 Información de la balanza utilizada en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
8328240501	OHAUS PA214	2015-05-20	2018-05-20

Muestreadores de bajo volumen para $\text{PM}_{2.5}$ ⁴

Este muestreador fue concebido desde el principio como una plataforma de muestreo secuencial. Tanto las versiones de cuatro y 12 canales del dispositivo proporcionan capacidades de muestreo secuenciales. Muestreadores de cuatro canales se pueden actualizar en una fecha posterior a la configuración de 12 canales. Cuatro canales de flujo pueden ser operados simultáneamente, cada uno con un caudal de hasta 16,7 L/min (un m^3/hora) para lograr condiciones termodinámicas comparable con $\text{PM}_{2.5}$ muestreadores FRM. Esto también permite más material para ser recogida en cada filtro de 47 mm para el análisis que a velocidades de flujo más bajas. Control de flujo volumétrico activo mantiene una velocidad de flujo volumétrico constante especificada por el usuario mediante la incorporación de cuatro controladores de flujo másico y sensores de temperatura y presión ambiente (Figura 5.2.1-152).

⁴ <http://www.thermoscientific.com/en/product/partisol-2300-speciation-sampler.html#sthash.yEaRnXOP.dpuf>



Figura 5.2.1-152 Muestreadores Low-Vol PM_{2.5}

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Características principales:

- Secuencial flexible (12 canales) unidad con interfaz de usuario
- Activol™ de control de flujo con cuatro controladores de flujo; trayectoria de flujo recta
- PM_{2.5} y PM₁₀ impactadores aseguran punto de corte tamaño aguda similar a FRM
- Flujos programables (hasta 18 L/min.)
- Configuraciones de Base (cuatro canales) y la plataforma de muestreo flexibles disponibles

Los canales pueden ser agrupados en las siguientes maneras:

- Tres grupos de cuatro canales de flujo
- Tres grupos de tres canales de flujo
- Seis grupos de dos canales de flujo
- Doce canales de flujo

Información Adicional:

- Tres tipos de almacenamiento de datos interno
- La simplicidad de la operación
- Intercambio conveniente de módulos de muestreo sin abrir caja del instrumento
- Operación remota a través de entrada o de dos vías analógicas RS-232 enlace serie
- Bajos requerimientos de mantenimiento

La Verificación de los equipos Low-Vol se realizó con un Calibrador 'deltaCal' fabricado por BGI, Inc., para calibrar monitores de PM (con sensor de temperatura y presión), (Figura 5.2.1-153) Muestra flujo actual y flujo a condiciones estándares, brinda información sobre flujo volumétrico, presión barométrica, temperatura de ambiente entre otros.



Figura 5.2.1-153 Equipamiento que conforma el kit de calibración Deltacal
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.4.2 Medición de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (NO₂ y SO₂)

Toma de muestras y análisis para determinación de SO₂, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A: Pararrosalinina y Toma de muestras para determinación de NO_x, Método Jacobs N° EQN-1277-026: Arsenito de sodio

Para realizar el análisis de SO₂ y NO₂, se utilizó un equipo que opera mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para estos gases. El cálculo de la concentración en 24 horas se determina mediante el flujo de muestreo, tiempo de operación del muestreador, concentración de SO₂ y NO₂ en la muestra y la curva de calibración correspondiente. El flujo requerido de 180 y 220 ml/min se logra mediante la utilización de orificios críticos, una vez que la bomba mantenga un vacío mínimo de 500 mm de Hg.

Los equipos utilizados para el muestreo de gases son los conocidos RAC tres gases que operan mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para cada NO₂ y SO₂.

Equipo Utilizado

El equipo muestreador de gases tipo RAC (Figura 5.2.1-154), consta de una caja metálica con tapa móvil y dos compartimentos. El primer compartimiento tiene una bomba de vacío cuyas características cumplen las especificaciones recomendadas por la U.S. EPA 40 CFR App A ⁵ (motor de 1700 rpm, 0.5 HP de fuerza, presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). En el segundo compartimiento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a tres colectores de vidrio de borosilicato (burbujeadores) que contienen la

⁵ US EPA CFR 40 Appendix A to Part 50—Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) [*Federal Register*: Vol. 47, page 54899, 12/06/82 and Vol. 48, 17355, 04/22/83]

solución absorbente para NO₂, SO₂ y O₃ que hace las veces de trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra (24 horas). El sistema es protegido por un filtro de membrana de 8 µm colocado entre la entrada de la muestra y el primer burbujeador y por una trampa de humedad (sílice gel) colocada entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío.



Figura 5.2.1-154 Muestreador de Gases tipo RAC

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Adicionalmente, el colector de SO₂ va empotrado en una pequeña nevera refrigerada con hielo seco o hielo y una salmuera para mantener el sistema a una baja temperatura. Los gases, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno, fueron monitoreados mediante este equipo muestreador RAC, el cual es un instrumento que utiliza un sistema de absorción de gases con químicos húmedos.

Verificación RAC

La verificación se efectuó empleando una unidad tipo burbuja Gilibrator 2 o tubo cilíndrico graduado, siguiendo los pasos que se describe a continuación:

- Ensamblar el equipo como muestra la Ilustración 8.
- Llenar los tubos de muestreo con 50 ml de agua destilada.
- Revisar las conexiones.
- Encender la bomba de vacío y verifique la presión manométrica.
- Verificar el funcionamiento de los burbujeadores en el tren de muestreo.
- Forme una burbuja, mida y registre el tiempo de viaje entre las marcas de volumen conocido en el calibrador de burbuja, repita esta operación como mínimo tres veces; hasta que los tiempos de recorrido no difieran entre sí en más del 5%. Registre la información en el formato para calibración de orificios críticos.
- Promediar el tiempo de viaje para 10 corridas.
- Corregir el volumen desplazado a condiciones de referencia (760 mmHg y 25°C)

- Dividir el volumen corregido por el tiempo promedio para determinar la tasa de flujo.
- La tasa de flujo para cada orificio de flujo crítico debe localizarse entre 180 y 220 ml/min, si no se cumple esta condición debe desecharse el orificio.

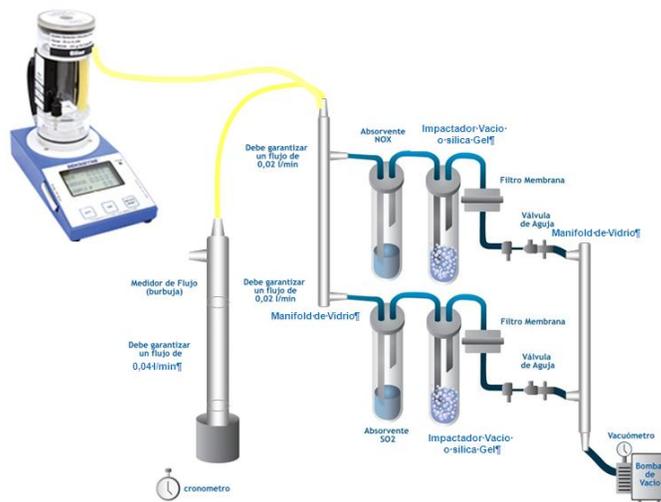


Figura 5.2.1-155 Montaje del calibrador de burbuja

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Análisis de Laboratorio

Para SO_2 , en laboratorio se sigue el método de la Pararrosanilina para el Dióxido de Azufre (EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A), el cual es absorbido en una solución de Potasio o de Tetracloromercurato de Sodio (TCM). La muestra es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes, como Ozono y Óxidos de Nitrógeno. La solución es tratada con formaldehído, Ácido Fosfórico y Pararrosanilina, a fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro para lo cual se utiliza un espectrofotómetro, a una longitud de onda a 548 nm.

Para los NO_2 se aplica el Método Jacobs Modificado por D.A Levaggi, W. Siu y M. Feldstein; Journal of the Air Pollution Control Association 2012, 23:1, 30-33. Trietanolamina adoptado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Las concentraciones atmosféricas de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) son medidas indirectamente por fotometría midiendo la intensidad de luz, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros.

Para la cuantificación de los colores, es utilizado un espectrofotómetro como se observa en la Figura 5.2.1-156.



Figura 5.2.1-156 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La información sobre el espectrofotómetro utilizado en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. se presentan en la Tabla 5.2.1-157

Tabla 5.2.1-157 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
2L5L366001	Thermo Genesys 10	2016-05-16	2018-05-16

Fuente: Información de equipos y calibraciones de K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.4.3 Medición de Monóxido de Carbono (CO)

Toma de muestras para determinación de CO, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice C. El método de referencia se basa en la absorción de energía de determinadas longitudes de onda que tiene el CO y consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el CO mediante un fotómetro no dispersivo.

Para las mediciones de CO se realiza en tiempo real con analizadores infrarrojo no dispersivo CO12M Enviromental S.A., (Figura 5.2.1-157). El CO12M representa la última evolución de la tecnología de detección de gases, cuyas concentraciones son reportadas en ppm. El método consiste en realizar mediciones al aire libre en cada una de los puntos a evaluar.



Figura 5.2.1-157 Analizador automático de CO

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para los cálculos, se requiere la conversión de la concentración en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con la siguiente expresión establecida en la Sección 7.3.1.1. Manejo y presentación de las variables de calidad del aire del Manual de diseño del protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Resolución 2154 de 2010):

Ecuación 1 Cálculo de concentración de CO

$$C_{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = \frac{C(\text{ppm}) * PM}{24.45} * 10^3$$

Dónde:

$C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$: Concentración de CO en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$C(\text{ppm})$: Concentración de CO en ppm.

5.2.1.20.4.4 Estación Meteorológica

Para la obtención de la información meteorológica, durante la campaña de monitoreo se emplearon dos (2) estaciones meteorológicas: Vantage Vue marca Davis Instruments.

Los equipos cuentan con sensores de dirección y velocidad del viento, registran datos de temperatura ambiente, presión barométrica, porcentaje de humedad relativa, precipitación, entre otras. Este tipo de equipos también presenta la predicción del estado del tiempo, es decir, si las próximas horas corresponderán a tiempos soleados, parcialmente cubiertos, cubiertos, con lluvias y/o con nieve (esta última, sólo es aplicable en aquellos lugares donde se presenta este fenómeno).

En la Figura 5.2.1-158 puede observarse la consola y la estación meteorológica.



Figura 5.2.1-158 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La mayor aplicabilidad de este tipo de estaciones es su uso en el apoyo de las campañas de monitoreo de calidad del aire y análisis meteorológicos, ya que realizan la medición precisa de todas las variables mencionadas anteriormente y además, almacena la información en un datalogger, el cual puede ser posteriormente conectado a un computador y realizar la respectiva descarga de información para poder ser empleada en la elaboración de los informes.

Para la ejecución de la campaña de monitoreo, se empleó una resolución temporal de treinta (30) minutos.

5.2.1.20.4.5 Comparación de Concentración con La Norma

Los datos promedio de concentración que se obtienen del monitoreo de calidad de aire corresponden a los valores de concentración de cada contaminante en particular obtenidos a las condiciones locales de presión y temperatura. Para realizar la comparación de estos promedios con los estándares máximos establecidos en Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 “Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006” del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), deben ser corregidos a condiciones de referencia⁶ (Ver Tabla 5.2.1-158), es necesario expresar cada dato obtenido a estas mismas condiciones de referencia de 298.15 K y 101.325 kPa (25°C y 760 mmHg) y deben estar expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 5.2.1-158 Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Inmisión, Expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

Parámetro	Unidad	Resolución 610 De 2010*
Material Particulado (PM ₁₀)		
Promedio Diario (24 Horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Promedio Aritmético Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Material Particulado (PM _{2.5})		

⁶ Resolución 610 de 2010 del 24 de marzo de 2010 “Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.

Parámetro	Unidad	Resolución 610 De 2010*
Promedio Diario (24 Horas)	µg/m ³	50
Promedio Aritmético Anual	µg/m ³	25
Dióxido De Azufre (SO ₂)		
Promedio Diario (24 horas)	µg/m ³	250
Promedio Aritmético Anual	µg/m ³	80
Dióxido De Nitrógeno (NO ₂)		
Promedio Diario (24 Horas)	µg/m ³	150
Promedio Aritmético Anual	µg/m ³	100

Nota: * Condiciones de Referencia. (25°C y 760 mmHg).

Fuente: Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010, Emitida por el MAVDT hoy MADS.

La conversión de los datos obtenidos en campo a **condiciones de referencia** se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2 Concentración a condiciones de referencia

$$CCR = \frac{CL * PL}{760} * \frac{298 K}{(273 + TL)}$$

Dónde:

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia; µg/m³

CL: Concentración del contaminante a condiciones de locales de presión y temperatura; µg/m³

PL: Presión barométrica promedio local; mmHg.

TL: Temperatura ambiente promedio local; (°C).

5.2.1.20.5 Análisis de Resultados

En el presente numeral se presentan los resultados obtenidos en la campañas realizada en Agosto de 2017 respectivamente, en las estaciones de muestreo. Los resultados de las muestras obtenidas en el trabajo desarrollado, se compararon con las normas de calidad de aire establecidas en la Resolución 610 de 2010.

5.2.1.20.5.1 PM10

Concentraciones diarias de PM10 vs. Norma diaria

En la Tabla 5.2.1-159 se presenta el consolidado de los resultados para PM₁₀ diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-159 Concentraciones diarias de PM₁₀ vs. Norma diaria

	Patio-Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76	Norma Diaria (µg/m ³)
1	66,19	97,16	85,97	51,18	72,24	55,68	48,76	68,34	10,86	50,82	90,89	54,91	51,72	40,69	77,51	68,87	77,02	69,48	100
2	57,22	82,55	90,16	68,78	33,08	68	55,05	57,03	76,1	38,33	92,79	62,68	51,31	48,09	59,98	58,78	59,55	58,42	100
3	58,6	90,09	46,02	46,73	30,77	74,46	35,28	31,4	61,45	33,45	68,04	52,86	50,64	20,61	48,1	45,17	47,86	50,76	100
4	47,8	79,13	38,53	46,52	33,03	73,9	37,55	29,58	40,87	37,54	61,23	50,18	45,7	99,8	45,56	36,94	45,16	46,6	100
5	45,91	83,55	46,61	30,44	40,41	54,09	32,01	32,48	19,72	43,31	64,71	53,92	48,79	65,77	48,89	46,11	48,56	44,95	100
6	68,45	94,68	94,25	37,1	40,1	51,94	35,58	30,22	61,99	37,15	60,47	47,98	51,93	65,22	50,37	50,75	50,16	30	100
7	49,66	78,21	47,99	43,66	29,68	57,16	38,65	30,97	17,53	36,15	40,91	36,6	32,9	95,09	38,43	38,02	38,23	33,04	100
8	57,31	84,76	37,01	38,69	53,22	57,98	32,57	27,2	62,2	26,16	54,14	40,95	32,35	47,01	34,64	36,96	34,49	28,35	100
9	43,05	79,22	64,97	62,65	70,23	73,89	54,48	40,37	64,4	32,44	46,15	49,54	38,83	54,78	41,47	41,71	41,21	34,93	100
10	48,63	70,45	68,39	55,17	40,23	85,42	48,68	56,9	98,65	46,72	59,96	53,86	40,39	28,58	41,85	35,49	41,5	24,24	100
11	40,69	61,52	48,72	46,9	37,12	60,46	24,89	25,91	59,5	28,77	42,38	41	27,36	19,36	26,92	28,58	26,74	19,34	100
12	37,56	69,21	44,86	23,02	30,38	43,1	33,51	21,8	72,39	24,27	37,88	32,16	23,27	28,24	24,96	25,78	24,75	11,65	100
13	30,27	83,87	46,73	46,08	39,63	49,55	27,38	23,84	15,34	22,94	26,38	25,46	23,75	15,29	30,91	28,89	30,68	33,34	100
14	53,27	87,86	66,71	65,53	56,18	68,66	48,5	43,15	52,03	31,57	40,91	16,26	28,51	17,76	44,47	40,23	44,21	35,82	100
15	53,37	72,98	62,83	41,94	43,84	47,55	34,42	27,52	51,73	28,21	38,22	31,89	17,71	51,29	37,79	33,55	37,49	39,5	100
16	50,11	84,23	65,73	44,84	69,22	57,51	44,77	35,2	20,24	32,63	47,02	37,8	32,73	38,34	44,75	43,02	44,59	44,43	100
17	71,6	53,14	63,16	38,81	61,36	44,64	42,9	33,87	68,43	34,26	69,76	35,7	45,83	24,53	83,55	69,5	83,33	38,99	100
18	46,42	57,21	39,98	40,38	36,46	45,95	37,65	29,17	24,1	36,65	16,96	34,14	34,63	21,38	40,93	45,82	40,72	25,53	100

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

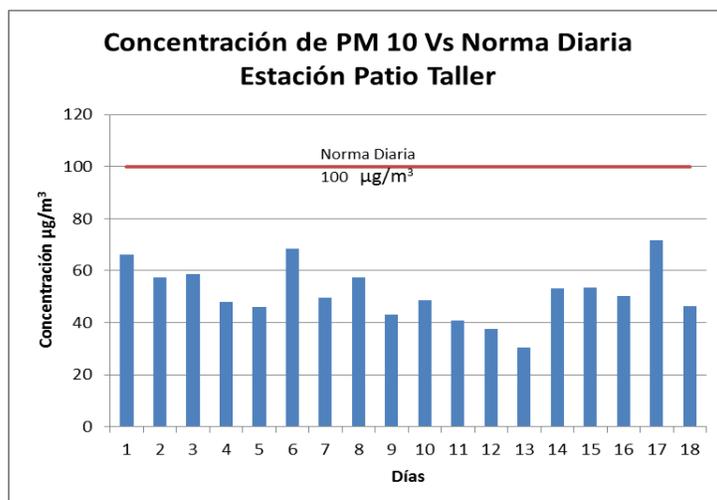


Figura 5.2.1-159 Concentraciones de PM₁₀ Estación Patio-Taller

La Estación Patio-Taller presentó su pico más alto el día 17, con un valor de 71,6 µg/m³, el cual representa el 71,6% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por tanto no genera afectación a los habitantes de la zona.

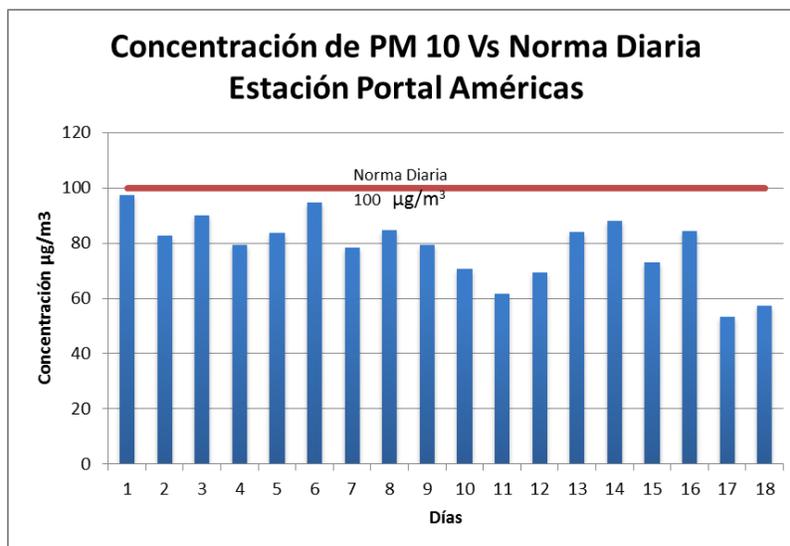


Figura 5.2.1-160 Concentraciones de PM₁₀ Estación Portal Américas

La Estación Portal Américas presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 97,16 µg/m³, el cual representa el 97,1% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010. Estos valores asociados a las actividades desarrolladas dentro del portal llegando casi al límite de lo establecido por la normatividad.

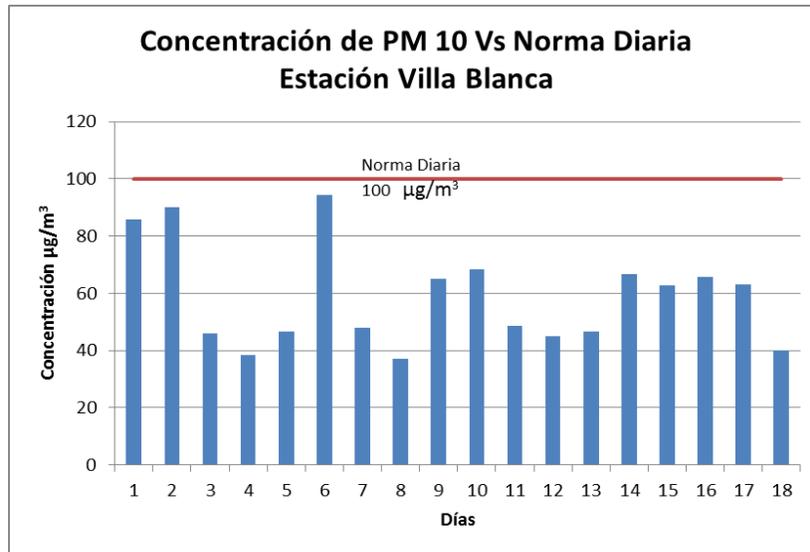


Figura 5.2.1-161 Concentraciones de PM₁₀ Estación Villa Blanca

La Estación Villa Blanca, presentó su pico más alto el día 6, con un valor de 94,25 µg/m³, el cual representa el 94,2% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona. Sin embargo, está muy cerca de alcanzar los valores establecidos por la norma.

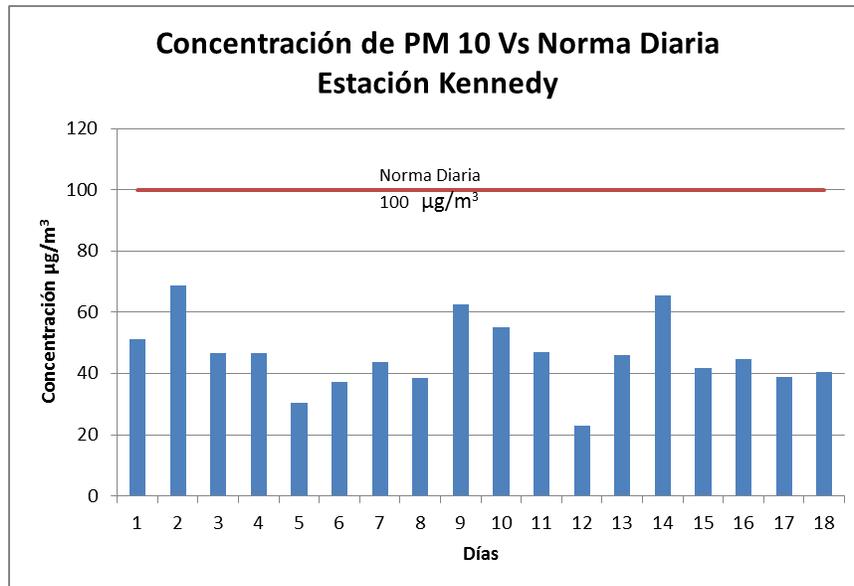


Figura 5.2.1-162 Concentraciones de PM₁₀ Estación Kennedy

La Estación Kennedy, presentó su pico más alto el día 2, con un valor de 68,78 µg/m³, el cual representa el 68,7% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

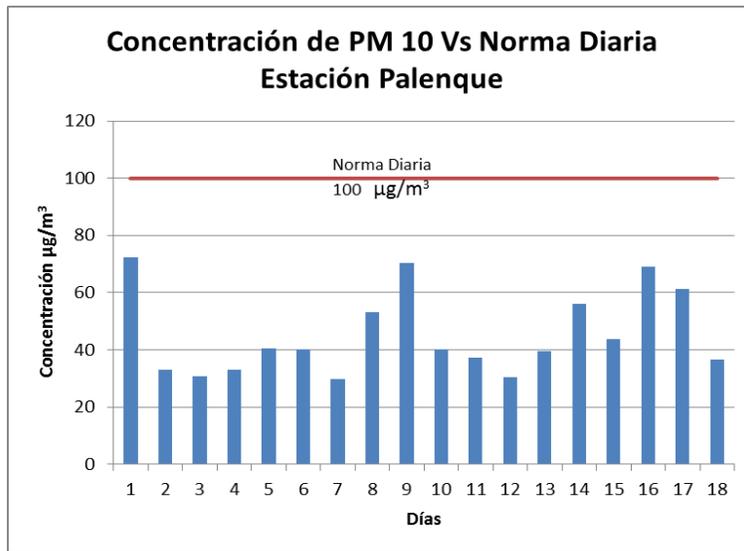


Figura 5.2.1-163 Concentraciones de PM₁₀ Estación Palenque

La Estación Palenque, presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 72,24 µg/m³, el cual representa el 72 % del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

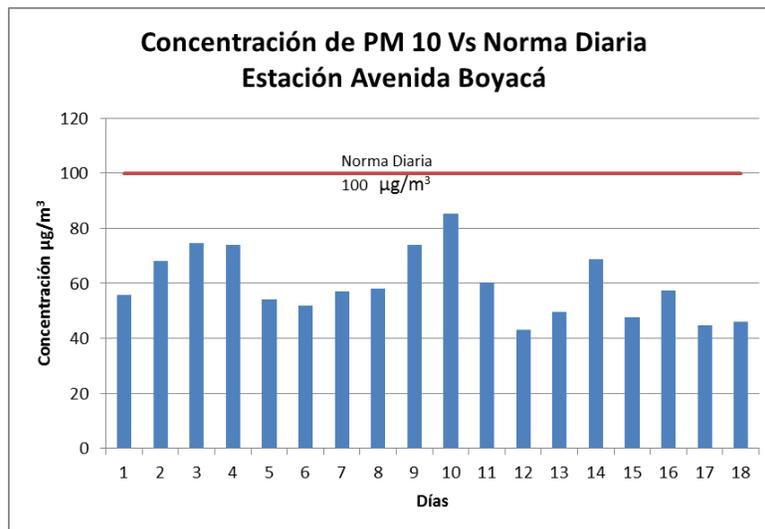


Figura 5.2.1-164 Concentraciones de PM₁₀ Estación Avenida Boyacá

La Estación Avenida Boyacá, presentó su pico más alto el día 10, con un valor de 85,42µg/m³, el cual representa el 85 % del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010. por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona, sin embargo es una de las estaciones donde hay más presencia de fuentes fijas industriales identificadas y fuentes fijas comerciales..

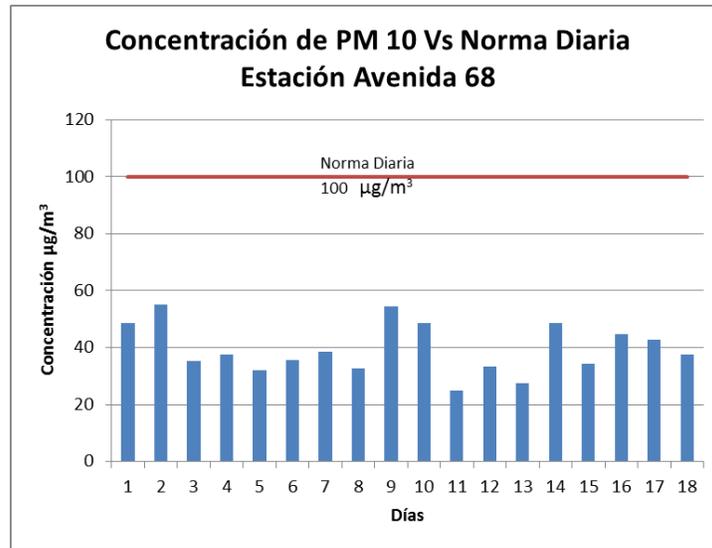


Figura 5.2.1-165 Concentraciones de PM₁₀ Estación Avenida 68

La Estación Avenida 68, presentó su pico más alto el día 2, con un valor de 55,05 µg/m³, el cual representa el 55% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

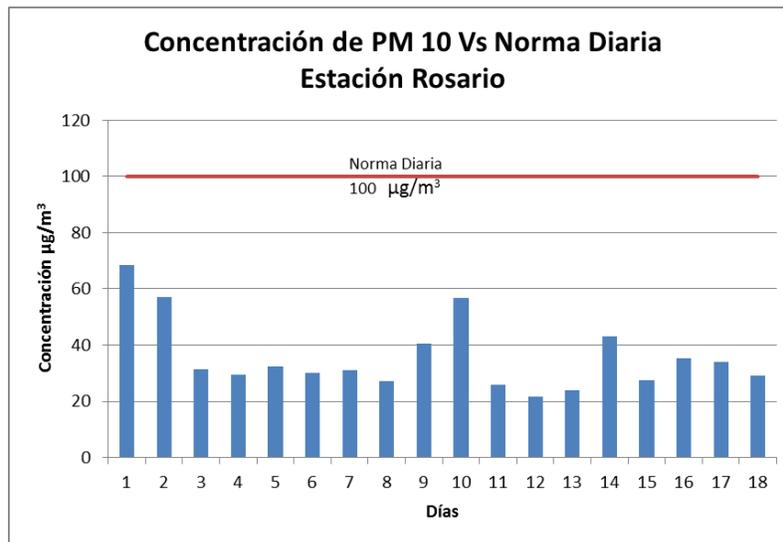


Figura 5.2.1-166 Concentraciones de PM₁₀ Estación Rosario

La Estación Rosario, presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 68,34 µg/m³, el cual representa el 68 % del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

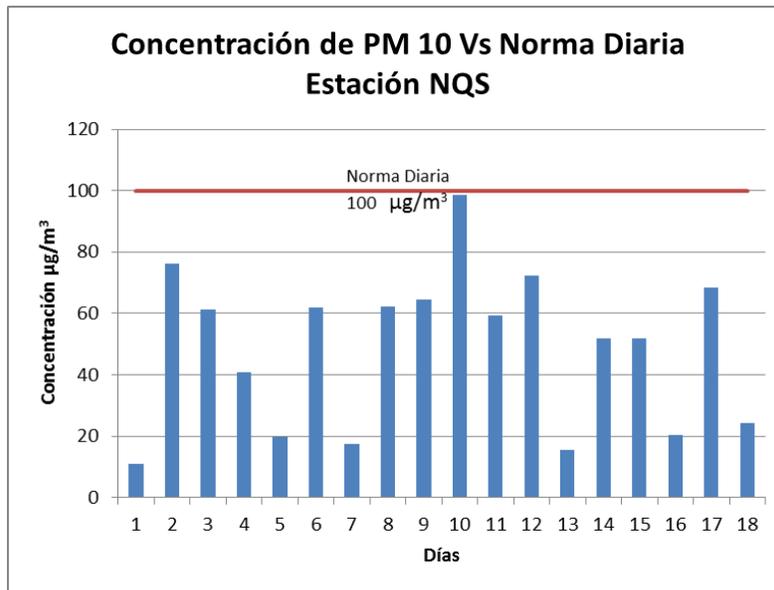


Figura 5.2.1-167 Concentraciones de PM₁₀ Estación NQS

La Estación NQS, presentó su pico más alto el día 10, con un valor de 98,65 µg/m³, el cual representa el 98,6% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona, sin embargo el pico puede deberse a la presencia de varias fuentes fijas industriales y comerciales en el área.

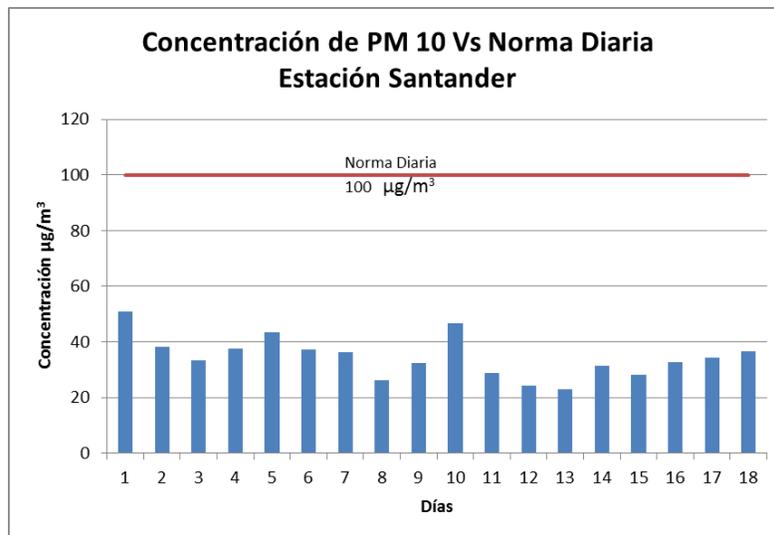


Figura 5.2.1-168 Concentraciones de PM₁₀ Estación Santander

La Estación Santander, presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 50,82 µg/m³, el cual representa el 50,8% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona

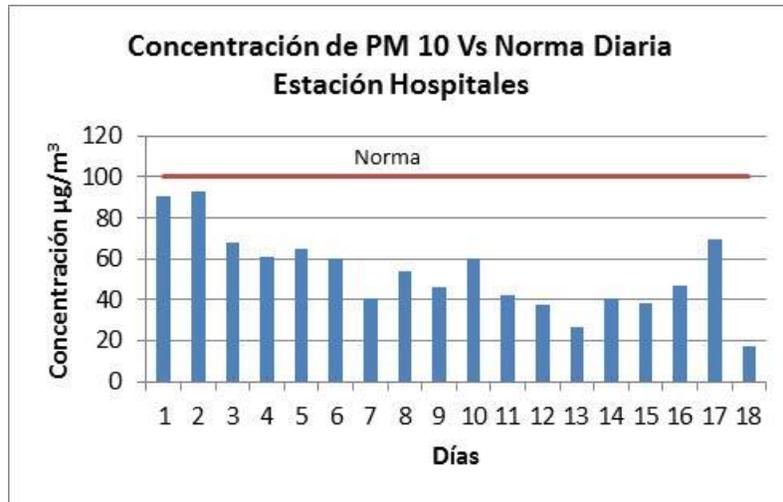


Figura 5.2.1-169 Concentraciones de PM₁₀ Estación Hospitales

La Estación Hospitales, presentó su pico más alto el día 2, con un valor de 92,79 µg/m³, el cual representa el 92,8% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, el valor se encuentra muy cercano al límite, esto posiblemente por la ubicación sobre la vía principal como lo es la Troncal Caracas.

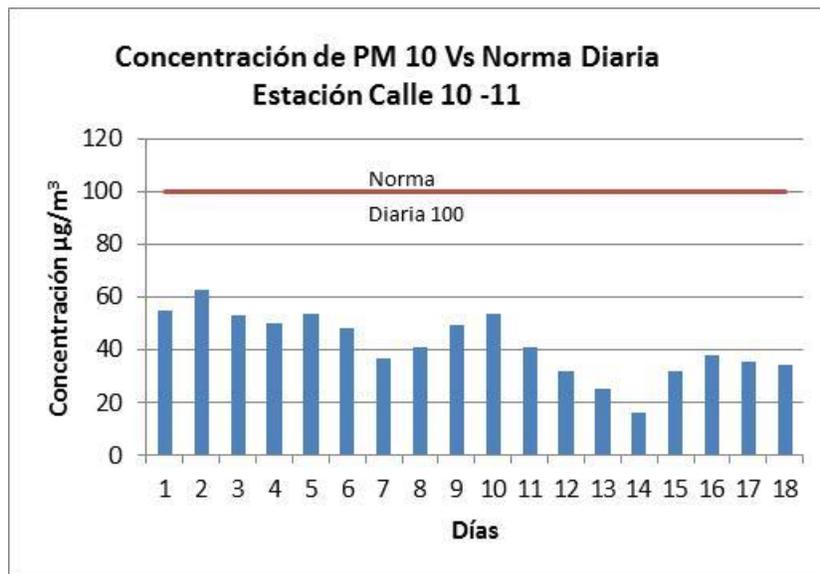


Figura 5.2.1-170 Concentraciones de PM₁₀ Calle 10 -11

La Estación Calle 10 -11, presentó su pico más alto el día 2, con un valor de 62,68 µg/m³, el cual representa el 62,6% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

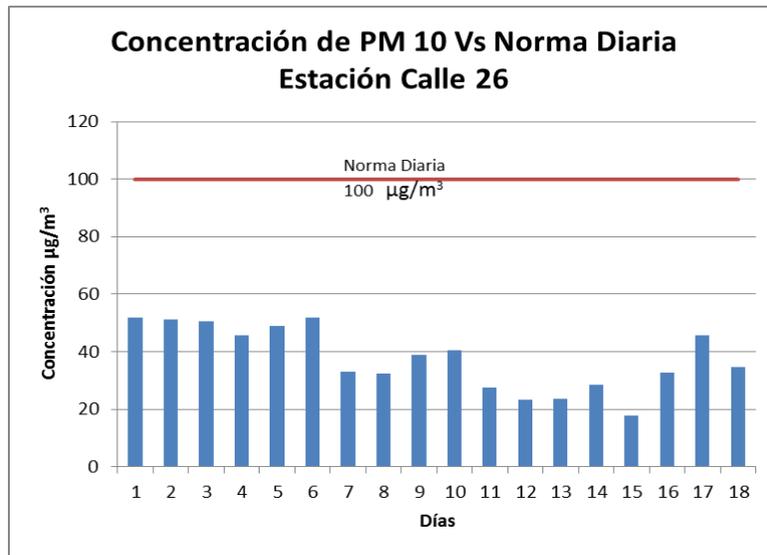


Figura 5.2.1-171 Concentraciones de PM₁₀ Calle 26

La Estación Calle 26, presentó su pico más alto el día 6, con un valor de 51,93 µg/m³, el cual representa el 52% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

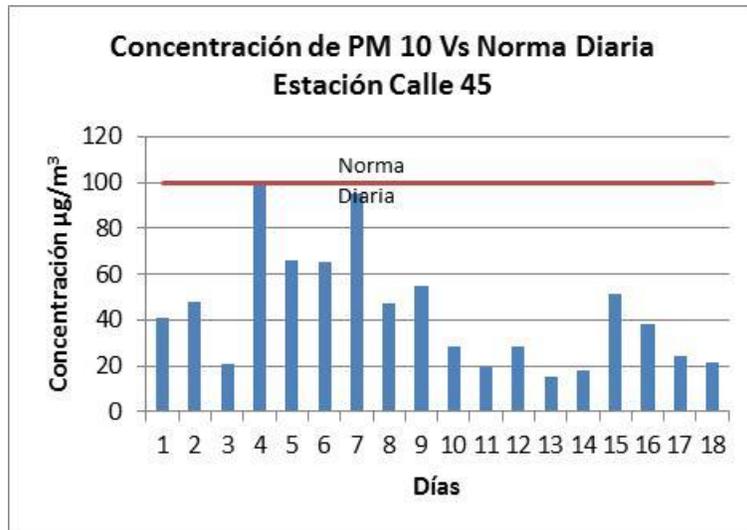


Figura 5.2.1-172 Concentraciones de PM₁₀ Calle 45

La Estación Calle 45, presentó su pico más alto el día 4, con un valor de 99,8 µg/m³, el cual representa el 99 % del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, esto asociado probablemente a la presencia de varias fuentes fijas comerciales en el área

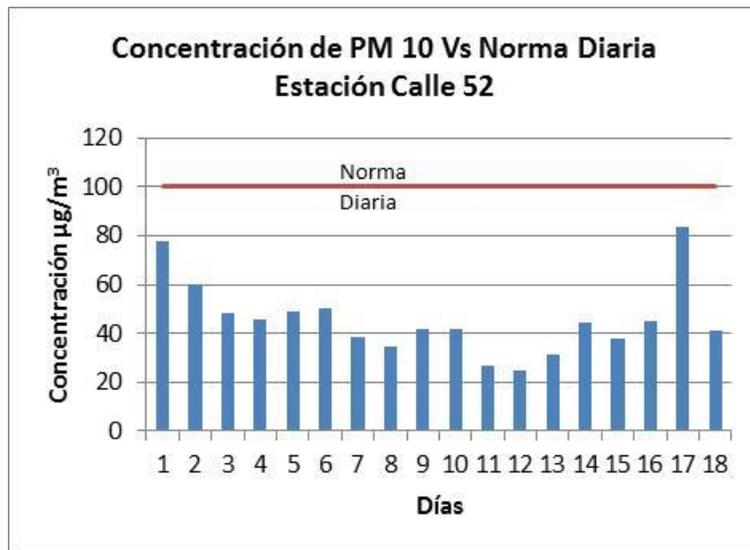


Figura 5.2.1-173 Concentraciones de PM₁₀ Calle 52

La Estación Calle 52, presentó su pico más alto el día 17, con un valor de 83,55 µg/m³, el cual representa el 83,5% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, esto asociado probablemente a la presencia de varias fuentes fijas comerciales en el área, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

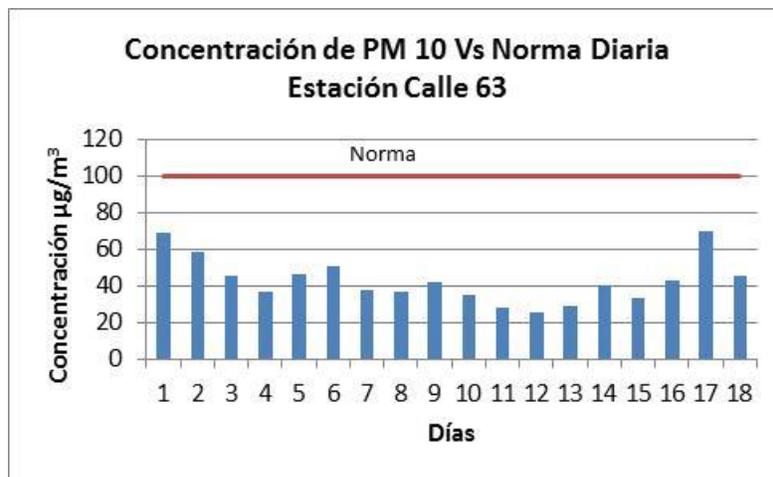


Figura 5.2.1-174 Concentraciones de PM₁₀ Calle 63

La Estación Calle 63, presentó su pico más alto el día 17, con un valor de 69,5 µg/m³, el cual representa el 69% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, , por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

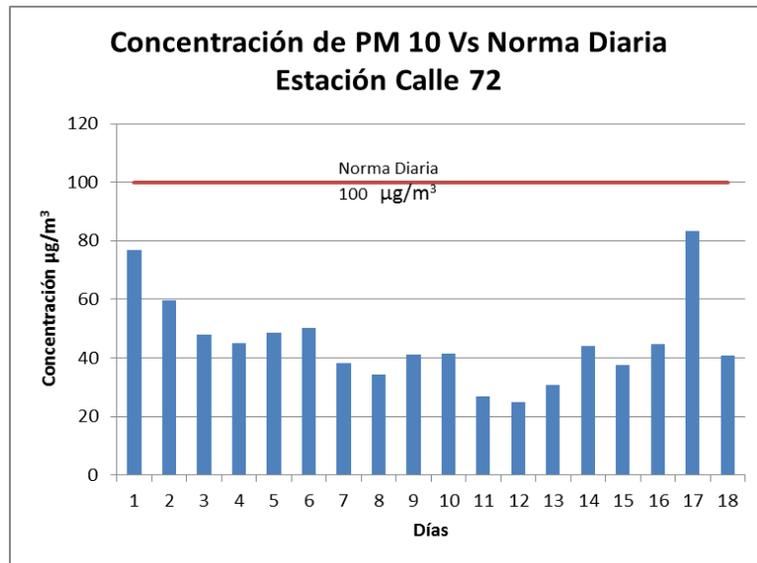


Figura 5.2.1-175 Concentraciones de PM₁₀ Calle 72

La Estación Calle 72, presentó su pico más alto el día 17, con un valor de 83,33 µg/m³, el cual representa el 83% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

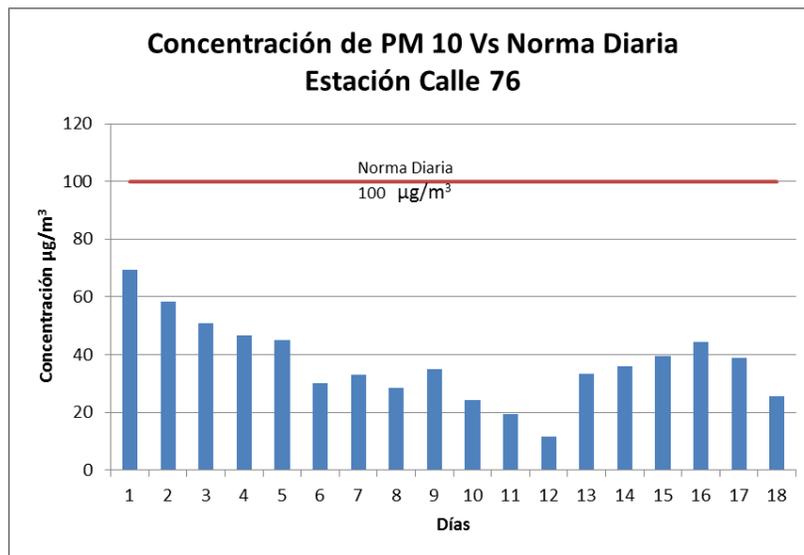


Figura 5.2.1-176 Concentraciones de PM₁₀ Calle 76

La Estación Calle 76, presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 69,48 µg/m³, el cual representa el 69% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Comparación con la Norma Anual

La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM₁₀ establece una concentración de 50 µg/m³. En la Tabla 5.2.1-160 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 5.2.1-160 Consolidado de resultados de PM₁₀

	Estación	Promedio PM ₁₀ ⁷ (µg/m ³)	Norma Anual (50 µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
1	Patio-Taller	51,45	50	102,90%
2	Portal Américas	78,32	50	156,65%
3	Villa Blanca	58,81	50	117,62%
4	Kennedy	46,02	50	92,05%
5	Palenque	45,4	50	90,80%
6	Avenida Boyacá	59,44	50	118,88%
7	Avenida 68	39,59	50	79,18%
8	Rosario	35,83	50	71,66%
9	NQS	48,75	50	97,50%
10	Santander	34,52	50	69,04%
11	Hospitales	53,27	50	106,53%
12	Calle 10-11	42,1	50	84,21%
13	Calle 26	37,69	50	75,37%
14	Calle 45	43,44	50	86,87%
15	Calle 52	45,62	50	91,23%
16	Calle 63	43,01	50	86,02%
17	Calle 72	45,35	50	90,70%
18	Calle 76	45,35	50	90,70%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

Así mismo en la Figura 5.2.1-177 se presenta de manera gráfica los valores promedio del consolidado de datos obtenidos y al comparar con la norma anual de 50 µg/m³, se puede detectar que cinco (5) de las dieciocho (18) estaciones superan el límite permisible anual; no obstante, es preciso destacar que estas concentraciones se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.

⁷ Promedio aritmético

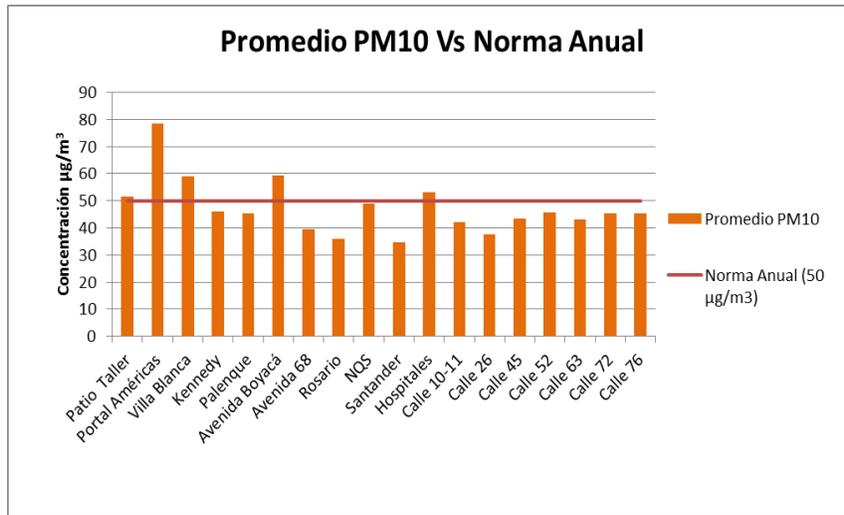


Figura 5.2.1-177 Concentraciones promedio PM10 vs Norma anual

5.2.1.20.5.2 PM2.5

Concentraciones diarias de PM2.5 vs. Norma diaria

En la Tabla 5.2.1-161 se presenta el consolidado de los resultados para PM_{2.5} diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-161 Concentraciones diarias de PM_{2.5} vs. Norma diaria (µg/m³)

	Patio-Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76	Res. 610/10
Día 1	41,93	75,78	22,03	35,19	30,37	29,94	24,53	48,83	8,67	37,45	57,8	28,45	24,19	26,04	24,7	40,66	49,06	43,46	50
Día 2	37,53	40,38	-	42,54	14,55	47,83	23,02	22,02	16,33	19,05	58,99	38,51	27,68	25,57	46,1	32,45	29,95	25,46	50
Día 3	37,19	28,41	13,06	36,43	24,57	48,31	11,33	19,93	39,51	18,85	25,54	21,95	22,38	16,04	28,88	23,69	17,07	39,74	50
Día 4	36,98	47,61	-	27,6	21,57	17,46	16,47	21,88	26,85	19,05	34,94	37,97	13,84	37,72	29,72	15,11	19,53	18,8	50
Día 5	40,65	42,01	24,13	20,62	25,8	19,93	18,63	17,22	11,24	22,96	38,69	23,54	15,76	25,56	14,11	27,68	20,16	18,47	50
Día 6	36,58	30,86	12,14	18,23	22,43	31,91	16,02	15,43	36,53	20,81	37,64	25,78	25,58	46,56	32,46	32,09	29,48	12,14	50
Día 7	42,7	47,43	47,16	25,06	13,28	23,04	19,47	15	13,6	18,07	28,45	17,98	12,33	32,02	19,01	15,49	20	14,34	50
Día 8	41,83	24,33	17,93	17,04	15,59	27,5	19,72	13,42	37,35	10,67	39,17	20,38	13,53	20,42	15,57	22,83	13,59	16,03	50
Día 9	17,11	17,68	21,32	45,1	47,69	30,75	29,45	25,97	32,52	22,44	35,74	27,28	17,68	37,57	26,25	22,5	26,46	15,19	50
Día 10	17,57	52,83	17,3	24,92	28,09	27,47	24,02	21,2	57,65	26,93	44,97	27,52	22,16	13,09	19,3	17,07	28,94	13,06	50
Día 11	25,74	17,27	24,67	24,66	16,83	27,38	15,52	12,93	31,85	13,06	26,94	27,43	11,46	12,22	13,25	16,35	10,37	12,82	50
Día 12	17,21	28,26	21,41	17,12	15,5	28,32	16,42	12,18	42,04	12,51	17,89	17,52	9,98	17,68	12,23	12,48	15,35	9,66	50
Día 13	11,93	30,97	18,65	35,57	29,75	34,93	13,01	12,98	11,69	10,84	13,96	13,87	12,93	10,42	18,73	16,66	17,37	17,96	50
Día 14	30,89	27,72	24,37	35,67	20,36	29,24	21,82	19,99	36,81	18,52	29,74	10,98	13,97	12,43	24,4	27,22	20,23	14,3	50
Día 15	27,5	48,33	25,19	32,86	34,54	26,93	17,41	15,12	31,46	12,56	26,76	24,66	11,03	25,27	15,33	12,76	11,7	17,97	50
Día 16	26,42	37,33	13,29	29,35	21,39	24,26	24,95	21,55	11,77	18,72	27,49	26,38	13,61	16,17	21,41	26,45	11,35	27,93	50
Día 17	37,2	49,78	34,81	18,81	23,62	18,17	20,33	20,67	32,01	19,66	39,75	24,77	10,38	13,16	28,41	42,33	46,02	19,68	50
Día 18	36,09	25,49	16,99	21,03	17,94	20,33	19,51	12,47	16,94	23,01	10,98	21,81	15,18	14,59	28,2	28,4	13,54	12,84	50

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

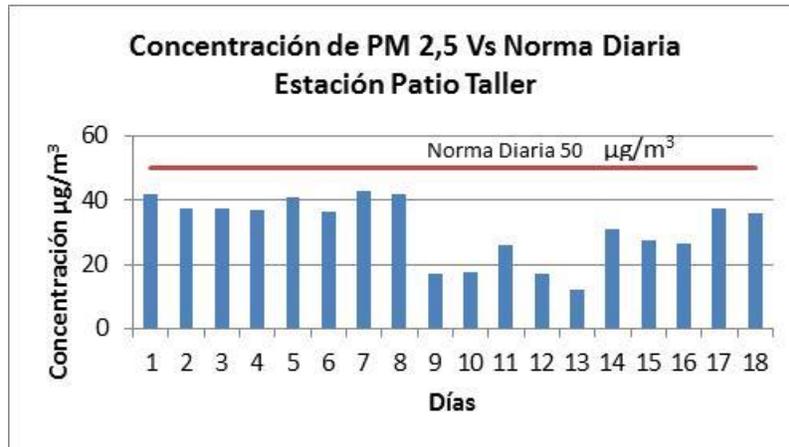


Figura 5.2.1-178 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Patio-Taller

El día 7 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Patio-Taller con un valor de 42,7 µg/m³, el cual representa el 85,4% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona. (Ver Figura 5.2.1-178).

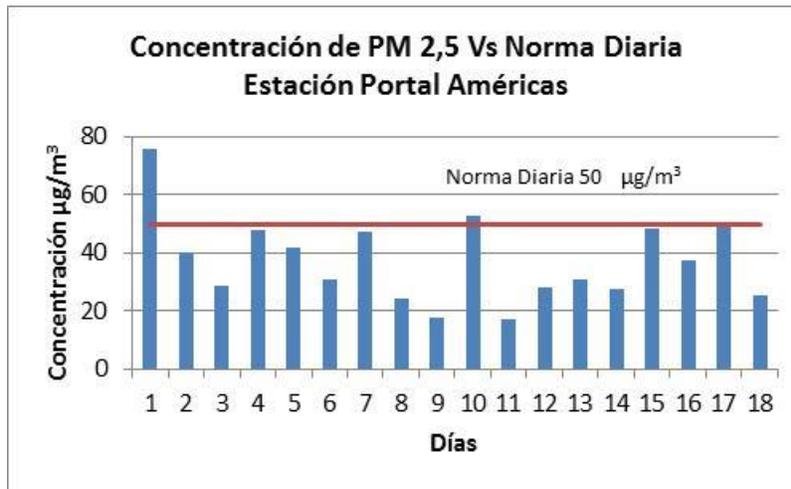


Figura 5.2.1-179 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Portal Américas.

El día 1 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Portal Américas con un valor de 75,78 µg/m³, el cual representa el 151% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, Se registran de igual forma otros valores por encima del valor normativo y muy cercanos a este, esto debido a la presencia de fuentes fijas comerciales e industriales y las actividades desarrolladas en el portal, lo que podría generar afectación a la comunidad del área. (Ver Figura 5.2.1-179).

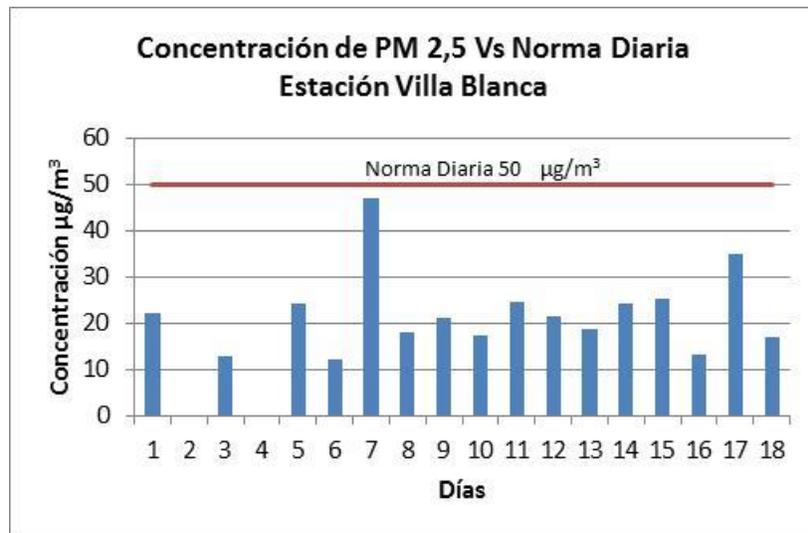


Figura 5.2.1-180 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Villa Blanca

El día 7 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Villa Blanca con un valor de 47,16 µg/m³, el cual representa el 94,3% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-180).

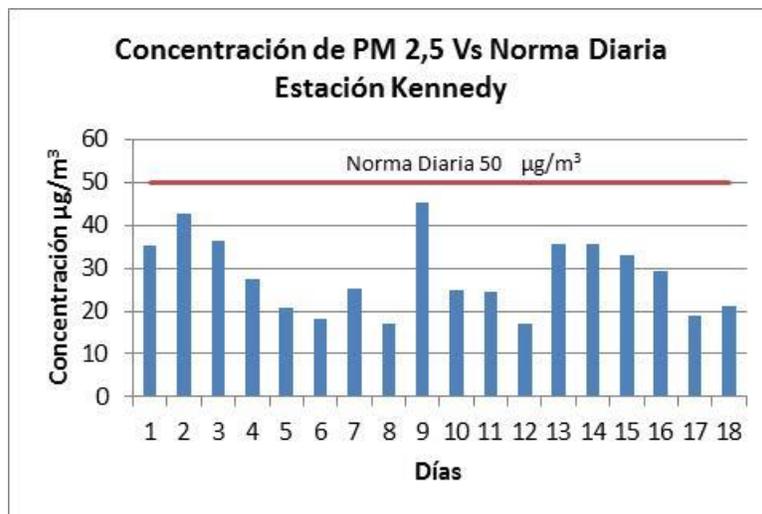


Figura 5.2.1-181 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Kennedy

El día 9 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Kennedy con un valor de 45,1 µg/m³, el cual representa el 90,2% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-181).

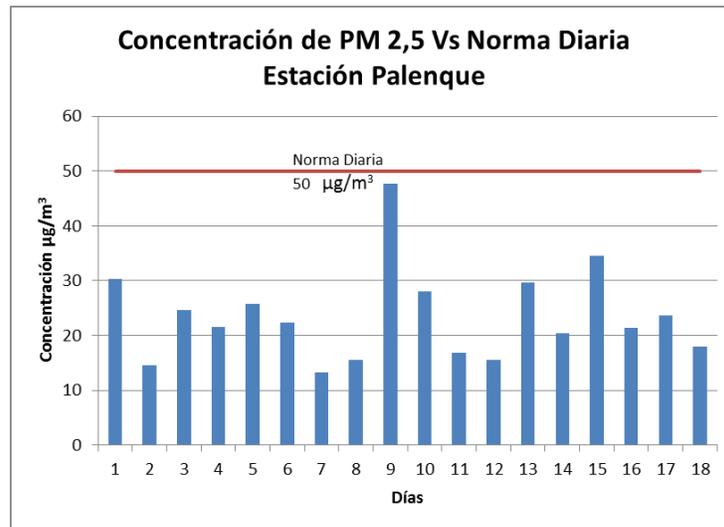


Figura 5.2.1-182 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Palenque

El día 9 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Palenque con un valor de 47,69 µg/m³, el cual representa el 95,38% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-182)

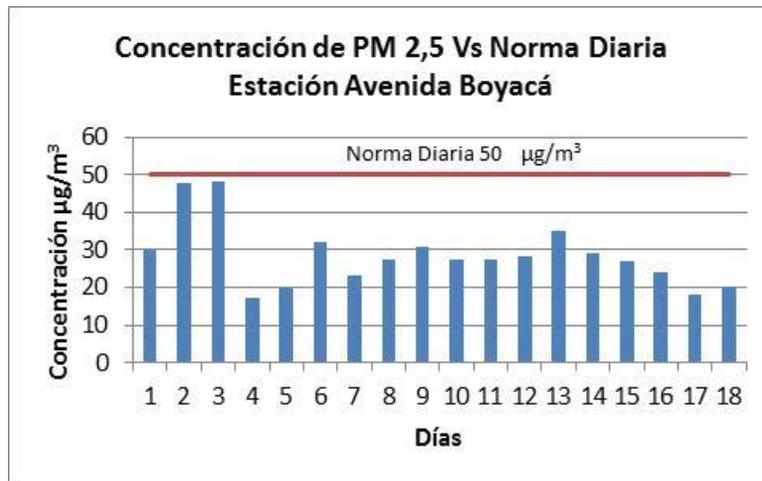


Figura 5.2.1-183 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Avenida Boyacá

El día 3 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Avenida Boyacá con un valor de 48,31 µg/m³, el cual representa el 96,6% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-183)

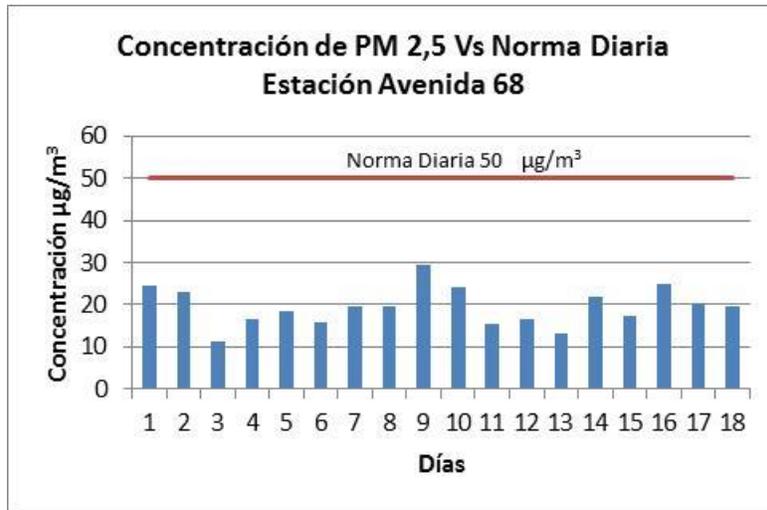


Figura 5.2.1-184 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Avenida 68

El día 9 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Avenida 68 con un valor de 29,45 µg/m³, el cual representa el 58,9% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-184).

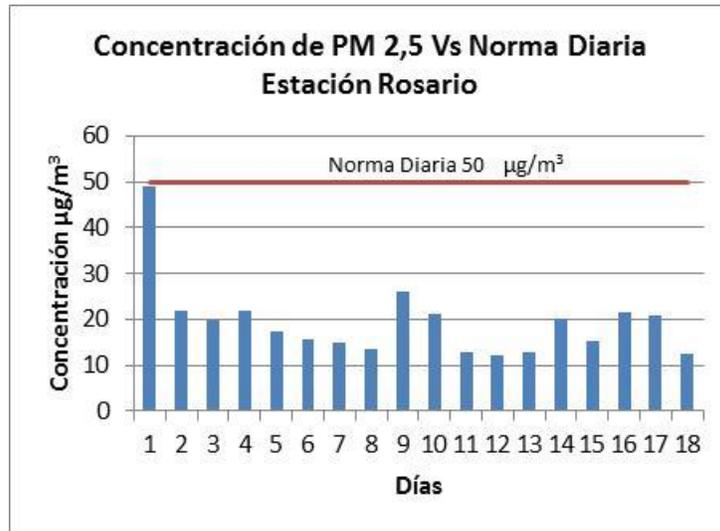


Figura 5.2.1-185 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Rosario

El día 1 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Rosario con un valor de 48,83 µg/m³, el cual representa el 97,66% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-185)

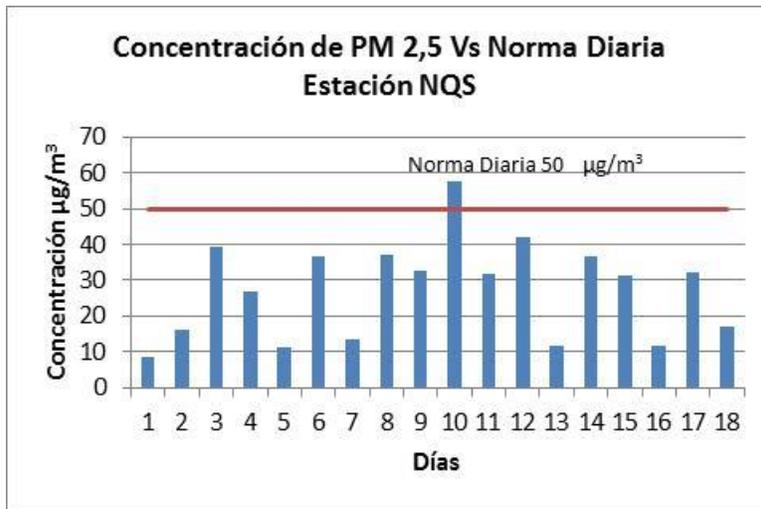


Figura 5.2.1-186 Concentraciones de PM_{2,5} Estación NQS

El día 10 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación NQS con un valor de 57,65 µg/m³, el cual representa el 115,3%, por encima del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, los demás datos se mantienen por debajo del límite normativo (Ver Figura 5.2.1-186)

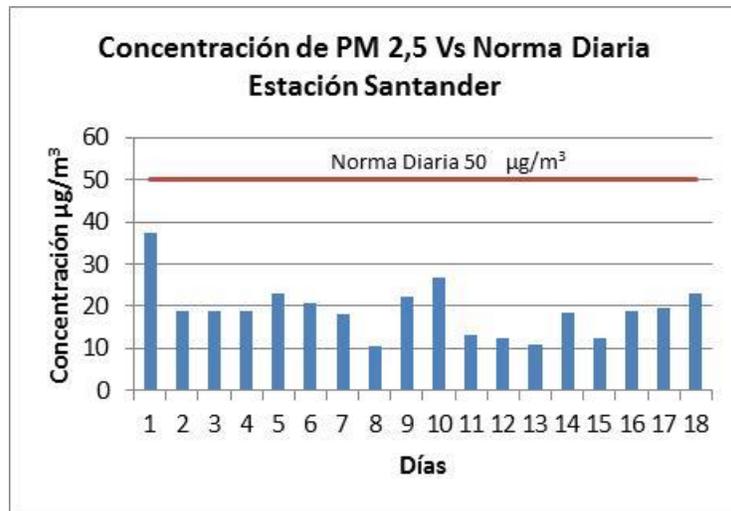


Figura 5.2.1-187 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Santander

El día 1 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Santander con un valor de 37,45 µg/m³, el cual representa el 74,9% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-187)

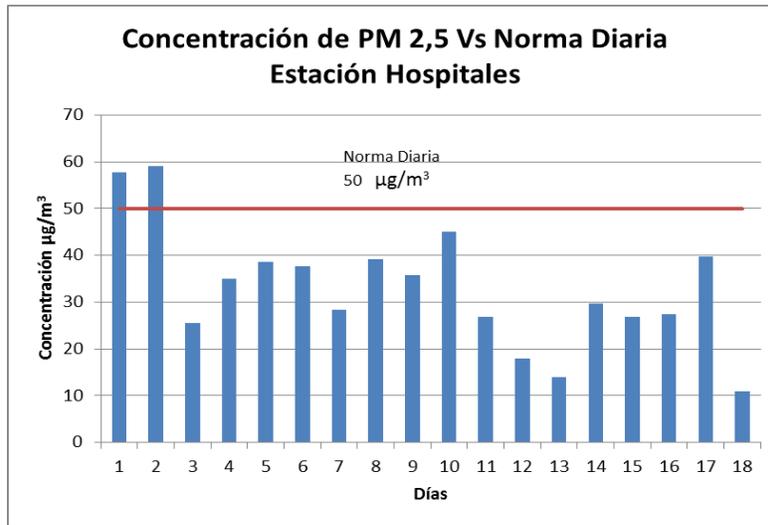


Figura 5.2.1-188 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Hospitales

El día 2 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Hospitales con un valor de 58,99 µg/m³, el cual representa el 117,98% por encima del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, el día 1 presenta también valores elevados con 57,8 µg/m³ y las demás concentraciones se mantienen por debajo del límite normativo (Ver Figura 5.2.1-188).

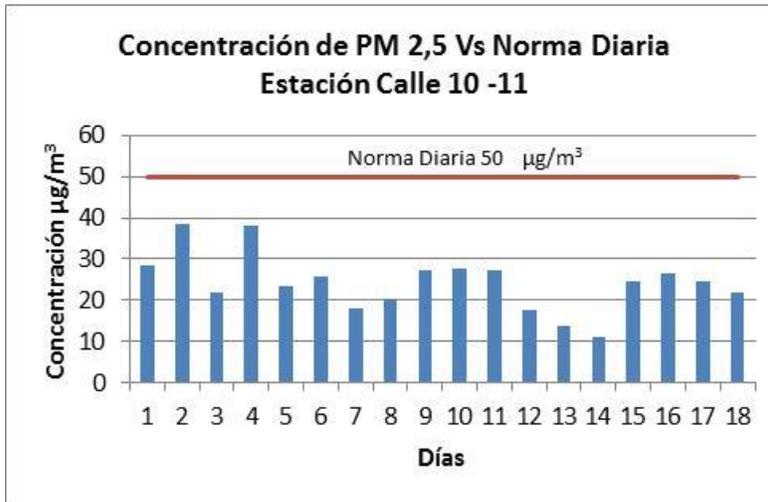


Figura 5.2.1-189 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 10 -11

El día 2 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 10-11 con un valor de 38,51µg/m³, el cual representa el 77,02% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

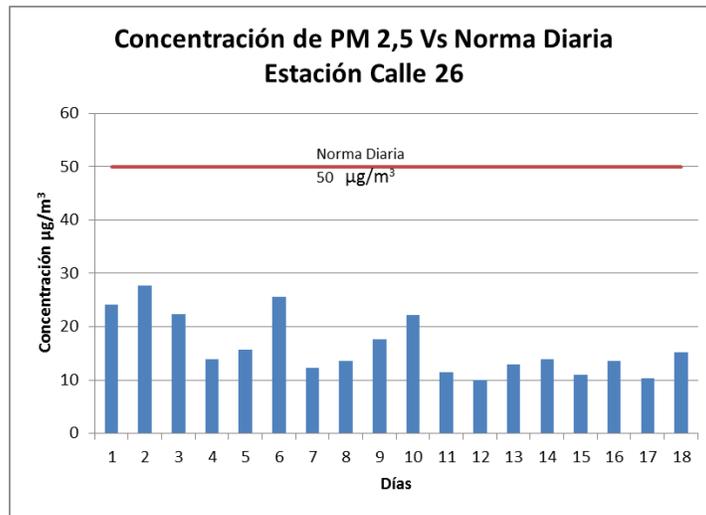


Figura 5.2.1-190 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 26

El día 2 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 26 con un valor de 27,68 µg/m³, el cual representa el 55,36% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-190)

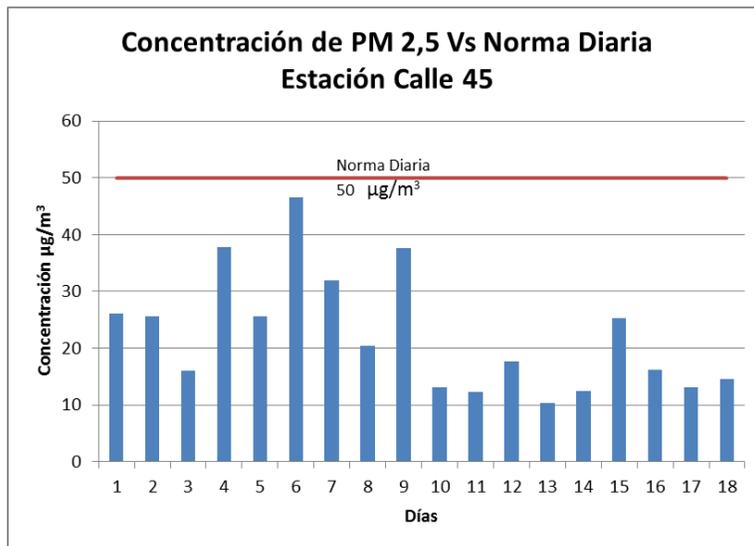


Figura 5.2.1-191 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 45

El día 6 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 45 con un valor de 46,56 µg/m³, el cual representa el 93,12% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-191)

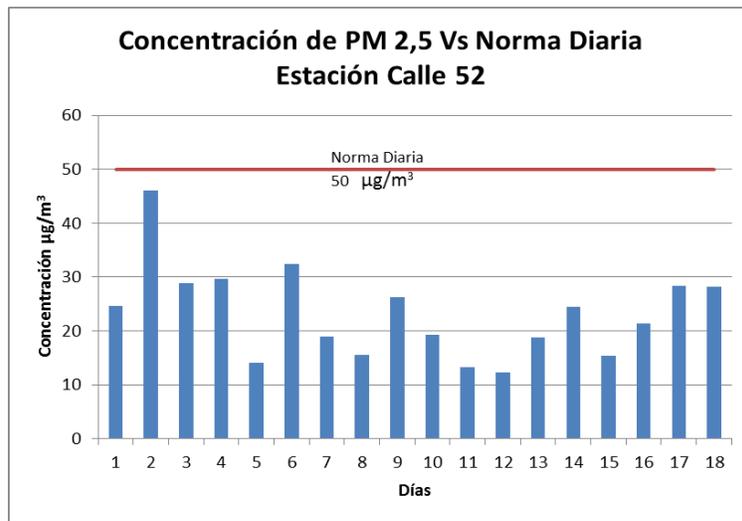


Figura 5.2.1-192 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 52

El día 2 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 52 con un valor de 46,1µg/m³, el cual representa el 92,2% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-192).

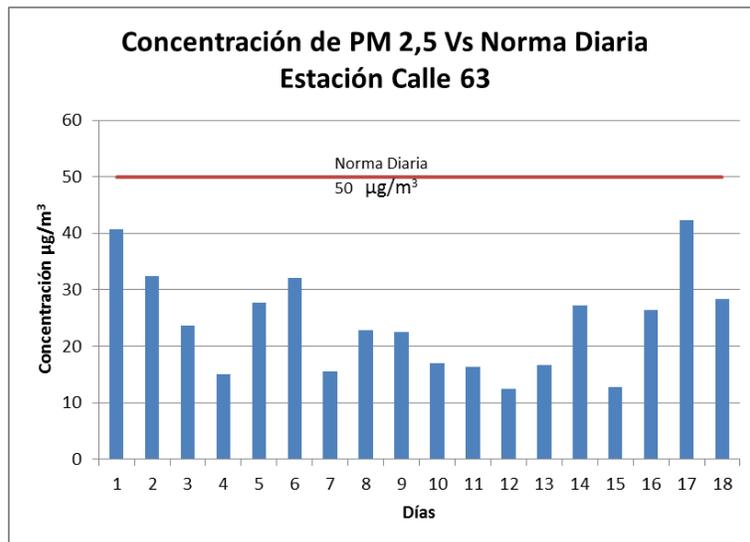


Figura 5.2.1-193 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 63

El día 17 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 63 con un valor de 42,33µg/m³, el cual representa el 84,66% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-193).

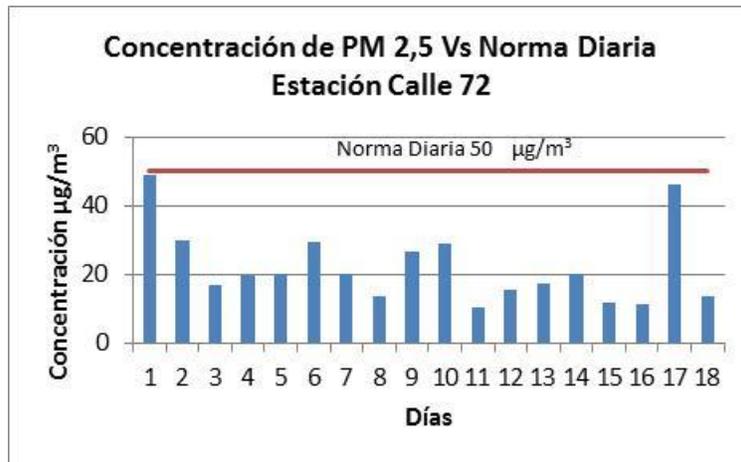


Figura 5.2.1-194 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 72

El día 1 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 72 con un valor de 49,06 µg/m³, el cual representa el 98,12% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-194)

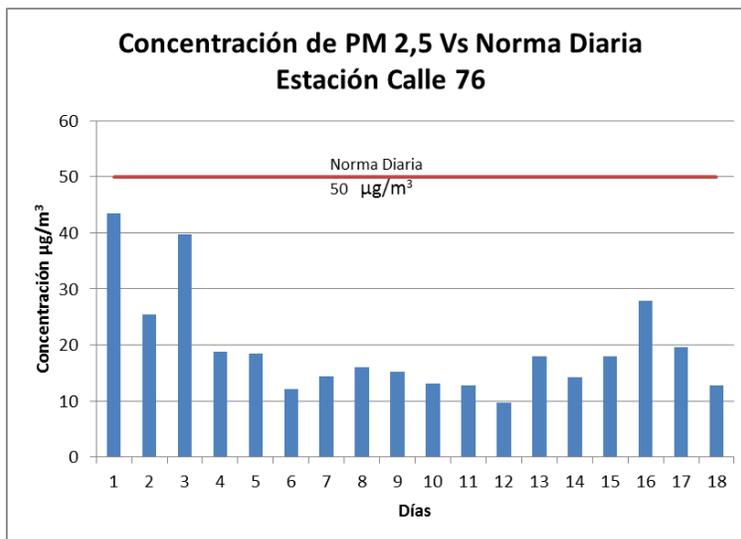


Figura 5.2.1-195 Concentraciones de PM_{2,5} Estación Calle 76

El día 1 de monitoreo, se presentó el pico más alto del muestreo en la Estación Calle 76 con un valor de 43,46 µg/m³, el cual representa el 86,92% del valor de 50 µg/m³ que establece la Resolución 610/2010 como límite diario, en las concentraciones presentadas no simbolizan riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona (Ver Figura 5.2.1-195)

Comparación con la Norma Anual

La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM_{2.5} establece una concentración de 25 µg/m³. En la Tabla 5.2.1-162 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 5.2.1-162 Consolidado de resultados de PM_{2.5}

Estación	Promedio PM _{2.5} ⁸ (µg/m ³)	Norma Anual (µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma	
1	Patio-Taller	31,00	25	123,99%
2	Portal Américas	38,06	25	152,23%
3	Villa Blanca	22,5	25	89,99%
4	Kennedy	28,63	25	114,54%
5	Palenque	23,88	25	95,52%
6	Avenida Boyacá	29,02	25	116,08%
7	Avenida 68	19,54	25	78,16%
8	Rosario	19,78	25	79,13%
9	NQS	28,11	25	112,44%
10	Santander	18,95	25	75,81%
11	Hospitales	34,38	25	137,52%
12	Calle 10-11	24,41	25	97,65%
13	Calle 26	16,38	25	65,53%
14	Calle 45	22,82	25	91,28%
15	Calle 52	22,93	25	91,73%
16	Calle 63	23,75	25	95,02%
17	Calle 72	22,74	25	90,98%
18	Calle 76	19,82	25	79,30%

En la Figura 5.2.1-196 Concentraciones promedio PM_{2.5} vs Norma anual se presenta los valores promedio del consolidado de datos obtenidos. Al comparar con la concentración definida para la norma anual (25 µg/m³), se evidencia que en seis (6) de las dieciocho (18) estaciones de monitoreo superan el límite permisible anual. Estas estaciones son: Patio-Taller (31,00 µg/m³), Portal Américas (38,06 µg/m³), Kennedy (28,63 µg/m³), Avenida Boyacá (29,02 µg/m³), NQS (28,11 µg/m³) y Hospitales (34,38 µg/m³). Sin embargo, estas concentraciones se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.

⁸ Promedio aritmético

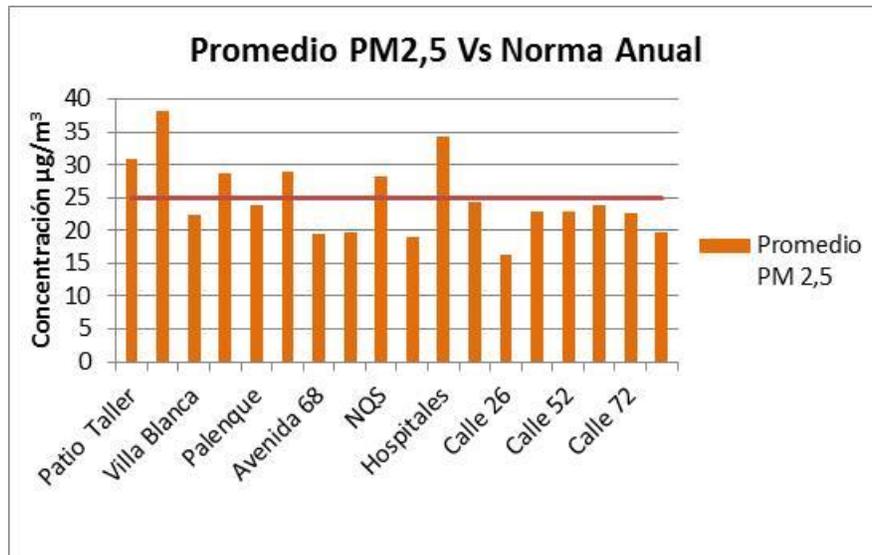


Figura 5.2.1-196 Concentraciones promedio PM_{2,5} vs Norma anual

5.2.1.20.5.3 NO_x

Concentraciones diarias de NO_x vs. Norma diaria

Las muestras de NO₂ fueron recolectadas mediante equipos RAC 3 gases en las dieciocho (18) estaciones de calidad el aire. Los datos reportados cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo mínimo de 23 horas de monitoreo .

Los valores de concentración reportados con asterisco (*) se calcularon con el valor mínimo detectable del método (LCM NO₂ = 0,05 µg/ml de Solución), lo cual indica que estas concentraciones se encuentran en niveles muy bajos o en su defecto no se presenta concentración alguna de este parámetro. Los demás valores reportados superan el mínimo detectable, más no la norma diaria para NO₂ que es de 150 µg/m³ dado por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS. En consecuencia todas las concentraciones reportadas no exceden la norma diaria y cumplen con lo establecido en dicha Resolución.

En la Tabla 5.2.1-163 se presenta el consolidado de los resultados para NO_x diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-163 Concentraciones diarias de NO₂ vs. Norma diaria (µg/m³)

	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76	Res. 610/10
Día 1	15,70*	15,50*	16,10*	25,6	30,6	15,60*	44,2	16,30*	42,6	12,60*	29,9	15,00*	14,60*	13,50*	13,60*	13,70*	25,1	16	100
Día 2	36	13,90*	15,80*	19,8	15,10*	149,2	18	26,9	12,20*	14,60*	61,7	15,00*	22,1	13,20*	15,50*	12,60*	16,20*	16,7	100
Día 3	10,90*	23	14,70*	13,90*	26,7	14,10*	36,1	15,80*	15,70*	14,00*	36,6	13,80*	13,80*	12,40*	34,5	14,70*	16,20*	14,10*	100
Día 4	15,7	15,70*	15,8	15,20*	11,5	44,6	14,30*	15,10*	31,5	14,10*	25,7	15,00*	39,6	12,80*	17,8	14,50*	15,90*	14,40*	100
Día 5	14,60*	14,70*	27,4	14,80*	13,60*	46,7	26,4	18,6	16,9	13,70*	33,9	15,00*	14,00*	12,60*	23,4	16,4	16,20*	15,70*	100
Día 6	14,80*	15,60*	16,1	14,60*	14,20*	13,10*	19,1	15,50*	21,7	13,10*	32,5	15,00*	13,60*	28,2	15,7	15,30*	15,60*	14,10*	100
Día 7	14,90*	15,50*	25,3	17,1	23,9	15,6	13,40*	16,10*	15,50*	13,80*	31	15,10*	14,30*	19,8	15,80*	18,5	16,00*	13,50*	100
Día 8	15,60*	15,70*	33,9	18	20,9	22,1	14,90*	14,00*	32,8	13,80*	49,9	15,10*	14,00*	12,9	15,80*	14,90*	16,70*	13,80*	100
Día 9	11,00*	16,30*	18,3	22,8	18,6	14,10*	22,4	15,70*	15,50*	13,20*	57,8	13,80*	13,30*	19	15,80*	15,20*	16,20*	15,40*	100
Día 10	16,30*	15,00*	22,7	13,70*	15,70*	15,60*	21,6	15,70*	45,4	14,20*	61	15,10*	13,00*	23,2	15,60*	15,40*	15,60*	14,40*	100
Día 11	14,20*	15,70*	19,6	15,30*	15,90*	12,80*	24,6	16,20*	31,6	14,70*	43,5	15,10*	13,70*	15,80*	28,1	14,80*	16,10*	14,10*	100
Día 12	14,00*	15,60*	15,20*	15,00*	14,50*	21	13,20*	15,80*	25,8	13,70*	55,6	15,10*	13,00*	15,80*	17,3	15,40*	15,90*	13,50*	100
Día 13	13,80*	15,70*	18,2	15,60*	15,50*	13,80*	15,30*	14,80*	26,6	14,00*	32,5	15,10*	13,00*	26,7	15,70*	15,30*	14,30*	16,00*	100
Día 14	13,80*	15,00*	29,2	15,30*	15,80*	12,60*	15,10*	11,90*	17,6	13,30*	34,8	14,20*	13,00*	15,80*	20,9	15,10*	16,30*	14,20*	100
Día 15	14,00*	15,70*	19,6	23,7	13,90*	24,3	19,2	14,70*	16,3	13,60*	41,9	15,10*	14,10*	25,8	15,60*	13,50*	16,30*	13,50*	100
Día 16	13,50*	15,70*	16,6	30,7	13,50*	14,80*	32,3	15,80*	30,2	14,90*	48,3	15,20*	13,40*	30,1	20,6	15,40*	15,70*	13,50*	100
Día 17	14,20*	15,70*	14,20*	23,5	13,20*	14,50*	14,30*	15,70*	13,30*	14,30*	57,3	15,20*	13,10*	15,50*	15,90*	15,40*	16,30*	14,50*	100
Día 18	15,40*	15,60*	14,80*	21,1	15,70*	31,6	15,20*	15,70*	15,80*	14,30*	60,5	15,10*	13,70*	15,80*	24,7	14,80*	15,60*	14,50*	100
Geomét	14,93	15,78	18,96	18,11	16,56	20,78	19,71	15,92	21,89	13,87	42,45	14,88	14,82	17,46	18,41	15	16,35	14,52	
Aritmét	15,47	15,87	19,64	18,65	17,16	27,56	21,09	16,13	23,72	13,88	44,13	14,89	15,52	18,27	19,02	15,05	16,46	14,55	

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

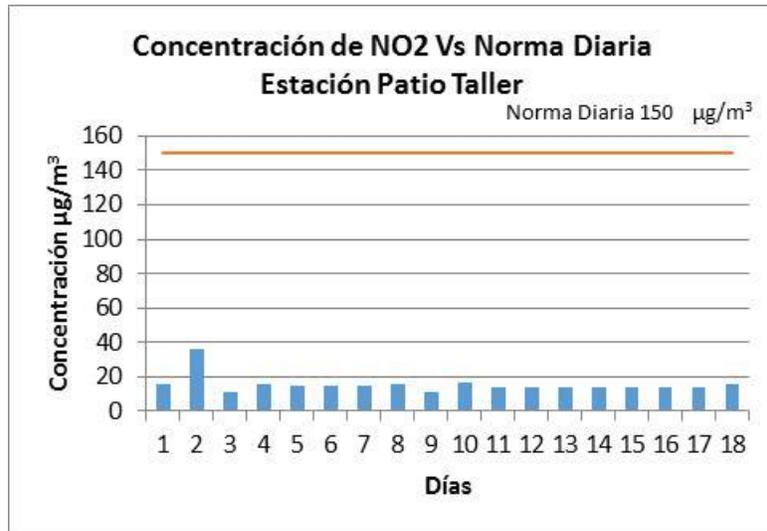


Figura 5.2.1-197 Concentraciones de NO₂ Estación Patio-Taller

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-197 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Patio-Taller, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

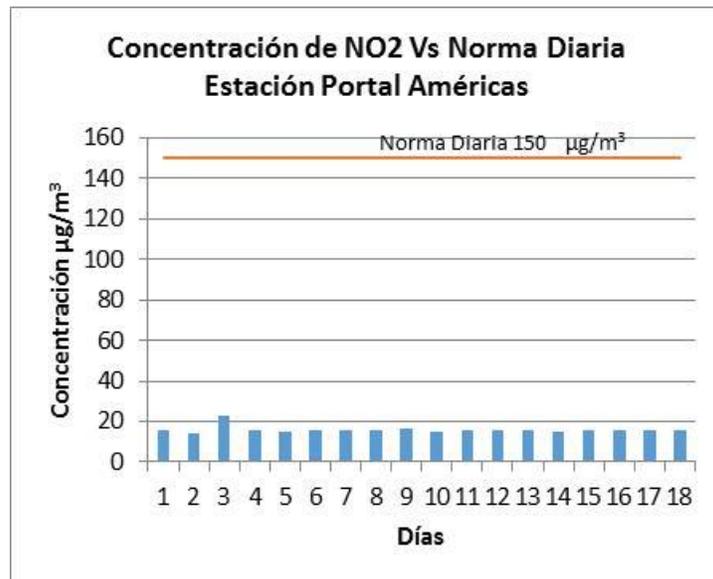


Figura 5.2.1-198 Concentraciones de NO₂ Estación Portal Américas

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-198 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Portal Américas, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

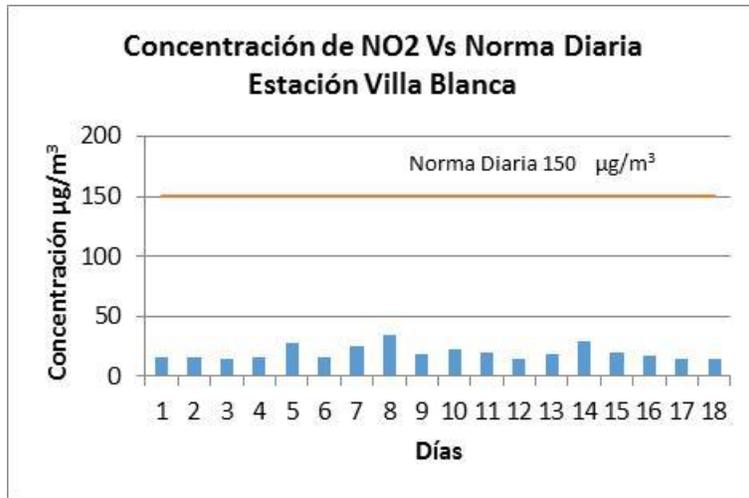


Figura 5.2.1-199 Concentraciones de NO₂ Villa Blanca

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-199 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Villa Blanca, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

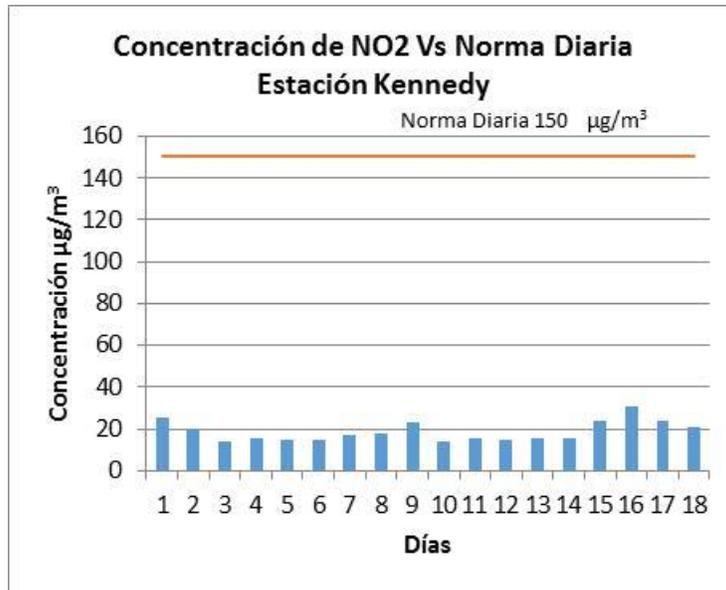


Figura 5.2.1-200 Concentraciones de NO₂ Estación Kennedy

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-200 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Kennedy, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

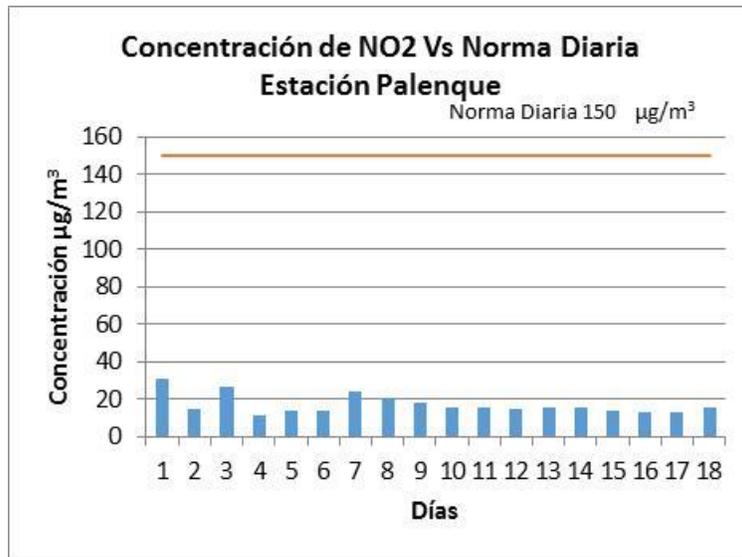


Figura 5.2.1-201 Concentraciones de NO₂ Estación Palenque

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-201 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Palenque, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

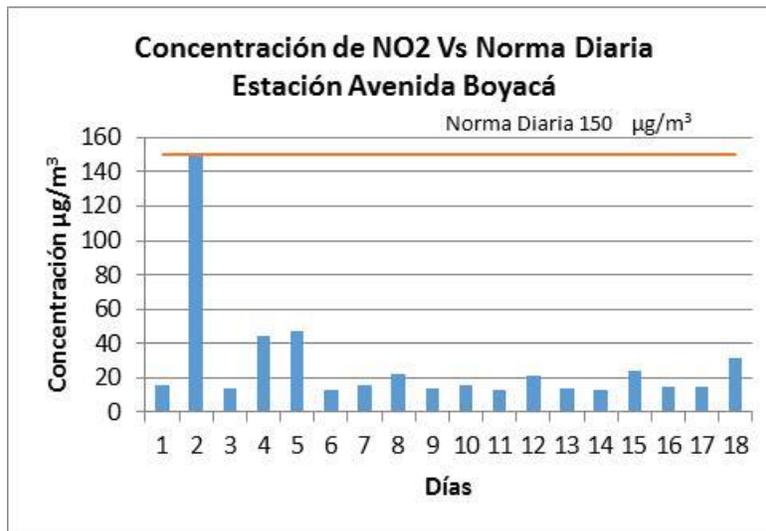


Figura 5.2.1-202 Concentraciones de NO₂ Estación Avenida Boyacá

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-202 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Avenida Boyacá, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

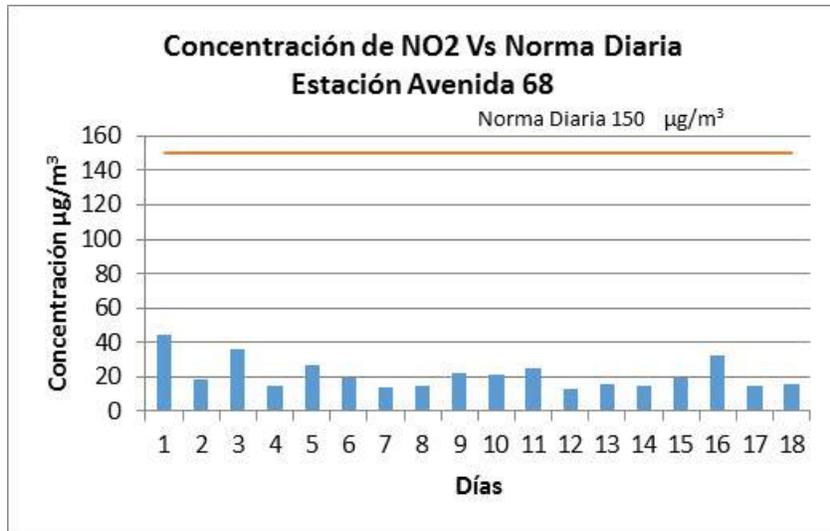


Figura 5.2.1-203 Concentraciones de NO₂ Estación Avenida 68

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-203 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Avenida 68, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

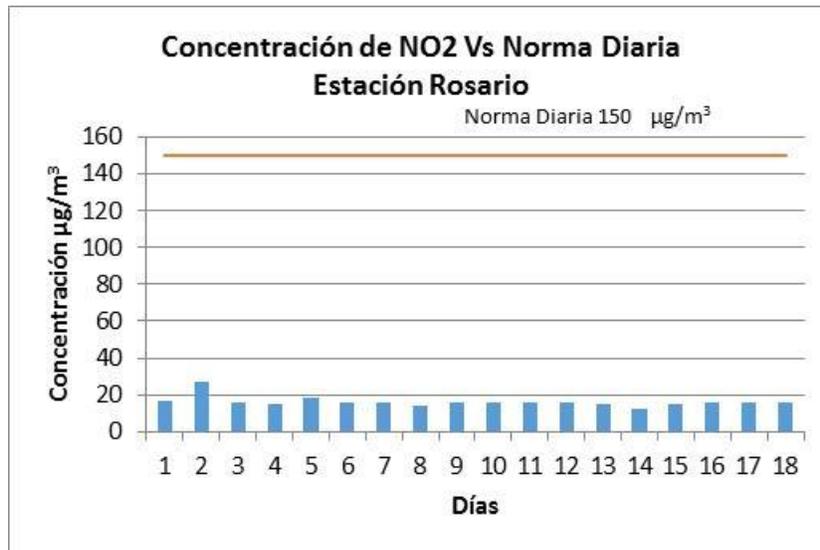


Figura 5.2.1-204 Concentraciones de NO₂ Estación Rosario

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-204 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Rosario, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

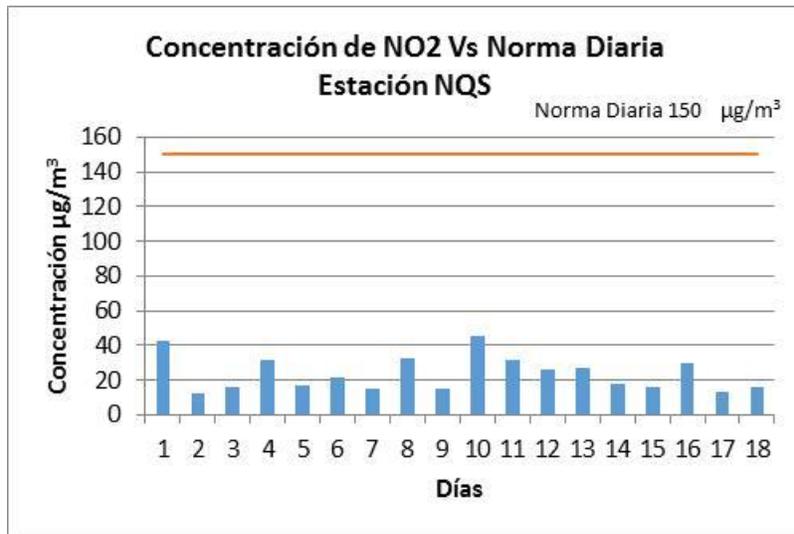


Figura 5.2.1-205 Concentraciones de NO₂ Estación NQS

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-205 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación NQS, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

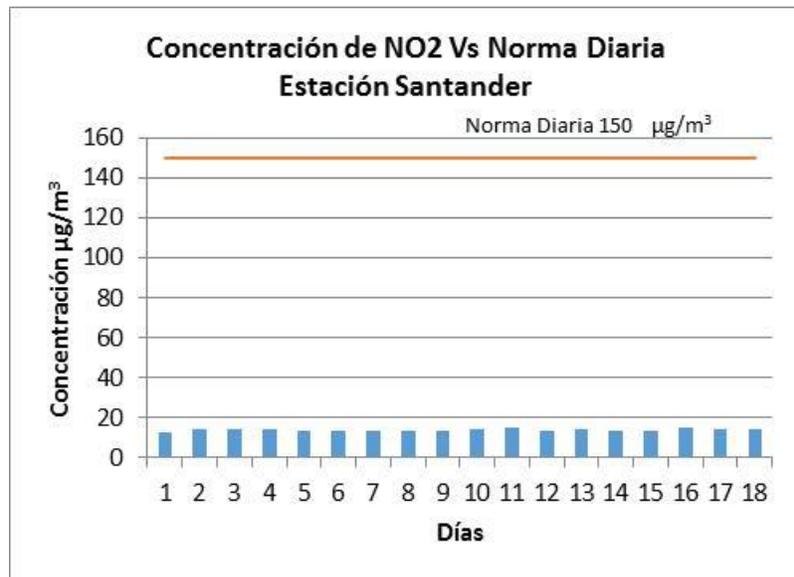


Figura 5.2.1-206 Concentraciones de NO₂ Estación Santander

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-206 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Santander, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

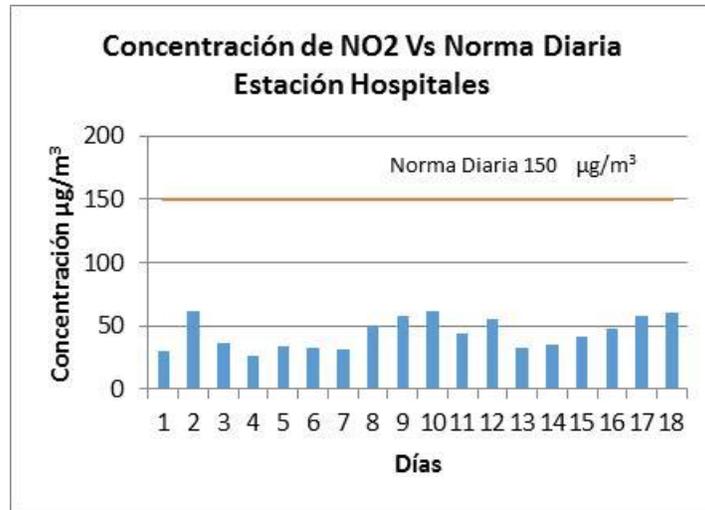


Figura 5.2.1-207 Concentraciones de NO₂ Estación Hospitales

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-207 las concentraciones estimadas de NO₂ e la Estación Hospitales, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

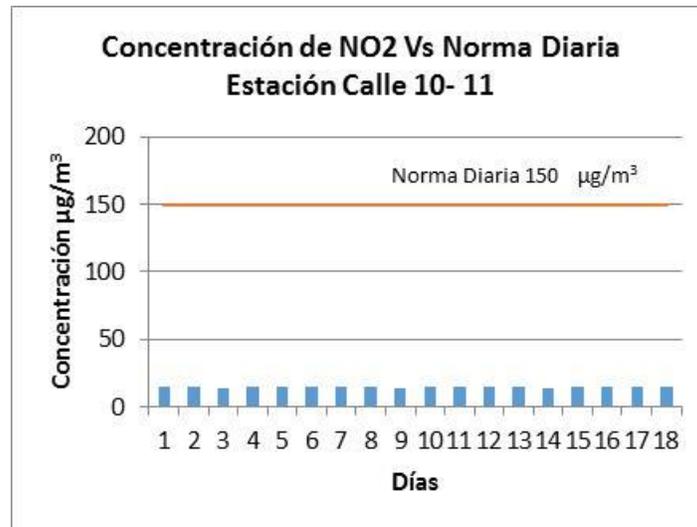


Figura 5.2.1-208 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 10 -11

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-208 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 10 -11, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

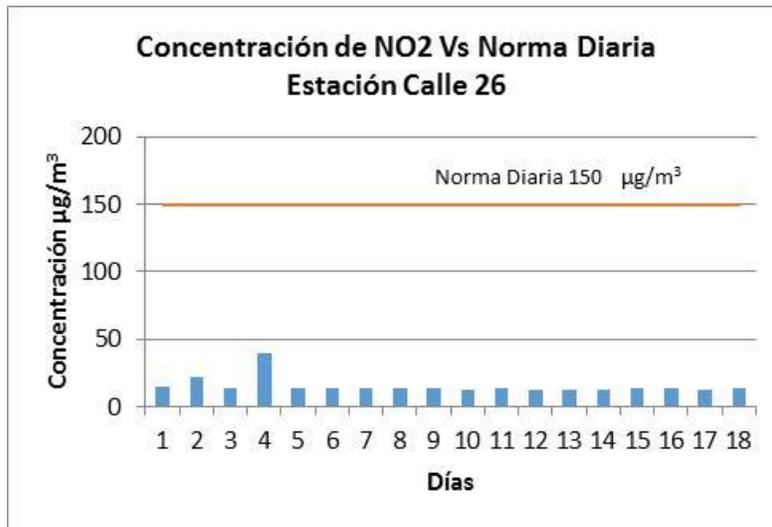


Figura 5.2.1-209 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 26

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-209 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 26, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

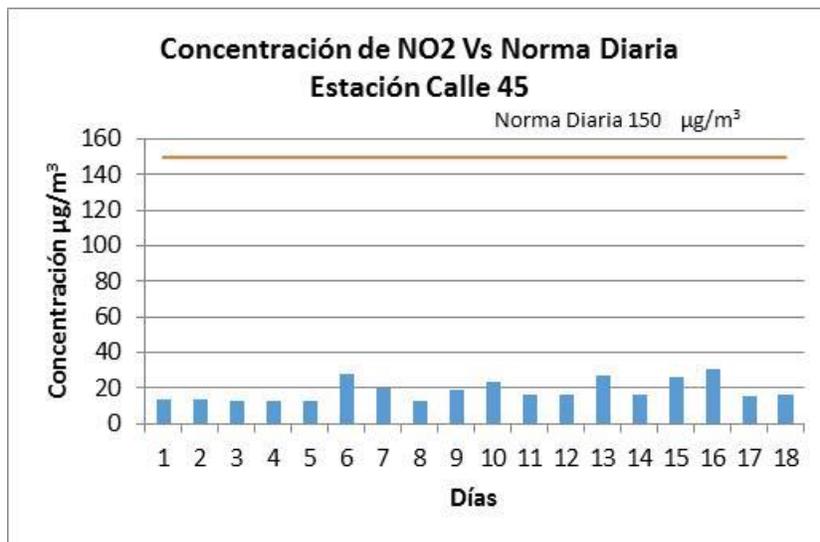


Figura 5.2.1-210 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 45

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-210 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 45, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

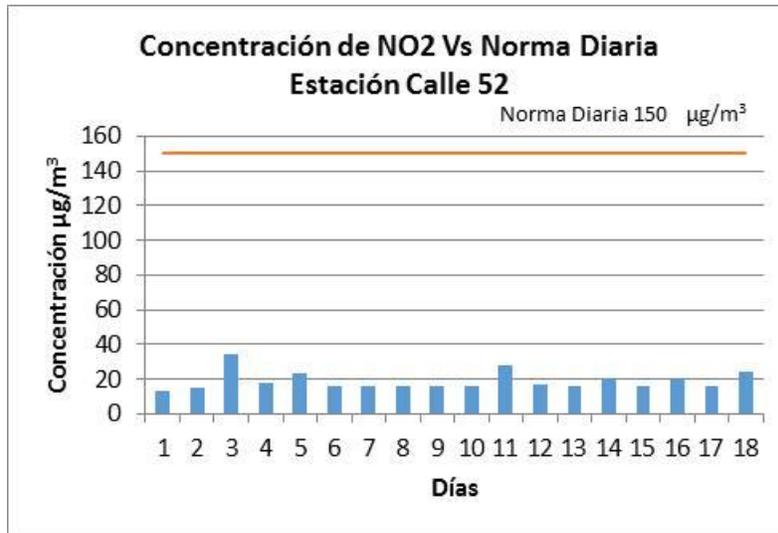


Figura 5.2.1-211 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 52

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-211 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 52, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

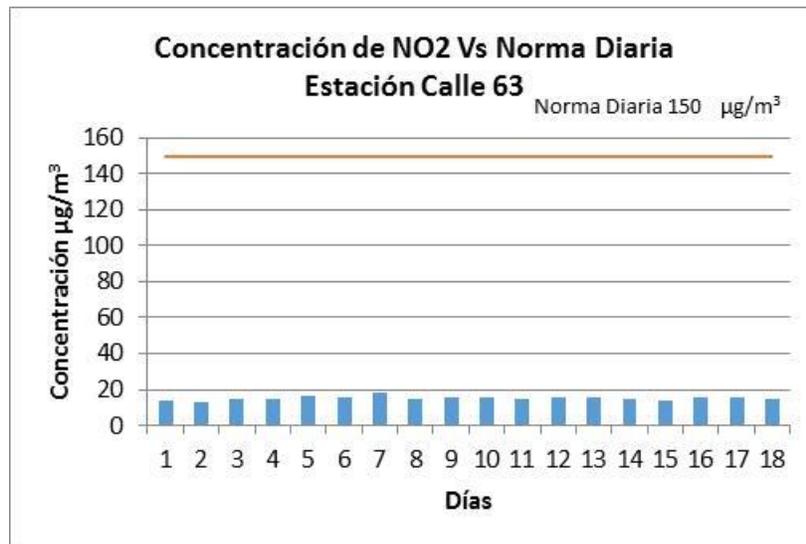


Figura 5.2.1-212 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 63

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-212 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 63, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

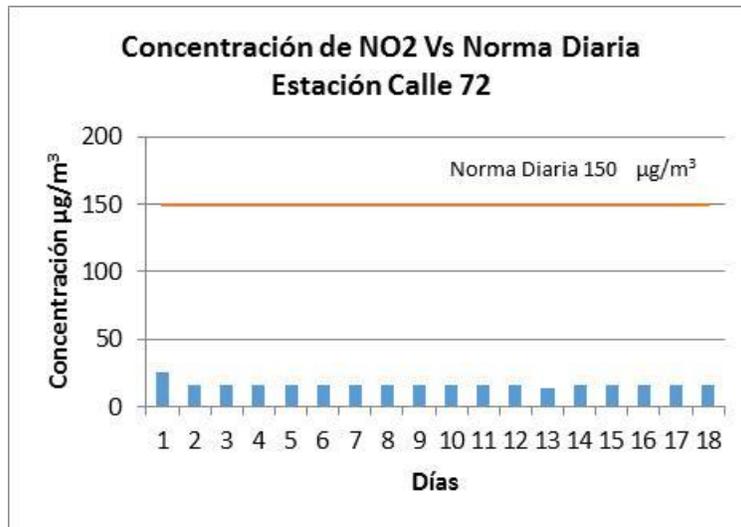


Figura 5.2.1-213 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 72

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-213 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 72, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

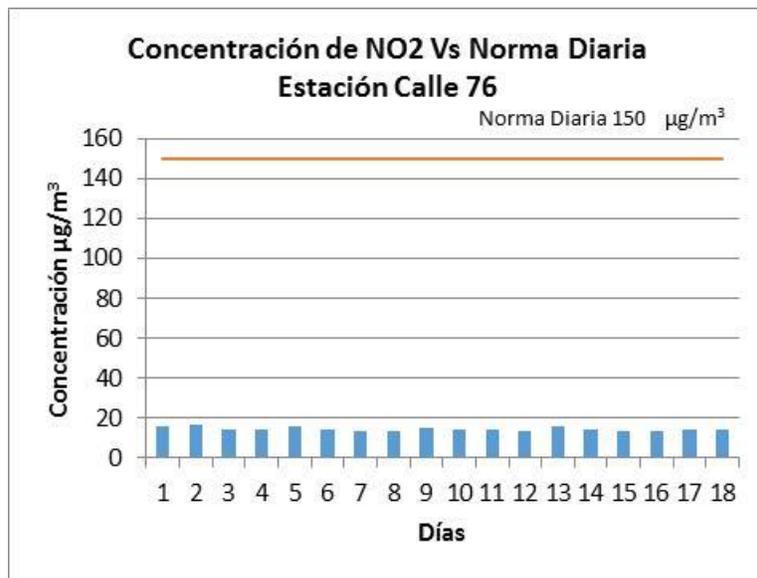


Figura 5.2.1-214 Concentraciones de NO₂ Estación Calle 76

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-214 las concentraciones estimadas de NO₂ de la Estación Calle 76, no exceden el valor máximo establecido en 150 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

5.2.1.20.5.4 SO_x

Concentraciones diarias de SO_x vs. Norma diaria

Al igual que para NO₂, las muestras de SO₂ fueron recolectadas mediante equipos RAC 3 gases y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo mínimo de 23 horas de monitoreo.

Los valores de concentración reportados con asterisco (*) se calcularon con el valor mínimo detectable del método (LCM SO₂ = 0,77 µg/10 ml de Solución), lo cual indica que estas concentraciones se encuentran en niveles muy bajos o en su defecto no se presenta concentración alguna de este parámetro. Los demás valores reportados superan el mínimo detectable, más no la norma diaria para NO₂ que es de 250 µg/m³ dado por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS. En consecuencia todas las concentraciones reportadas no exceden la norma diaria y cumplen con lo establecido en dicha Resolución.

En la Tabla 5.2.1-164 se presenta el consolidado de los resultados para SO₂ diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-164 Concentraciones diarias de SO₂vs. Norma diaria (µg/m³)

	Patio-Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76	Res. 610/10
Día 1	18,3	16,30*	18,00*	15,70*	14,30*	17,60*	15,80*	16,30*	23	17,70*	17,20*	24,2	52,1	17,50*	17,50*	15,50*	14,00*	16,10*	250
Día 2	17,90*	15,60*	17,70*	15,80*	18,60*	17,70*	14,50*	13,70*	17,10*	15,60*	16,90*	17,80*	16,9	14,80*	15,90*	17,30*	17,20*	17,60*	250
Día 3	42,2	17,40*	17,40*	18,40*	18,60*	17,70*	17,30*	16,80*	17,50*	18,70*	16,80*	17,90*	14,50*	18,00*	17,70*	16,30*	16,50*	15,20*	250
Día 4	18,5	17,60*	16,50*	18,00*	22,9	17,60*	13,30*	12,80*	17,50*	18,80*	16,90*	17,50*	42,9	24,8	17,60*	16,30*	17,20*	15,50*	250
Día 5	17,2	17,50*	16,60*	18,30*	18,20*	17,60*	14,40*	13,70*	17,10*	18,60*	17,30*	18,7	19	18,30*	17,70*	14,90*	15,50*	14,80*	250
Día 6	47,9	17,50*	17,30*	17,30*	22,7	17,90*	15,60*	17,60*	17,50*	18,00*	16,90*	17,90*	18,4	17,70*	18,00*	17,10*	17,20*	14,80*	250
Día 7	16,3	17,30*	17,10*	17,50*	17,70*	37,5	12,50*	18,30*	17,60*	16,70*	16,60*	18,7	17,2	17,70*	17,70*	16,40*	17,30*	14,10*	250
Día 8	17	17,20*	16,60*	16,70*	18,00*	17,50*	14,90*	17,00*	18,2	17,80*	17,40*	18,7	15,20*	17,70*	17,30*	16,90*	14,20*	14,90*	250
Día 9	18,7	18,30*	16,90*	16,80*	16,80*	17,70*	16,80*	17,80*	17,60*	17,80*	17,60*	30,3	21,1	17,60*	17,60*	17,20*	17,20*	17,60*	250
Día 10	17,6	16,90*	17,60*	14,60*	16,60*	17,70*	14,40*	17,70*	17,50*	18,20*	17,60*	17,70*	17	17,60*	17,50*	16,80*	17,20*	15,50*	250
Día 11	16,40*	17,20*	17,60*	17,90*	18,40*	15,30*	16,50*	18,40*	17,50*	18,40*	17,70*	17,80*	13,90*	17,70*	17,30*	16,00*	17,00*	16,20*	250
Día 12	16,60*	17,40*	17,70*	17,70*	16,80*	15,30*	13,30*	17,90*	17,10*	18,00*	17,90*	16,20*	14,20*	17,60*	17,30*	15,60*	17,20*	14,50*	250
Día 13	16,20*	17,50*	17,10*	17,40*	18,00*	15,30*	12,50*	17,60*	17,50*	17,60*	17,60*	17,60*	13,80*	18,00*	17,60*	16,70*	17,30*	17,60*	250
Día 14	16,40*	17,40*	17,40*	17,20*	18,20*	15,70*	17,50*	17,50*	17,60*	17,20*	17,70*	17,80*	14,30*	17,70*	18,00*	15,70*	17,20*	16,30*	250
Día 15	16,50*	17,20*	17,10*	18,20*	17,40*	16,30*	16,70*	16,70*	17,10*	17,50*	17,70*	16,30*	15,00*	17,70*	18,10*	15,70*	17,30*	14,80*	250
Día 16	15,80*	17,60*	17,00*	18,20*	17,30*	17,10*	15,60*	18,10*	17,60*	17,50*	17,90*	17,80*	13,90*	17,70*	17,70*	16,80*	17,30*	14,50*	250
Día 17	16,10*	17,50*	17,20*	17,50*	15,80*	16,00*	16,00*	17,90*	14,00*	18,60*	17,60*	16,40*	14,20*	17,70*	17,70*	16,80*	17,20*	14,20*	250
Día 18	17,50*	17,40*	16,80*	17,50*	18,30*	15,30*	15,70*	16,80*	17,50*	18,60*	17,70*	17,00*	14,90*	17,60*	17,60*	18,20*	17,10*	15,50*	250
Geomét	18,98	17,26	17,2	17,23	17,93	17,52	15,11	16,72	17,52	17,83	17,38	18,46	17,76	17,89	17,54	16,44	16,69	15,5	
Aritmét	20,17	17,27	17,2	17,26	18,03	17,93	15,18	16,81	17,58	17,85	17,39	18,68	19,36	17,97	17,54	16,46	16,73	15,54	

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.



Figura 5.2.1-215 Concentraciones de SO₂ Estación Patio-Taller

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-215 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Patio-Taller, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.



Figura 5.2.1-216 Concentraciones de SO₂ Estación Portal Américas

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-216 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Portal Américas, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

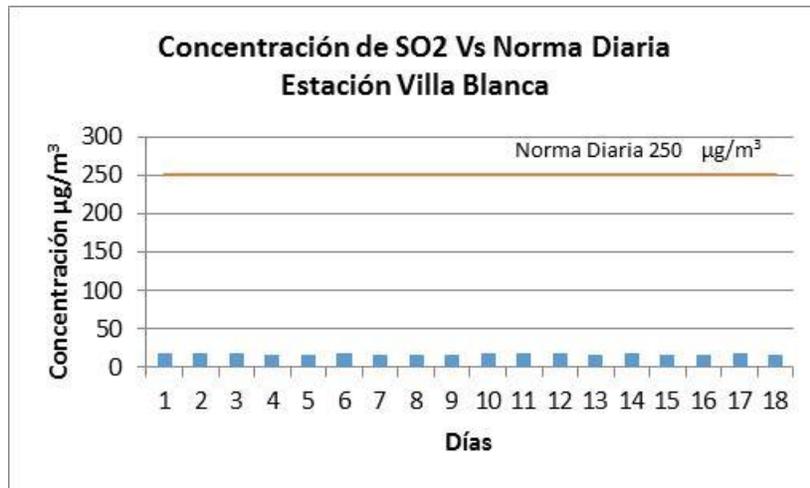


Figura 5.2.1-217 Concentraciones de SO₂ Estación Villa Blanca

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-217 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Villa Blanca, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

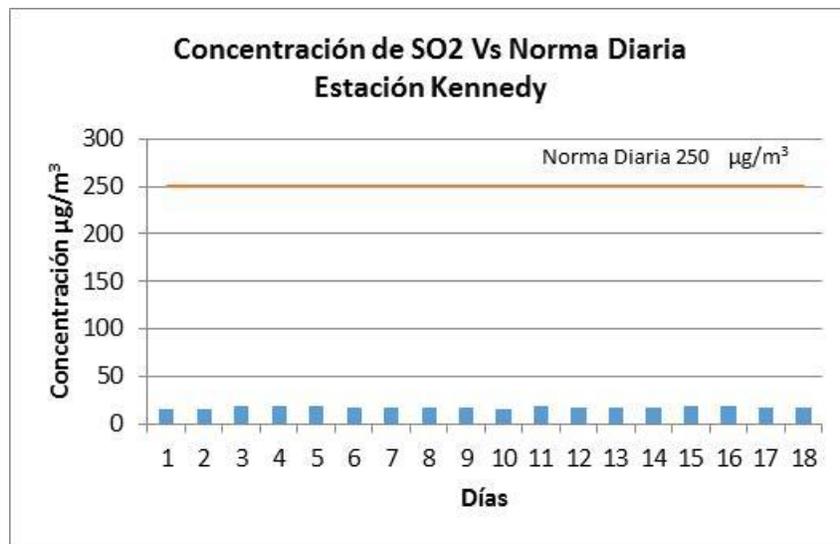


Figura 5.2.1-218 Concentraciones de SO₂ Estación Kennedy

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-218 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Kennedy, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

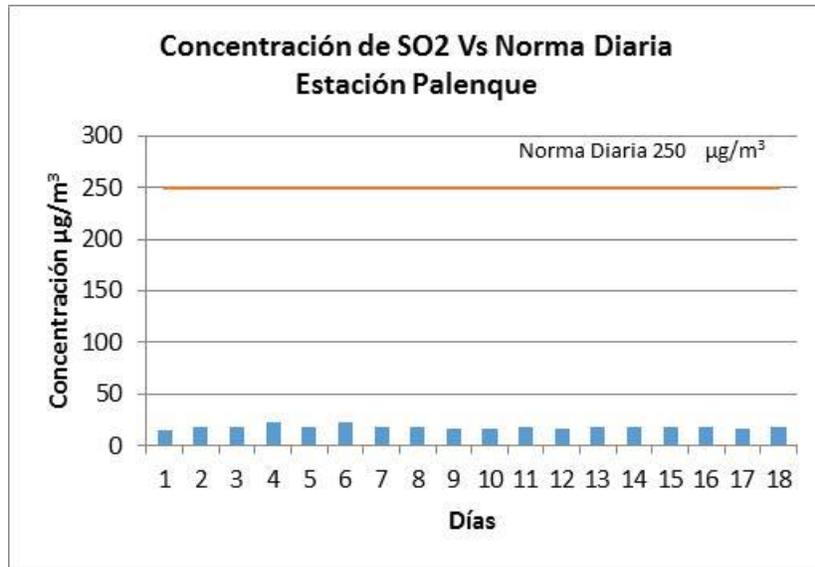


Figura 5.2.1-219 Concentraciones de SO₂ Estación Palenque

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-219 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Palenque, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

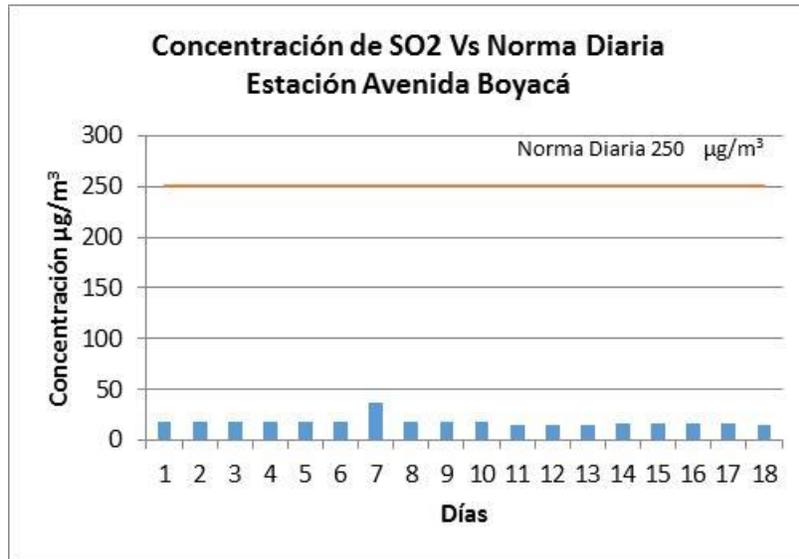


Figura 5.2.1-220 Concentraciones de SO₂ Estación Avenida Boyacá

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-220 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Avenida Boyacá, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.



Figura 5.2.1-221 Concentraciones de SO₂ Estación Avenida 68

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-221 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Avenida 68, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

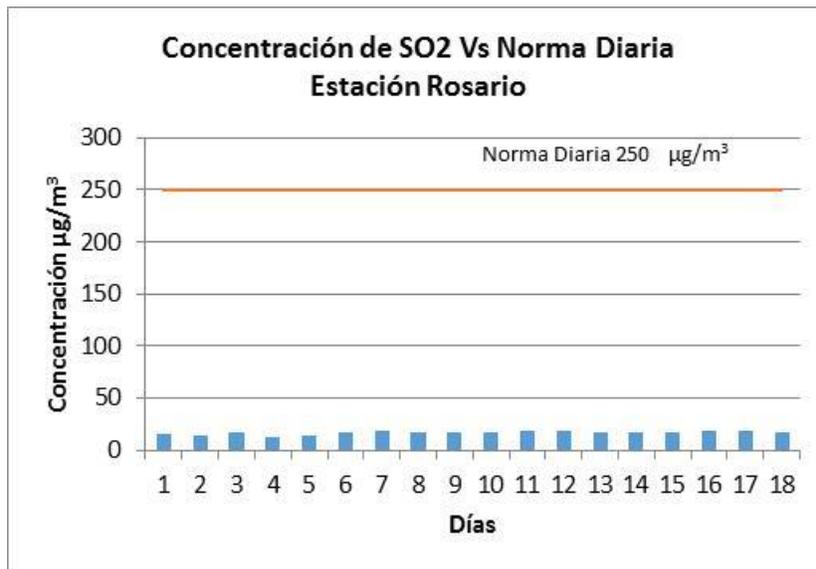


Figura 5.2.1-222 Concentraciones de SO₂ Estación Rosario

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-222 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Rosario, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

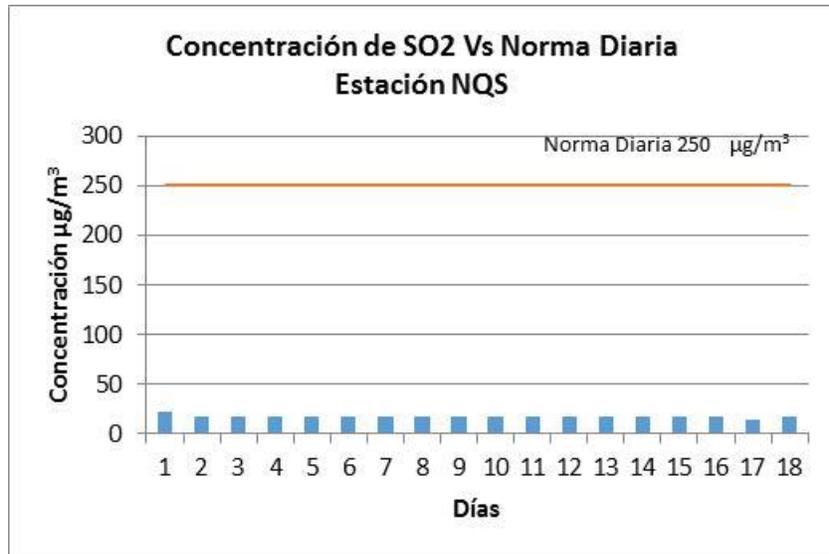


Figura 5.2.1-223 Concentraciones de SO₂ Estación NQS

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-223 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación NQS, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

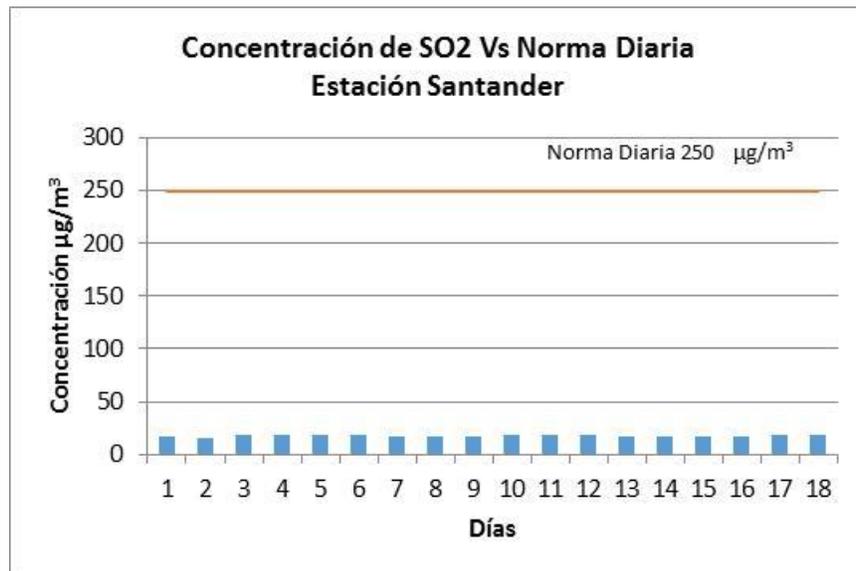


Figura 5.2.1-224 Concentraciones de SO₂ Estación Santander

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-224 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Santander, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

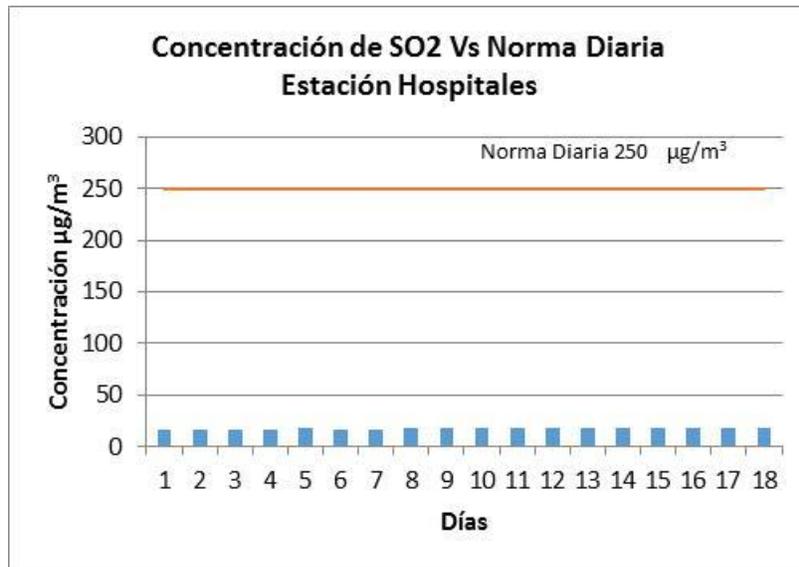


Figura 5.2.1-225 Concentraciones de SO₂ Estación Hospitales

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-225 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Hospitales, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

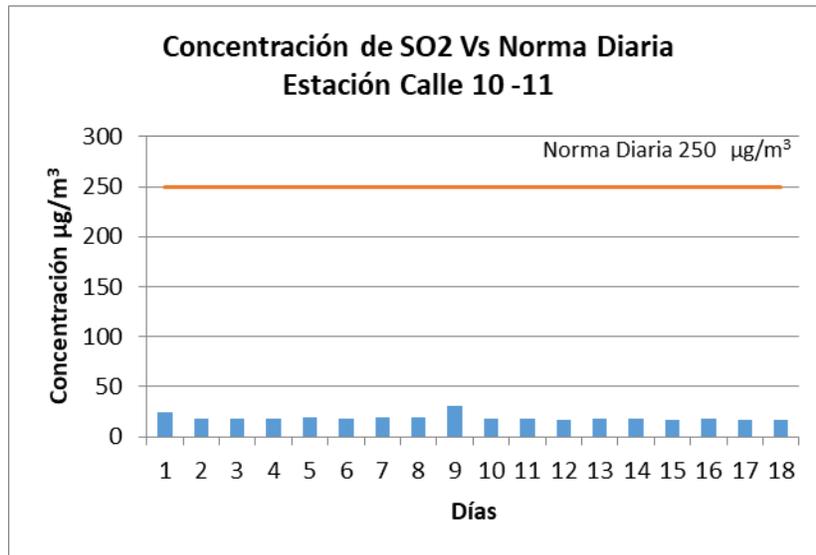


Figura 5.2.1-226 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 10 -11

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-226 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 10 -11, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

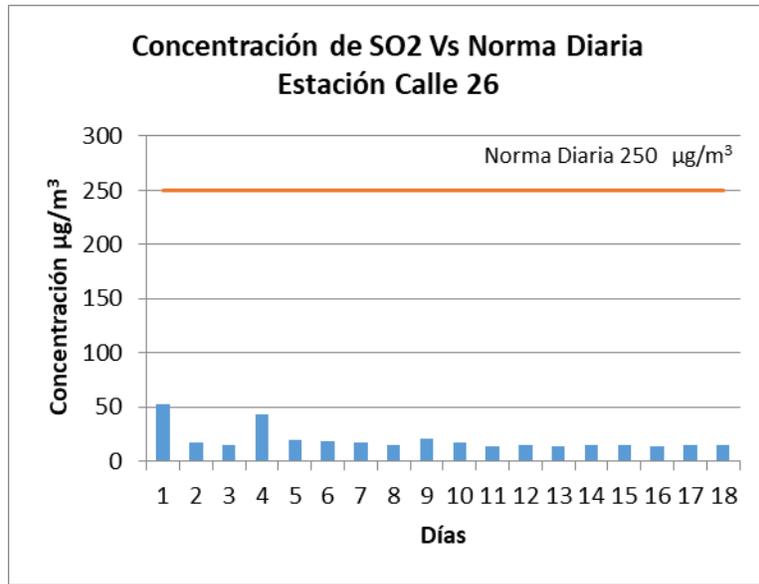


Figura 5.2.1-227 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 26

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-227 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 26, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

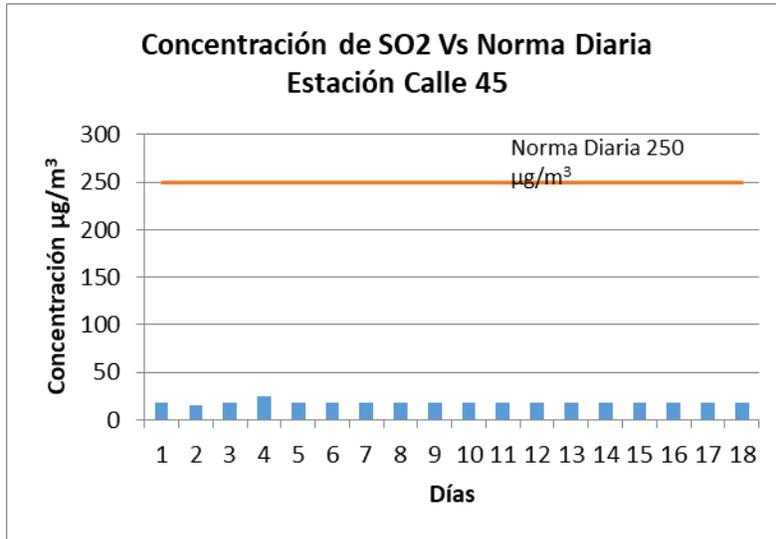


Figura 5.2.1-228 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 45

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-228 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 45, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

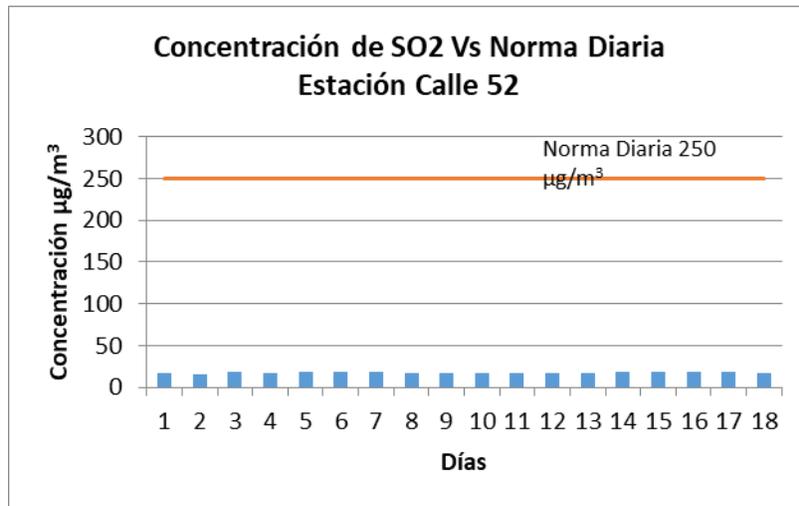


Figura 5.2.1-229 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 52

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-229 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 52, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

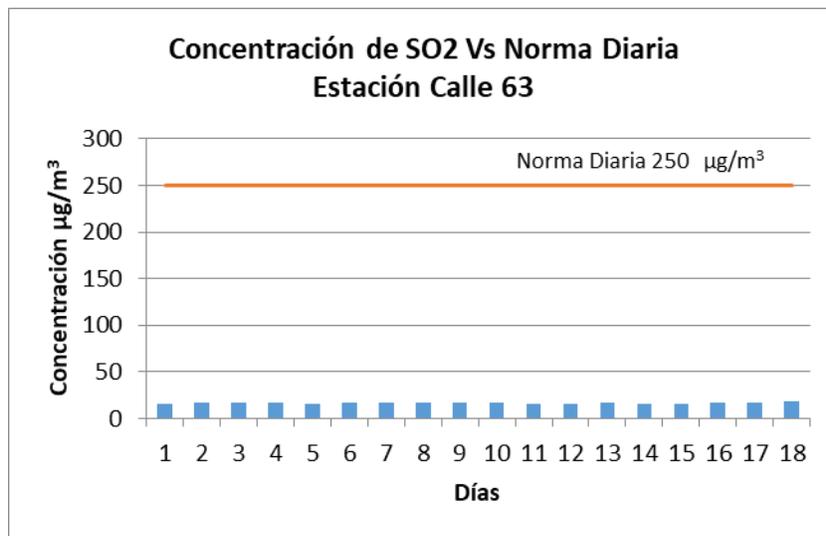


Figura 5.2.1-230 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 63

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-230 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 63, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

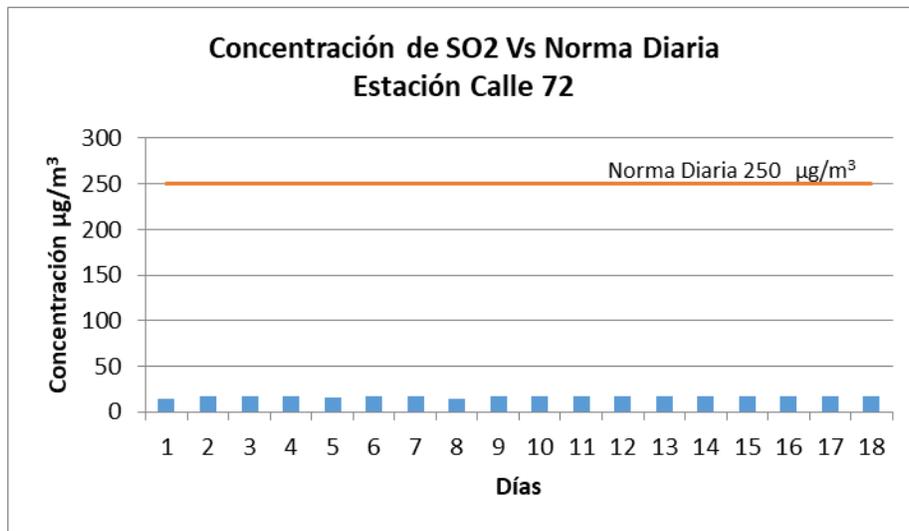


Figura 5.2.1-231 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 72

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-231 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 72, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

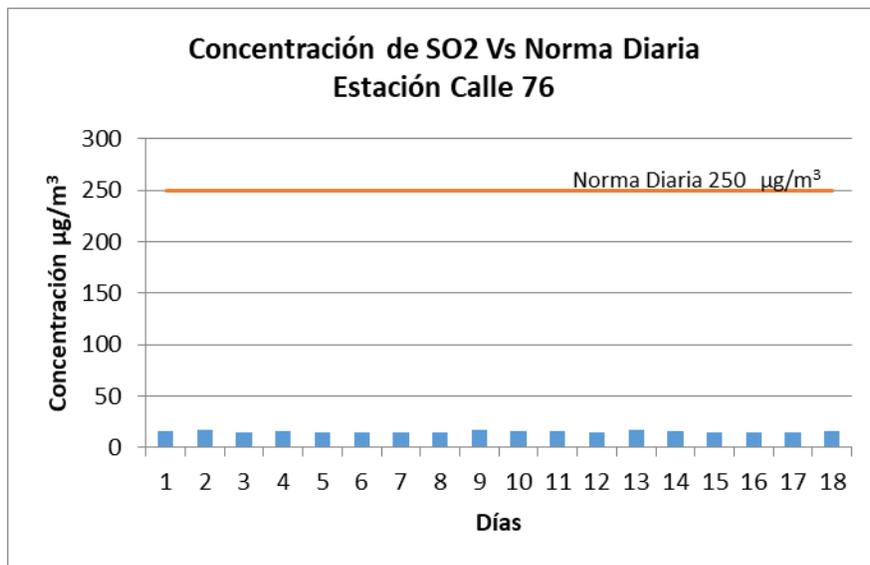


Figura 5.2.1-232 Concentraciones de SO₂ Estación Calle 76

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-232 las concentraciones estimadas de SO₂ de la Estación Calle 76, no exceden el valor máximo establecido en 250 µg/m³, por lo tanto no generaran riesgo de afectación a la salud de la población circundante.

5.2.1.20.5.5 CO

Las muestras en las dieciocho (18) estaciones evaluadas fueron recolectadas mediante un equipo automático (Analizador infrarrojo no dispersivo), el cual fue rotado por cada una de las estaciones para obtener el mínimo número de días que fueran representativos para cada estación y cuentan

con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual, establece un tiempo mínimo de monitoreo de 24 horas⁹ en cada estación. En el Anexo 5.2.1.2 Calidad del Aire se presenta el consolidado de las concentraciones hora a hora y la media móvil¹⁰ obtenidas en cada una de las estaciones.

En la Figura 5.2.1-233 se presenta gráficamente el comportamiento de las concentraciones promedio horarias de CO obtenidas en cada una de las dieciocho estaciones. Se evidencia que ninguno de los valores promedios máximos exceden la norma horaria de 40.000 µg/m³, establecida para CO en la Resolución 610 de 2010.

⁹ Resolución 2154 del 2010 // Protocolo de monitoreo y seguimiento de la Calidad del Aire.

¹⁰ Cálculo para la comparación con la norma Octahoraria.

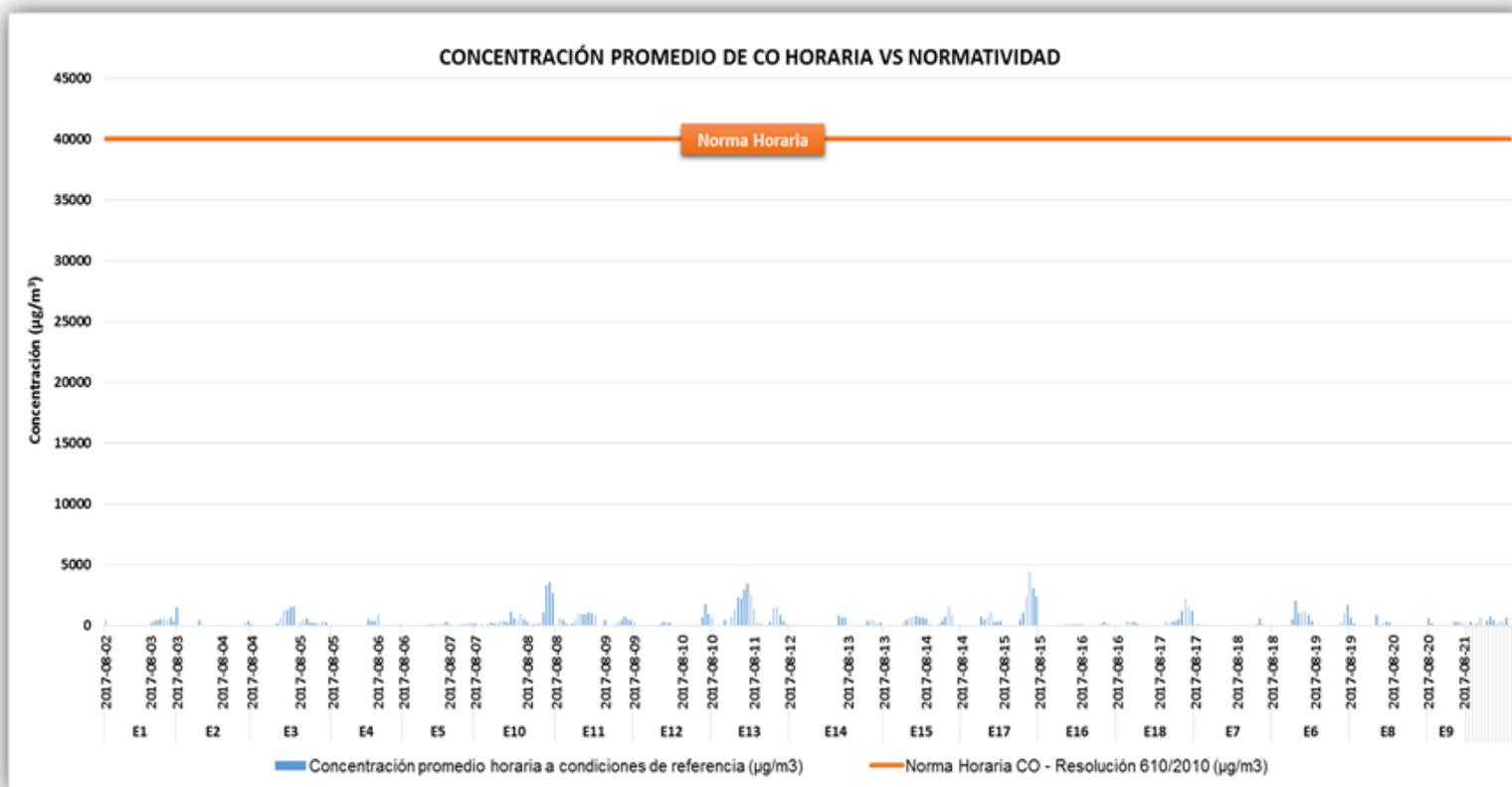


Figura 5.2.1-233 Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Norma Octahoraria

Para realizar el promedio octahorario horario, se determina la media móvil para cada estación durante los días de medición. En la Figura 5.2.1-234 se presenta el comportamiento de la media móvil calculada para cada estación.

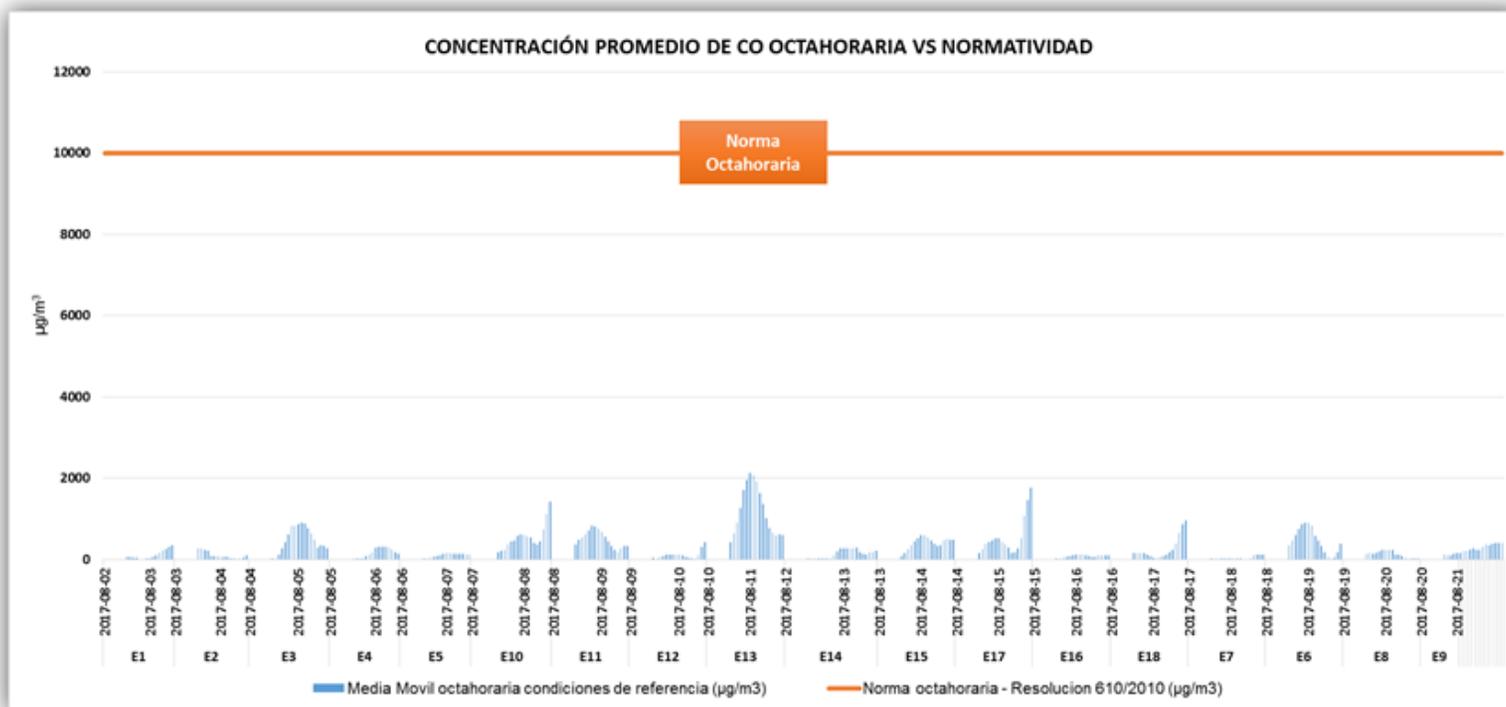


Figura 5.2.1-234 Media móvil octahoraria vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.5.6 VOC'S expresados como BTX

La Tabla 5.2.1-165 consolida los resultados promedio para cada punto de medición. El tiempo de exposición correspondió a 18 días para cada determinación realizada en cada punto, los promedios han sido corregidos a condiciones de referencia de 25°C y 760 mmHg como lo establece la normatividad.

Tabla 5.2.1-165 Consolidado resultados BTX (µg/m³)

Punto	Nombre	Fecha Inicio	Fecha Final	Benceno	Tolueno	Etilbenzeno	p-xileno	m-xileno	o-xileno
1	Patio-Taller	31/07/2017	19/08/2017	1,30	6,55	1,29	1,24	2,63	1,12
2	Portal Américas	31/07/2017	19/08/2017	4,59	25,31	5,06	4,95	11,78	4,48
3	Villa Blanca	31/07/2017	19/08/2017	3,84	20,78	3,45	3,53	8,26	2,94
4	Kennedy	31/07/2017	19/08/2017	2,42	10,63	2,47	2,51	5,67	2,26
5	Palenque	31/07/2017	19/08/2017	1,82	9,68	2,05	2,14	4,48	1,64
6	Avenida Boyacá	31/07/2017	19/08/2017	3,74	14,40	3,20	2,97	7,17	2,91
7	Avenida 68	31/07/2017	19/08/2017	2,31	13,95	3,20	2,96	6,52	2,52
8	Rosario	31/07/2017	19/08/2017	2,19	13,73	2,45	2,55	5,75	2,06
9	NQS	31/07/2017	19/08/2017	3,04	26,72	8,78	9,67	22,91	6,20
10	Santander	01/08/2017	19/08/2017	1,97	17,17	2,48	2,38	5,18	2,06
11	Hospitales	01/08/2017	19/08/2017	5,55	26,90	5,35	4,96	11,59	5,38
12	Calle 10-11	01/08/2017	19/08/2017	1,68	24,58	2,27	2,32	5,51	2,00
13	Calle 26	01/08/2017	19/08/2017	1,92	14,03	2,30	2,32	5,04	1,98
14	Calle 45	01/08/2017	19/08/2017	2,19	7,22	1,83	1,56	3,38	1,72
15	Calle 52	01/08/2017	19/08/2017	1,82	8,22	1,75	1,69	3,29	1,39
16	Calle 63	01/08/2017	19/08/2017	1,76	14,39	2,49	2,32	5,17	2,02
17	Calle 72	01/08/2017	19/08/2017	1,89	13,15	3,42	3,35	7,75	2,67
18	Calle 76	01/08/2017	19/08/2017	2,12	13,39	2,33	2,06	4,79	2,07

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

En la siguiente figura se presentan los resultados de los hidrocarburos totales expresados como BTX (Benceno, Tolueno, Etilbenzeno, p-xileno, m-xileno y o-xileno). Las mayores concentraciones de los contaminantes no convencionales, se reportan en las estaciones NQS, Hospitales y Portal Américas.

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición para el Benceno establece una concentración de 5,0 µg/m³ anual y para el Tolueno de 260 µg/m³ en una semana. Los demás contaminantes analizados, no se encuentran regulados por la normatividad colombiana. En la Tabla 5.2.1-270 se presentan los valores de concentración promedio de Benceno y Tolueno obtenidos en las dieciocho estaciones durante el periodo de monitoreo (18 días) y una comparación indicativa con los estándares de la Resolución 610 de 2010, como lo establece el Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en el Manual de Diseño en su sección 4.4.4.

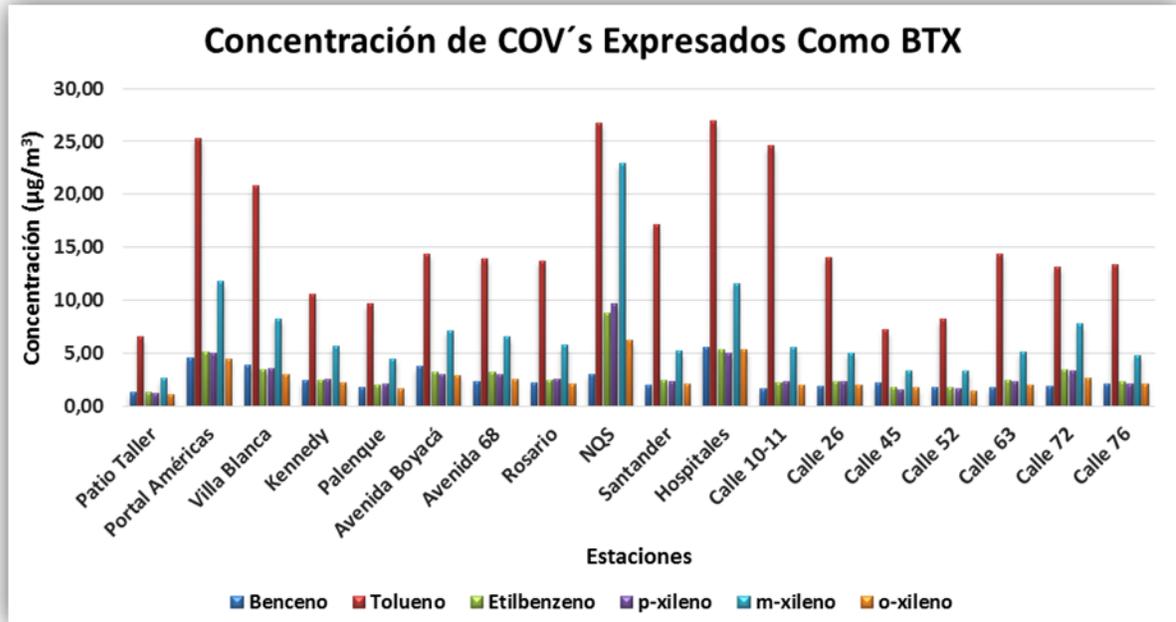


Figura 5.2.1-235 Resultados COV expresados como BTX
Fuente: K2 INGENIERÍA, 2017.

Figura 5.2.1-236 Comparación indicativa de Benceno y Tolueno con la normatividad

Estación	Benceno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tolueno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Norma Anual Para Benceno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Norma semanal Para Tolueno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Patio-Taller	1,30	6,55	5,0	260
Portal Américas	4,59	25,31	5,0	260
Villa Blanca	3,84	20,78	5,0	260
Kennedy	2,42	10,63	5,0	260
Palenque	1,82	9,68	5,0	260
Avenida Boyacá	3,74	14,40	5,0	260
Avenida 68	2,31	13,95	5,0	260
Rosario	2,19	13,73	5,0	260
NQS	3,04	26,72	5,0	260
Santander	1,97	17,17	5,0	260
Hospitales	5,55	26,90	5,0	260
Calle 10-11	1,68	24,58	5,0	260
Calle 26	1,92	14,03	5,0	260
Calle 45	2,19	7,22	5,0	260
Calle 52	1,82	8,22	5,0	260
Calle 63	1,76	14,39	5,0	260
Calle 72	1,89	13,15	5,0	260
Calle 76	2,12	13,39	5,0	260

Fuente: INGENIERÍA K2 S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

Al comparar indicativamente los valores de concentración reportados durante los días de monitoreo con el nivel máximo permisible de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el Tolueno (semanal) establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS, se evidencia que cumplen con la normatividad. Con respecto a las concentraciones de Benceno, en la estación Hospitales se reporta una concentración (5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que excede el máximo permisible, las demás concentraciones cumplen con la norma. Ver Figura 5.2.1-237 y Figura 5.2.1-238.

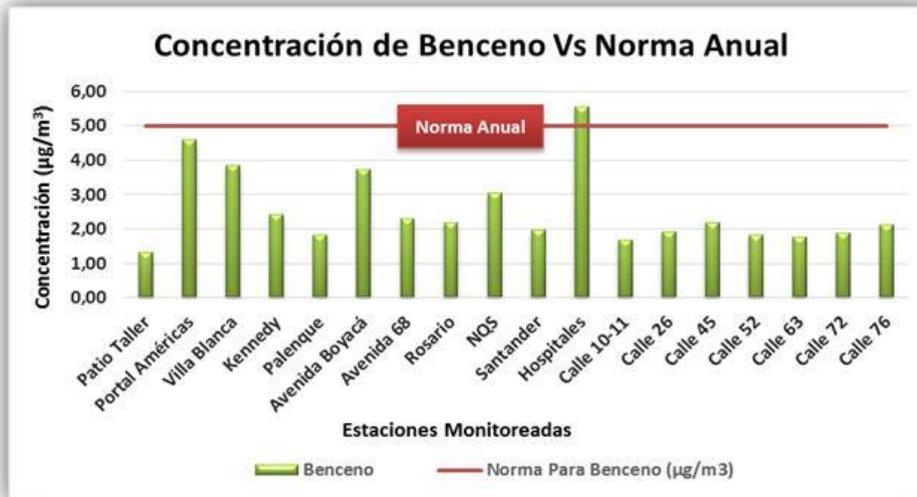


Figura 5.2.1-237 Concentración de Benceno Vs Norma anual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

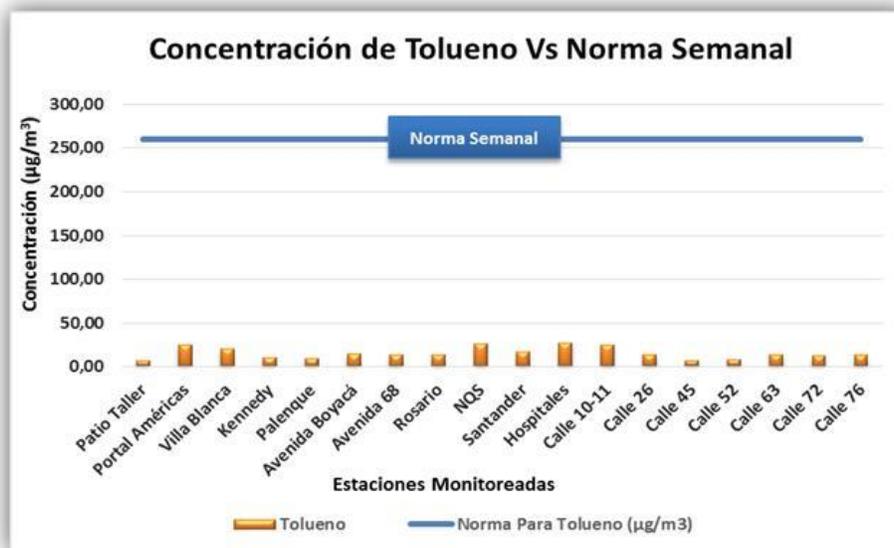


Figura 5.2.1-238 Concentración de Tolueno Vs Norma semanal
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

5.2.1.20.6 Índice de Calidad del Aire (ICA)

El Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire de Colombia, año 2010, define al ICA como un índice que “permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un Sistema de Vigilancia de Calidad del aire (SVCA). Es un indicador de la calidad del aire diaria. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud. El Índice de calidad del aire ha sido adoptado a partir del documento *Technical Assistance Document for the Reporting*

of *Daily Air Quality –the Air Quality Index (AQI)* documento EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009. El índice de calidad del aire está enfocado en cinco contaminantes principales: Ozono, material particulado, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono”.

Rangos del ICA

El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la Tabla 5.2.1-166 y Tabla 5.2.1-167 se presentan los efectos a la salud que se deben tener en cuenta y los rangos de corte cualitativos, de acuerdo al valor del ICA.

Puntos de Corte del ICA

Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En este caso, se utiliza la información reportada por la EPA que presenta dichas relaciones. En la Tabla 5.2.1-166 se muestra los puntos de corte del ICA de acuerdo con los efectos sobre la salud reportados por estudios de la EPA (2005).

Tabla 5.2.1-166 Convenciones Índice de Calidad del Aire

ICA	Clasificación	Efectos a la Salud de Acuerdo con el Rango del ICA
0-50	Buena	Ninguno
51-100	Moderada	Posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos juniore.
101-150	Dañina a la salud para grupos sensibles	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos juniore.
151-200	Dañina a la salud	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudescimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general.
201-300	Muy dañina a la salud	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general.
301-500	Peligrosa	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudescimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general.

Fuente: Modificado de Manual de operación del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010. Págs. 135-136, Tabla 34

En la Tabla 5.2.1-167 se muestran los puntos de corte a partir de los cuales se determina el Índice de Calidad del Aire (ICA) en las estaciones.

Tabla 5.2.1-167 Puntos de corte del ICA

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

ICA	Color	Clasificación	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0-50	Verde	Buena	0.001 0.059	-	0 54	0.0 15.4	0.0 4.4	0.000 0.034	(2)
51-100	Amarilla	Moderada	0.060 0.075	-	55 154	15.5 40.4	4.5 9.4	0.035 0.144	(2)
101-500	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0.076 0.095	0.125 0.164	155 254	40.5 65.4	9.5 12.4	0.145 0.224	(2)
151-200	151-200 Dañina a la salud	Dañina a la salud	0.096 0.115	0.165 0.204	255 354	65.5 150.4	12.5 15.4	0.225 0.304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	0.116 0.374 (0.155 0.404) (4)	0.205 0.404	355 424	150.5 250.4	15.5 30.4	0.305 0.604	0.65 1.24
301-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0.405 0.604	425 604	250.5 500.4	30.5 50.4	0.605 1.004	1.25 2.04

(1) Para O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
 (2) Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.
 (3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (w301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.
 (4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

Fuente: Manual de operación del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010. Pág. 133, Tabla 33, MAVDT.

5.2.1.20.7 Determinación del Índice de Calidad del Aire (ICA)

En todas las estaciones de calidad del aire se realizaron mediciones de PM₁₀. En la Figura 5.2.1-239 se consolida el total de Índices de Calidad del Aire calculados para el periodo de monitoreo de calidad del aire.

De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observa que el 72% (233 de 324 registros) de los valores estimados corresponden a la banda de color verde que significa “Calidad del Aire Buena” y el 28% (91 de 324 registros) de los valores se halla en la banda de color amarillo que corresponde a “Calidad del Aire Moderada”. Esta representación indica que el riesgo actual en la salud de las poblaciones del área de estudio por efecto de la calidad del aire es bajo a nulo (ver Figura 5.2.1-239). Cabe resaltar, que el análisis y los efectos sobre la salud son los establecidos por el Protocolo de SVCAs, y no son el objeto propio de este estudio.

La estación Portal Américas es la que reporta la mayor cantidad de valores (17 de 18 registros) en la categoría “Calidad del Aire Moderada”. De otra parte, la estación Santander ubica la totalidad de sus valores (18 registros) en la categoría “Calidad del Aire Buena”.

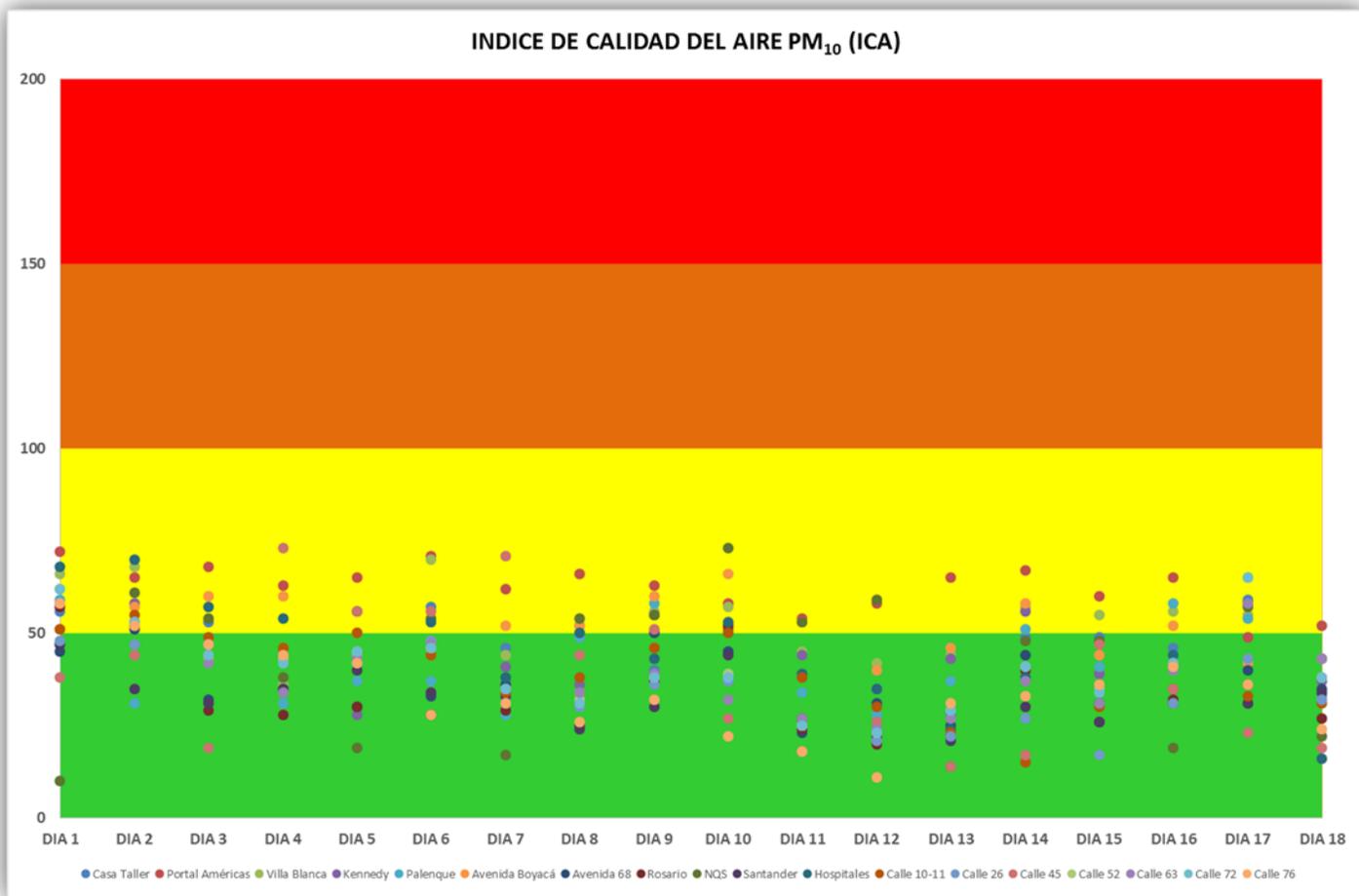


Figura 5.2.1-239 Ilustración 40. Índice de Calidad de Aire

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.8 Conclusiones

- ✓ De acuerdo a la síntesis de los resultados presentados en este capítulo donde se exponen las concentraciones obtenidas y el cumplimiento respecto a la normatividad pertinente, se observa que las concentraciones determinadas para los contaminantes regulados por la legislación vigente en el área de influencia del proyecto presentan niveles de material particulado PM₁₀, por debajo de los límites permisibles exigidos. Por lo antes expuesto los puntos evaluados cumplen con los límites permisibles según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT.
- ✓ Los niveles más elevados de concentración de PM₁₀ registrados entre las dieciocho estaciones se presentaron los días: cuatro (4) en la estación Calle 45 (99,80 µg/m³), diez (10) en la estación NQS (99,65 µg/m³), y uno (1) en la estación Portal Américas (97,16 µg/m³).
- ✓ Al comparar los valores promedio del consolidado de datos obtenidos con la norma anual de 50 µg/m³, se detectó que cinco (5) de las dieciocho (18) estaciones superaron el límite permisible anual; no obstante, es preciso destacar que estas concentraciones se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.
- ✓ 98,8% de los valores de concentración de material particulado – PM_{2.5} no presentan excedencias respecto a la norma diaria de calidad del aire establecida en la Resolución 610 de 2010 (50 µg/m³) del MAVTD hoy MADS. Sólo cuatro (4) valores (1,2%) exceden la norma y se hallan registrados en las estaciones Portal Américas (75,78 µg/m³ en el día 1), NQS (57,65 µg/m³ en el día 10) y Hospitales (57,80 µg/m³ y 58,99 µg/m³ en los días 1 y 2 respectivamente).
- ✓ Al comparar la concentración definida para PM_{2.5} por la norma anual (25 µg/m³) con los valores promedio del consolidado de datos obtenidos, se evidenció que seis (6) de las dieciocho (18) estaciones de monitoreo superaron el límite permisible anual. Estas estaciones son: Patio-Taller (31,00 µg/m³), Portal Américas (38,06 µg/m³), Kennedy (28,63 µg/m³), Avenida Boyacá (29,02 µg/m³), NQS (28,11 µg/m³) y Hospitales (34,38 µg/m³). Sin embargo, estas concentraciones se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.
- ✓ Los valores de concentración de NO₂ y SO₂ obtenidos en las dieciocho estaciones de monitoreo no presentaron excedencia respecto a la norma diaria (150 µg/m³ para NO₂ y 250 µg/m³ para SO₂) y por tanto cumplen con los lineamientos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS.
- ✓ Los valores correspondientes a las concentraciones promedio horarias de CO obtenidas en cada una de las dieciocho estaciones no exceden la norma horaria de 40.000 µg/m³, establecida para CO en la Resolución 610 de 2010.
- ✓ De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observó que el 72% (233 de 324 registros) de los valores estimados correspondieron a la banda de color verde que significa “Calidad del Aire Buena” y el 28% (91 de 324 registros) de los valores se halló en la banda de color amarillo que corresponde a “Calidad del Aire Moderada”. Esta representación indica que el riesgo actual en la salud de las poblaciones del área de estudio por efecto de la calidad del aire es bajo a nulo.

- ✓ La estación Portal Américas reportó la mayor cantidad de valores (17 de 18 registros) en la categoría “Calidad del Aire Moderada”. De otra parte, la estación Santander ubicó la totalidad de sus valores (18 registros) en la categoría “Calidad del Aire Buena”.
- ✓ En presente estudio se determinó que el ICA calculado para el parámetro PM₁₀, en el área del proyecto arroja una clasificación entre “Calidad del Aire Buena” y “Calidad del Aire Moderada”. El cual al ser comparado con el ICA del año 2016, presentado en el documento “INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ¹¹” elaborado por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá, presenta concordancia al reafirmar dicha clasificación.

5.2.1.20.9 Modelo de Calidad del Aire

5.2.1.20.9.1 Elección del software para el modelo de dispersión

Con el fin de simular la dispersión de PM₁₀, PM_{2,5}, CO, NO_x, SO_x y COV y determinar cuál es la concentración en puntos específicos sobre el trazado de la PLMB en relación a las diferentes fases del proyecto. A continuación se desarrolla una análisis comparativo en el cual se describen las características, aplicaciones, ventajas y desventajas de los dos software especializados para la simulación, avalados por la EPA (United States Environmental Protection Agency) y El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, ver Tabla 5.2.1-168.

Tabla 5.2.1-168 Comparación entre modelos de dispersión

Software	Desarrollador	Descripción	Ventajas	Limitaciones
CALPUFF	Sigma Research Corporation, ahora parte de earth Tech, Inc.	<p>Modelo Gaussiano de pluma como Puff¹² en estado no estacionario</p> <p>Modelo regulatorio preferido de la EPA de EE. UU. Para aplicaciones de visibilidad de largo alcance.</p> <p>También se usa para escenarios complejos de campos de viento</p>	<p>Capacidad para trabajar con información meteorológica tridimensional</p> <p>Modelación a gran escala, rangos entre 200 y 300 Km desde la fuente.</p> <p>Modelamiento en condiciones meteorológicas no estacionarias.</p> <p>Algoritmo de viento en calma para velocidades de viento cercanas a cero.</p>	<p>Riesgo de subestimar las concentraciones al no considerar varios Puff para representar adecuadamente el efecto de las plumas de dispersión.</p> <p>Única opción de Terreno Elevado, (procesado por TERREL)</p> <p>Los Tipos de fuente están limitados a sus versiones: Punto, área, volumen, línea, bengala (solo V7), carretera (solo V7)</p> <p>Su utilización requiere al menos 20 GB de espacio disponible en el disco duro y 2 GB de RAM</p>
AERMOD: incluye:	AERMIC - (American Meteorological Society (AMS))	Modelo Gaussiano de pluma en estado	Es adecuado para escenarios complejos de dispersión urbana y de terreno.	Recomendado para aplicaciones menores a 50 km de distancia de la fuente, en donde se ha

¹¹ RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ. RMCAB. INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ. 2016. Pág. 97

¹² PUFF: Soplos o bocanadas de contaminante, paquetes discretos de contaminantes.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Software	Desarrollador	Descripción	Ventajas	Limitaciones
<p>- AERMOD View</p> <p>- ISCST3 (BREEZE)</p> <p>- Industrial Source Complex Short Term model (US EPA)</p> <p>- ISC-PRIME model)</p>	<p>and United States Environmental Protection Agency (US EPA)</p>	<p>estacionario Modelo regulatorio preferido de la EPA de EE. UU. Para aplicaciones de campo cercano (< 50 Km de la fuente)</p>	<p>Opciones de Terreno Plano o elevado (procesado por AERMAP)</p> <p>Visualización en tercera dimensión tanto de la información de entrada como de los resultados.</p> <p>Modela la dispersión de múltiples parámetros en forma simultánea.</p> <p>Tipos de fuente: Punto, área, volumen, cielo abierto, línea *, llamarada *</p> <p>El cargador de AERMOD View le permite reiniciar un proyecto sin tener que alimentar toda la información de nuevo</p> <p>Acepta información del terreno en formatos DEM, SRTM, NTF, DTM, CDED, GTOPO30 y XYZ.</p> <p>Elabora Gráficas de Rosa de Vientos y de Frecuencias.</p> <p>Acepta la información de entrada mediante gráficas, texto o archivos previamente elaborados.</p> <p>Incluye los modelos ISCST3 e ISCPRIIME, correspondientes a la "anterior generación</p> <p>Su utilización requiere de al menos 2 GB de espacio disponible en el disco duro y 1 GB de RAM (se recomiendan 2 GB)</p> <p>La Agencia de Protección Ambiental de EU (EPA) presenta el modelo ISCST3 como parte de los paquetes computacionales recomendados para la dispersión de contaminantes, para estudios exploratorios de gabinete para simular las emisiones ocasionadas por complejos industriales.</p>	<p>visto un mejor desempeño del modelo, (EPA, 1995).</p>

Software	Desarrollador	Descripción	Ventajas	Limitaciones
			<p>Estima los efectos de abatimiento de la pluma de contaminantes (building downwash) causado por construcciones u obstáculos (Micro-meteorología).</p> <p>Considera la remoción húmeda y seca de la concentración de los contaminantes.</p> <p>Capacidad para considerar las condiciones del terreno reales</p>	

Fuente: Lakes Environmental, 2018.¹³

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5.2.1-168, el modelo que más se ajusta a las necesidades y características del proyecto de Estructuración de la PLMB es el AERMOD, dado que se considera un software integral, el cual simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su deposición en campos cercanos menores a 50Km de la fuente; realiza sus cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de obstáculos (edificios) cercanos a la fuente de emisión que afecten la dispersión de la pluma; usa datos del clima de la capa superior atmosférica, acepta información del terreno en siete diferentes formatos, visualiza en tercera dimensión la información de entrada y los resultados, tiene facilidades para modelar varios parámetros en forma simultánea en periodos establecidos, así mismo incorpora las técnicas más avanzadas de parametrización de la capa límite planetaria, dispersión convectiva, formulación de la elevación de la pluma e interacciones complejas del terreno con la pluma. Adicionalmente, es el modelo regulatorio actualmente recomendado por la EPA de Estados Unidos y la autoridad ambiental nacional.

A partir de lo anterior, por medio del laboratorio K-2 INGENIERIA, acreditado ante el IDEAM, se decide desarrollar el modelo de dispersión de PM₁₀, PM_{2,5}, CO, NO_x, SO_x y COV mediante la aplicación del software de tipo gaussiano AERMOD con el fin de estimar el aporte atribuible al proyecto durante la fase de construcción y operación del proyecto, respecto a la condición actual sin proyecto (línea base).

5.2.1.20.9.2 Descripción del modelo

En 1991, la Sociedad Meteorológica Americana (AMS) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA) iniciaron un trabajo en conjunto cuyo principal objetivo era actualizar los modelos de dispersión de la EPA, de acuerdo con el nivel del estado del arte en el tema. A través del AERMIC (AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee) se incorporó al sistema de modelos el AERMOD, que maneja la dispersión de contaminantes en el aire basado en la estructura de turbulencia de la capa límite planetario y en conceptos de escala.

El modelo AERMOD es un modelo Gaussiano de pluma en estado estacionario que simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su depositación. Realiza sus cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de edificios cercanos a la fuente de emisión que pudieran afectar la dispersión de la pluma; usa datos del clima de la capa superior atmosférica,

¹³ Consultado de: <https://www.weblakes.com/products/aermod/specs.html>

incorpora conceptos avanzados de modelación y algoritmos de dispersión basados en conceptos de escalamiento y de estructura de la turbulencia de la capa límite planetaria, incluyendo el tratamiento de fuentes elevadas y de superficie, y de terreno simple y complejo, es aplicable a áreas rurales y urbanas y a múltiples tipos de fuentes (puntuales, de área, de volumen, lineales).

Este modelo tiene dos preprocesadores de datos de entrada: AERMET, un preprocesador de información meteorológica que analiza la dispersión en el aire usando conceptos de escalamiento y de estructura de la turbulencia de la capa límite planetaria, genera dos archivos que posteriormente alimentan el AERMOD: un archivo de parámetros en la capa límite superficial y otro de perfiles verticales; y AERMAP, un preprocesador de datos de topografía que analiza terrenos complejos (no planos) usando información digital de elevaciones, genera un archivo que permite en AERMOD importar las elevaciones de las fuentes y receptores, ver Figura 5.2.1-240.

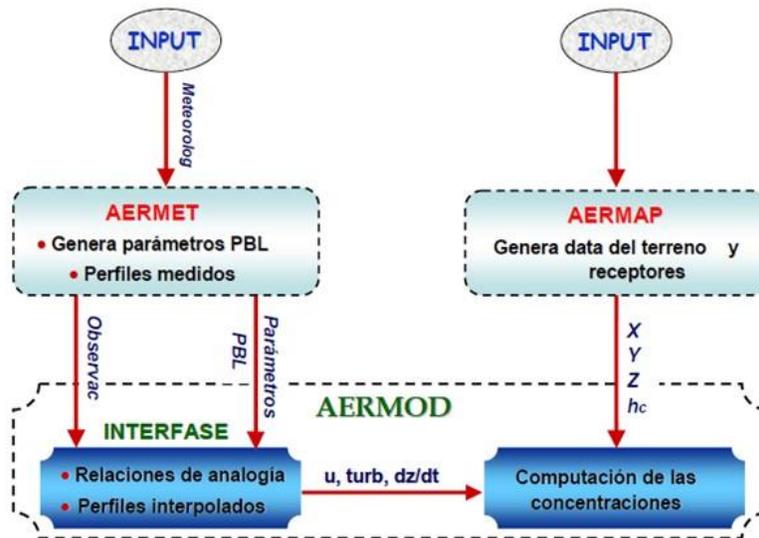


Figura 5.2.1-240. Esquema del sistema de modelación AERMOD

Fuente: Universidad Nacional Autónoma de México (Cabrera, 2008).

Así mismo, como se describió anteriormente, incorpora las técnicas más avanzadas de parametrización de la capa límite planetario, dispersión convectiva, formulación de la elevación de la pluma e interacciones complejas del terreno con la pluma, incluyendo algoritmos para:

- Dispersión tanto en las capas límite estable como convectiva
- Flotabilidad y elevación de la pluma
- Penetración de la pluma en inversiones elevadas
- Tratamiento de receptores en todo tipo de terrenos
- Cálculo de perfiles verticales de viento, temperatura y turbulencia
- Tratamiento de receptores en todo tipo de terreno

Por lo cual, a partir de octubre de 2005 la EPA establece el AERMOD como modelo de uso recomendado para la dispersión de contaminantes, reemplazando el ISC hasta el momento usado.

Adicionalmente, el modelo permite la entrada de los siguientes datos para la simulación de la dispersión de los contaminantes en el aire:

- **Opciones de fuente:** se identifican los tipos de fuente, se define su localización, las emisiones promedio a partir de los factores de emisión y otras características.
- **Opción de receptores:** se definen las principales áreas de interés para determinar cómo se van a ver afectadas por la emisión de los contaminantes en estudio y los receptores discretos.
- **Opción de terreno:** introduce la información topográfica del dominio de la modelación.
- **Opciones meteorológicas:** se introduce el archivo meteorológico que contiene toda la información relacionada con la velocidad y dirección de los vientos, altura de capa de mezcla, temperatura y estabilidad atmosférica, entre otros.
- **Opciones de control:** se definen las características principales del modelo y se determina el tipo de contaminante a modelar y los parámetros predefinidos que van a ser usados.
- **Opciones de salida:** se definen los parámetros de salida de datos para las diferentes concentraciones del contaminante en estudio.

Por lo anterior, el software de modelación utilizado para el estudio, es el AERMOD de la compañía canadiense Lakes Environmental.

5.2.1.20.9.3 Definición de los escenarios de modelación

Atendiendo los requerimientos presentados en los Términos de Referencia del Proyecto, la definición de los escenarios de modelación para cada una de las fases del proyecto (Construcción y operación), se desarrolló a partir de la identificación de los procesos o actividades del proyecto susceptibles a generar emisiones atmosféricas. Para esto se consideró el tiempo de duración de cada una de las fases del proyecto expresado en los años establecido por la Empresa Metro de Bogotá, el cual se presenta de forma resumida en la Figura 5.2.1-241.



Figura 5.2.1-241 Duración fases del proyecto
Fuente: Empresa Metro de Bogotá, 2017.

A partir de lo anterior, con el objeto de identificar el comportamiento de los contaminantes en la zona del proyecto, se definieron los siguientes escenarios de modelación:

Escenario 1 - Línea Base: Simula la dispersión de gases y partículas para un tiempo normal actual (Sin proyecto) en el área de estudio, considerando únicamente las emisiones del tráfico rodado aforado en el año 2017.

Escenario 2: Construcción (crítico): Simula la dispersión de gases y partículas emitidas durante la ejecución de las actividades constructivas propias del proyecto (jornadas diurnas y nocturnas),

considerando todos los frentes de trabajo de forma simultánea (Patio-Taller, Estaciones y Viaducto) independientemente del momento de ejecución de la actividad, modelando bajo la condición más crítica.

Escenario 3: Operación del proyecto: Teniendo en cuenta que el sistema de funcionamiento del metro no genera ningún tipo de emisión atmosférica, este escenario simula la dispersión de gases y partículas sobre el corredor del proyecto considerando únicamente el tráfico rodado proyectado en la zona de estudio, la proyección se desarrolló a partir de la tasa promedio de crecimiento de la ciudad de Bogotá.

Por lo anterior, para todos los escenarios se realizó la modelación bajo las condiciones más críticas posibles en cada una de las etapas del proyecto, considerando la ejecución de las actividades de forma simultánea a lo largo del trazado.

Con el fin de estimar el aporte de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) del proyecto a continuación se describen los escenarios modelados para obtener dicho resultado:

- **Escenario 3.1: Operación del proyecto con la reducción del 70% del tráfico sobre la Caracas:**
No incluye concentración de fondo, se modela con el tráfico proyectado para el año 2042, asumiendo la reducción del 70% del tráfico sobre la Caracas por futura eliminación del carril mixto.
- **Escenario 3.2: Operación del proyecto con el 100% del tráfico sobre la Caracas:**
No incluye concentración de fondo, se modela con el tráfico del año 2042, asumiendo el 100% del tráfico sobre la Caracas.

5.2.1.20.9.4 Procesos que generan emisiones en el proyecto

A continuación se describen los principales procesos o actividades del proyecto que generan emisiones atmosféricas incluidas en el modelo de dispersión.

Tabla 5.2.1-169 Inventario de emisiones - Proyecto

Fase del proyecto	Fuente		
	Nombre	Proceso o actividad que generan las emisiones atmosféricas	Maquinaria asociada
Actividades previas: Condición actual de la zona de estudio (Sin proyecto)	Vías e intersecciones viales sobre las cuales se sitúa el trazado de la PLMB descritas en el numeral 5.2.1.19	Flujo vehicular en las vías existentes (pavimentadas y no pavimentadas)	Autos Buses Camiones Motos
Construcción	Patio-Taller	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de camiones de material (Nivelación, granular) Combustión interna equipos fuera de vías	Retroexcavadora Minicargador Vibrocompactador Retroexcavadora sobre orugas Moto niveladora Cargador Bulldozer Volquetas
	Columnas	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de materiales (relleno, material granular y concretos)	Retroexcavadora Retroexcavadora sobre orugas Motoniveladora

Fase del proyecto	Fuente		
	Nombre	Proceso o actividad que generan las emisiones atmosféricas	Maquinaria asociada
Fase del proyecto		Perforación Combustión interna equipos fuera de vías	Bulldozer Volquetas Martillo Neumático
	Construcción Vías	Remoción de suelos Cargue de material Actividades de construcción de vías Combustión interna equipos fuera de vías Transporte de material	Retroexcavadora Retroexcavadora sobre orugas Grúa de brazo telescópico Benitin 120 Terminador de asfalto Viga lanzadora Motoniveladora Bulldozer Volquetas
	Estaciones	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de materiales (suelos, concreto) Tubo de escape equipos en vías	Retroexcavadora Retroexcavadora sobre orugas Moto niveladora Cargador Bulldozer Volquetas
Operación	Vías e intersecciones viales sobre las cuales se sitúa el trazado de la PLMB descritas en el numeral 5.2.1.19	Flujo vehicular proyectado sobre las vías existentes (pavimentadas y no pavimentadas)	Autos Buses Camiones Moto

En el numeral 5.2.1.19 se describen las principales fuentes de emisión identificadas en el área del proyecto a partir de información secundaria obtenida de la SDA en el año 2017.

Entre la maquinaria asociada no se incluye el uso de piloteadora, dado que los pilotes del proyecto se consideran de tipo pre-excavado.

Adicionalmente, en el Anexo 5.2.1.3 Modelo de dispersión se incluye el informe y los anexos correspondientes al modelo de dispersión elaborado por K2 INGENIERÍA.

5.2.1.20.9.5 Parámetros evaluados

Dados los efectos nocivos del material particulado sobre la salud humana, los parámetros evaluados mediante el modelo de dispersión corresponden a los regulados por la Resolución 610 de 2010 de MAVDT actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS):

- Material Particulado con diámetro aerodinámico inferior a 10 µm (PM₁₀)
- Material Particulado con diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µm (PM_{2.5})
- Óxidos de Nitrógeno (NO₂)
- Óxidos de Azufre (SO₂)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)

5.2.1.20.9.6 Dominio de Modelación

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

El dominio de modelación corresponde al área donde se encuentran las fuentes de emisión identificadas a partir de las actividades que se desarrollaran en el proyecto y los receptores discretos. Con el fin de tener mayor detalle en el área del proyecto, a partir del polígono del AI del proyecto, descrita en el capítulo de áreas de influencia, se definieron dos grupos de grillas, para la modelación de partículas por tramos y la modelación de gases en el tramo completo del proyecto, A continuación se describe cada una de estas:

Grilla para la modelación de partículas:

Con el fin de tener mayor detalle en el área del proyecto, en cuanto a las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5}, a partir del polígono del AI del proyecto, descrita en el capítulo de áreas de influencia, se definió un grupo de 18 grillas de 63 m por 67 m (NCART1 – NCART18) que genera 441 receptores. En la Tabla 5.2.1-170 se presentan las coordenadas de cada grilla.

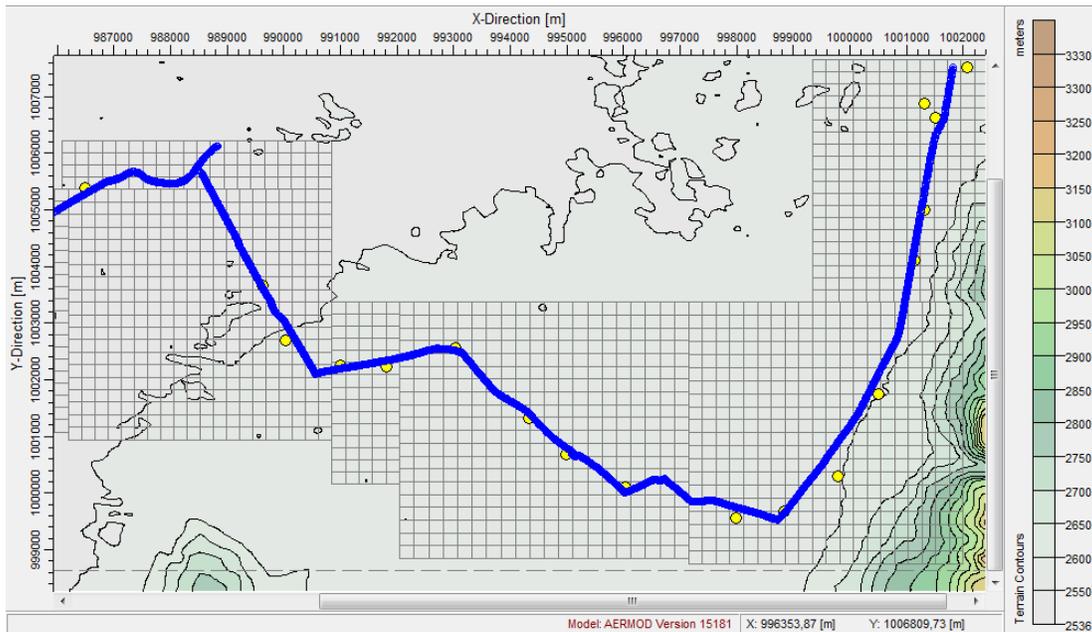


Figura 5.2.1-242 Grillas utilizadas

Grilla para la modelación de gases:

La grilla se define en dos grupos, el primero para el escenario uno (Línea Base) y escenario tres (Operación), el segundo, para el escenario dos (Construcción). La Tabla 5.2.1-170 presenta las características de cada una de estas y la Figura 5.2.1-243

Tabla 5.2.1-170 Grilla utilizadas para el estudio de gases

Grilla	Área	Magna Sirgas Colombia Bogotá		
		este	norte	
Escenario 1 y 3	G1	1209 km ²	975603,8	988244,5
	G2	176,8 km ²	986074	998529,4
Escenario 2	G3	891 km ²	978559,2	991286,1

Fuente: K2 INGENIERIA S.A.S.

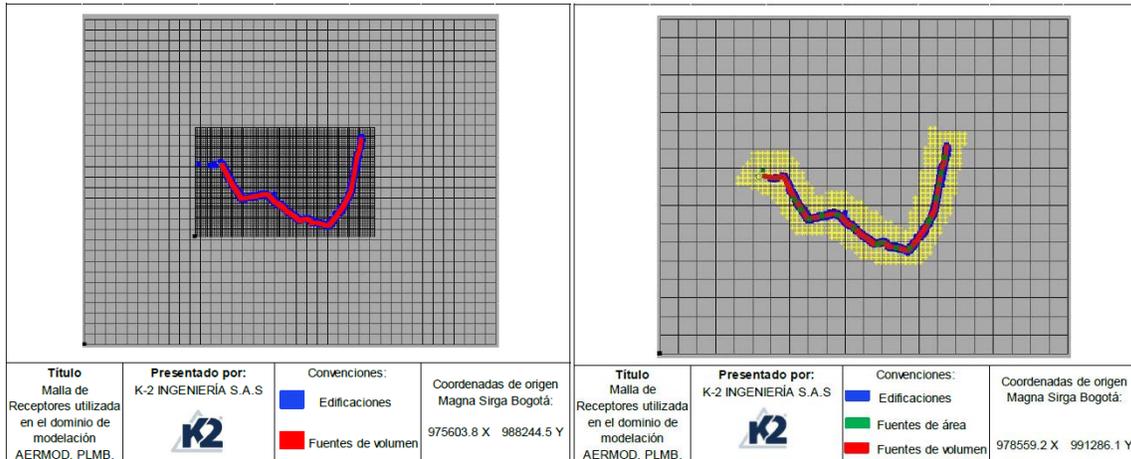


Figura 5.2.1-243 Dominios de modelación – (Esc. 1 y 3) y (Esc 2)
Fuente: K2 INGENIERIA S.A.S.

5.2.1.20.9.7 Incertidumbre del Modelo

Los factores que afectan en mayor grado la precisión de los modelos son, el modelo matemático en sí y la calidad de los datos de entrada.

En los modelos de dispersión, se juega con dos tipos de variables: variables conocidas, que pueden ser medidas, como son: velocidad y dirección del viento, temperatura, altura de mezcla, factores de emisión, características de receptores y fuentes, etc., además existen otras, las cuales no se pueden medir, como son algunos detalles no resueltos del flujo atmosférico en Condiciones convectivas. Cuando se corre el modelo, que es una idealización de la realidad, estas variables desconocidas le hacen perder precisión en las concentraciones de contaminantes finales. Estos errores han sido llamados *incertidumbre inherente* (K-2 Ingeniería S.A.S, 2017).

Para la simulación de la dispersión de contaminantes se utilizó información extraída del modelo regional WRF el cual fue procesada posteriormente en el software AERMET, obteniendo una proyección aproximada de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio.

Varios autores coinciden en que los errores típicamente para un modelo que da resultados horarios se encuentran alrededor de -67% a +200%. Otras fuentes atribuyen errores de $\pm 50\%$ para un receptor en un punto específico. (Hanna, 1998; Hanna, 2000; Seibert, 2000; Yegnan et al., 2002; Shankar, 2005).

Los parámetros bajo los cuales se mide la exactitud de un modelo son los errores en las bases de datos y lo concerniente a la física y formulación del modelo. Varios estudios realizados en otros países realizados con el objetivo de medir la exactitud de los modelos han confirmado lo siguiente:

Los modelos son más fiables para medir concentraciones promedio a largo plazo que para estimar concentraciones a corto plazo en un punto específico. Los modelos son bastante fiables estimando picos de concentraciones en un área determinada (los errores para este caso típicamente están entre $\pm 10\%$ a 40%).

Entre más se ajuste el modelo matemático a la física y química de la atmósfera, el modelo presentará mayor precisión. Lo mismo sucede con los datos de entrada, entre mayor sea la calidad de los datos, las concentraciones de salida serán mejores y más aproximadas a la realidad. De acuerdo a las anteriores observaciones, el presente modelo debe ser leído en sus capacidades reales teniendo en cuenta su información de la siguiente forma:

El modelo es fiable estimando los puntos de mayor concentración. Los resultados dan un orden de magnitud probable y solo en esas dimensiones puede ser interpretado.

Además de las limitaciones comunes a los modelos de dispersión atmosférica (error inherente) el presente modelo presenta las siguientes limitaciones que deben ser corregidas en estudios posteriores.

La altura de mezcla se obtuvo de manera numérica a partir de datos de meteorología de superficie solamente. La altura de mezcla tiene generalmente un efecto notorio en las concentraciones máximas.

El modelo debe ser considerado como una aproximación semicuantitativa, teniendo en cuenta que en la zona del proyecto no se disponen estudios que suministren información precisa sobre las principales fuentes de emisión existentes, externas al proyecto.

Las predicciones halladas por parte de un modelo de dispersión son útiles para identificar fuentes principales, las áreas más sensibles, las fuentes que deben ser objeto de los principales controles, no obstante, no deben tomarse como conclusiones definitivas desde el punto de vista cuantitativo (K-2 Ingeniería S.A.S, 2017).

A continuación se presenta el proceso de calibración que el laboratorio K-2 INGENIERIA S.A.S. utilizó para el desarrollo del modelo de dispersión de los contaminantes criterios (PST, PM₁₀, NO₂, SO₂ y CO). Ver Figura 5.2.1-244.

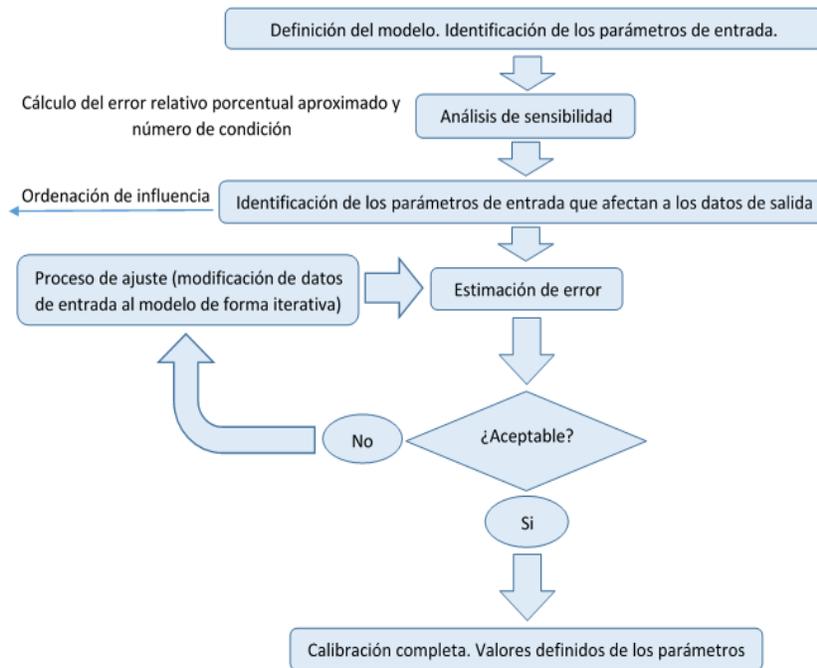


Figura 5.2.1-244 Procedimiento de calibración del modelo.

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017.

A partir de lo anterior, después de varias iteraciones se determinó un factor de calibración para las fuentes simuladas de 1.0 para los contaminantes modelados, gases (NO₂, SO₂ y CO) y material particulado (PST y PM₁₀), por lo cual, no fue necesario realizar ajustes. (K-2 Ingeniería S.A.S, 2017).

5.2.1.20.9.8 Receptores discretos

Teniendo en cuenta que los receptores discretos son los puntos de interés dentro del dominio de modelación que permiten la validación del modelo de dispersión, se incluyen como receptores discretos las estaciones de monitoreo de calidad del aire operadas en 2017 por el laboratorio K2 INGENIERA S.A.S.

El monitoreo se realizó entre el 01 y 20 de Agosto de 2017, como parte de las actividades de caracterización de la calidad del aire en la zona de estudio. Los resultados de laboratorio y análisis de resultados se presentan en el numeral 5.2.1.20.5.

La Tabla 5.2.1-171 y Figura 5.2.1-245 presenta la ubicación de los receptores discretos.

Tabla 5.2.1-171 Georeferenciación de receptores discretos

ID	Ubicación	Magna Sirgas Bogotá	
		Este	Norte
CA1	Patio-Taller	986485,77	1005388,28
CA2	Portal Américas	989623,15	1003658,43
CA3	Villa Blanca	990032,96	1002700
CA4	Kennedy	991009,97	1002242,2
CA5	Palenque	991817,52	1002223,68
CA6	Av Boyacá	993028,87	1002564,52
CA7	Avenida 68	994335,65	1001323,45
CA8	Rosario	994979,81	1000684,49
CA9	NQS	996030,84	1000094,66
CA10	Santander	997991,19	999566,25
CA11	Hospitales	998845	999682,96
CA12	Calle 10-11	999784,5	1000303,44
CA13	Calle 26	1000515,62	1001747,14
CA14	Calle 45	1001128,95	1004127,72
CA15	Calle 52	1001310,79	100502466
CA16	Calle 63	1001307,69	1006035,26
CA17	Calle 72	1001504,93	1006646,53
CA18	Calle 76	1002062,76	1007525,05

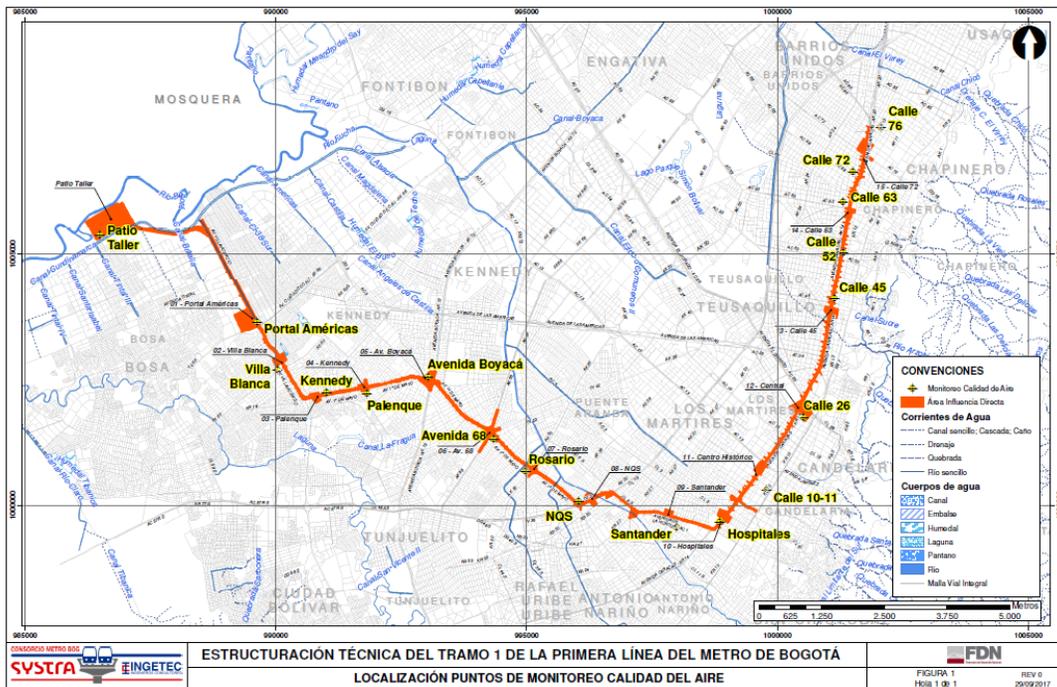


Figura 5.2.1-245 Localización receptores discretos

En el numeral 5.2.1.19 se describen las principales fuentes de emisión identificadas en el área del proyecto a partir de información secundaria obtenida de la SDA en el año 2017.

Adicionalmente, como se mencionó en el numeral 5.2.1.19.1 en el área se identificaron dos sectores de mayor sensibilidad (Sector A. Tranquilidad y Silencio), correspondientes a la zona adyacente a la estación Hospitales y Kennedy, por la presencia de centros de atención a la salud especializada.

5.2.1.20.9.9 Topografía

El pre procesador AERMAP fue alimentado con un modelo digital del terreno SRTM (NASA Shuttle Radar Topographic Mission) la cual fue descargada a través de la web de la Nasa con el uso del software AERMOD.

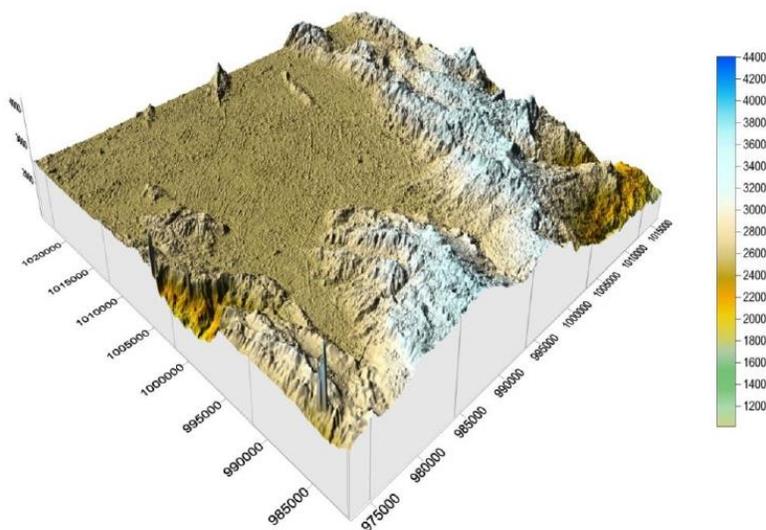


Figura 5.2.1-246 Topografía de la zona
Fuente: K2 INGENIERIA S.A.S.

En el Anexo 5.2.1.3, se presenta el archivo de entrada de terreno utilizado para la modelación.

5.2.1.20.9.10 Meteorología

Para el análisis de dispersión de emisiones se utilizó el modelo de simulación de última generación WRF (Weather Research and Forecasting), por no encontrarse una estación meteorológica de altura en cercanía de las fuentes de emisión evaluadas en este estudio, que presente los parámetros y datos necesarios para modelación con AERMOD. La resolución temporal de los parámetros evaluados está dada por las condiciones topográficas y uso del suelo de la zona. Toda la información empleada en este capítulo corresponde a datos meteorológicos entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

La meteorología WRF corresponde a un modelamiento de datos de un año completo, mientras la meteorología de los monitoreos comprende datos puntuales de superficie con intervalos de tiempo más cortos. Se debe tener presente que la información meteorológica que se muestra en esta sección difiere de los resultados de los monitoreos realizados en campo. AERMOD requiere datos de 8760 horas (un año completo como mínimo) de variables meteorológicas que no son posibles medir con equipos localizados en superficies, como por ejemplo, la altura de mezcla de la troposfera.

Los datos fueron procesados en las tres etapas de AERMET v 15181, el cual fue publicado el 30 de junio de 2015 en la página oficial de la US-EPA. Los archivos entregados son "BOGOTA.SFC" y "BOGOTA.PFL", generados a partir de los archivos "K2_BogotaCund.sam" y "K2_BogotaCund.ua", según la siguiente parametrización en AERMET.

Tabla 5.2.1-172 Parametrización AERMET

ETAPA 1: Extracción	
Upper Air: Intervalo de tiempo (yy/mm/dd): Ubicación de la estación (Grados decimales): Ajuste de tiempo a hora local (ajuste positivo en coord. Oeste):	16/01/01 a 16/12/31 74.119W 4.6N 5
Surface: Intervalo de tiempo (yy/mm/dd): Ubicación de la estación (Grados decimales): Ajuste de tiempo a hora local (ajuste positivo en coord. Oeste):	16/01/01 a 16/12/31 74.119W 4.6N 0
ETAPA 2: Compilación	
Merge: Intervalo de tiempo (yy/mm/dd):	16/01/01 a 16/12/31
ETAPA 3: Preparación de Datos para AERMOD	
Sectores: Numero de sectores: Periodo de sectores:	1 Mensual

Fuente: K2 INGENIERIA S.A.S.

La información meteorológica sectorial utilizada contempla la clasificación del uso de suelo a 3 km a la redonda del punto de origen (ubicación de la estación):

Sector 1 (Rojo): Segmento comprendido entre 0° a 360°, uso de suelos predominantemente residencial de alta intensidad.

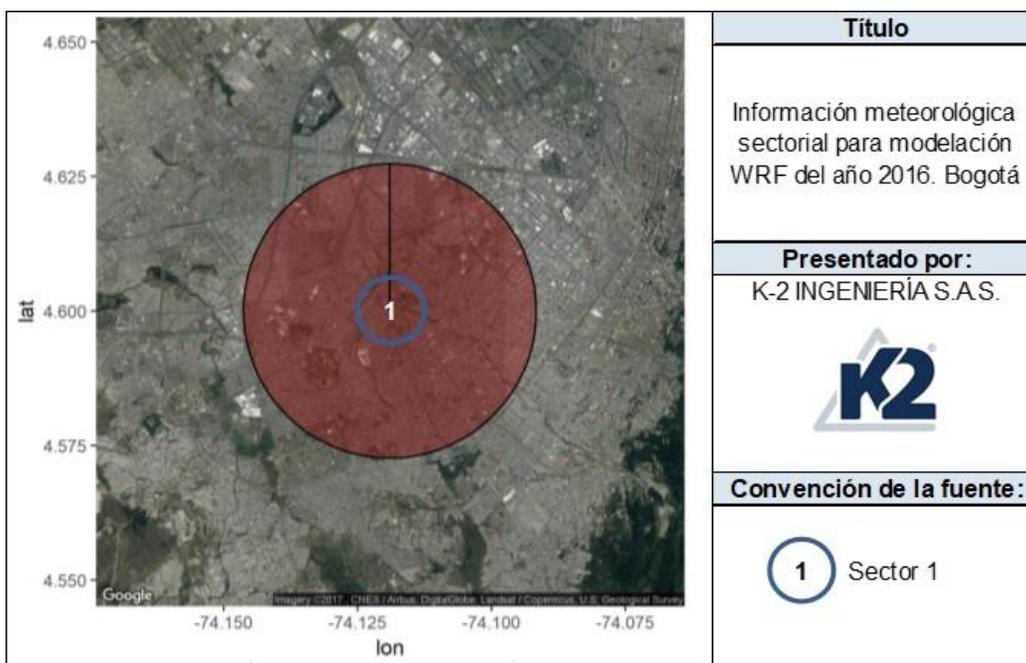


Figura 5.2.1-247. Información meteorológica sectorial WRF

Fuente: K2 INGENIERIA S.A.S.

Para la caracterización del Albedo, Bowen y Rugosidad, se realizó el Climograma de Gausson (ver Figura 5.2.1-248) para determinar si el mes corresponde a un mes seco o a un mes húmedo.

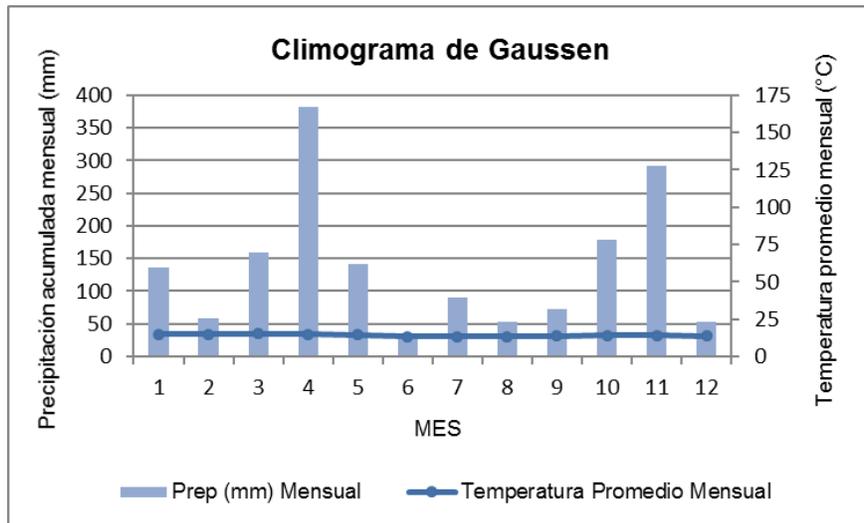


Figura 5.2.1-248. Climograma de Gausson
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

El climograma relaciona la precipitación mensual y la temperatura promedio mensual, donde si la precipitación es menor a dos veces la temperatura, se considera un mes seco. Según dicho climograma, todos los meses se consideraron húmedos, por lo cual se parametrizó AERMET únicamente con condiciones de temporada húmeda.

Los valores de albedo, Bowen y Rugosidad fueron tomados del manual de AERSURFACE, de la US-EPA¹⁴.

Tabla 5.2.1-173 Valores de Albedo, Bowen y Rugosidad

Mes	Sector 1		
	Albedo	Bowen	Rugosidad
1	0,18	1,5	1
2	0,18	1,5	1
3	0,18	1,5	1
4	0,18	1,5	1
5	0,18	1,5	1
6	0,18	1,5	1
7	0,18	1,5	1
8	0,18	1,5	1
9	0,18	1,5	1
10	0,18	1,5	1
11	0,18	1,5	1
12	0,18	1,5	1

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

¹⁴ Manual disponible en: http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aersurface_userguide.pdf

Temperatura

La Figura 5.2.1-249 muestra el comportamiento de la temperatura promedio mensual. A nivel general, se observa que la temperatura media del periodo evaluado es de 14.18 °C con una variación mensual de ± 1.2 °C. La temperatura máxima promedio mensual estimada se presentó durante el mes de marzo de 2016, alcanzando los 15.31 °C; y el registro promedio mínimo mensual fue determinado para el mes de julio con un valor de 13.21 °C.

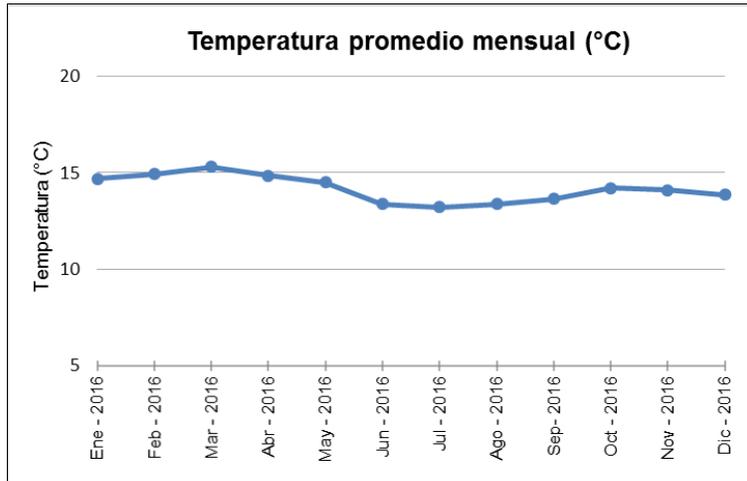


Figura 5.2.1-249. Temperatura promedio mensual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

El perfil de temperatura horario (Figura 5.2.1-250) presenta sus mayores promedios entre las 12 y 15 horas, durante este mismo periodo se esperan valores de radiación solar más elevados

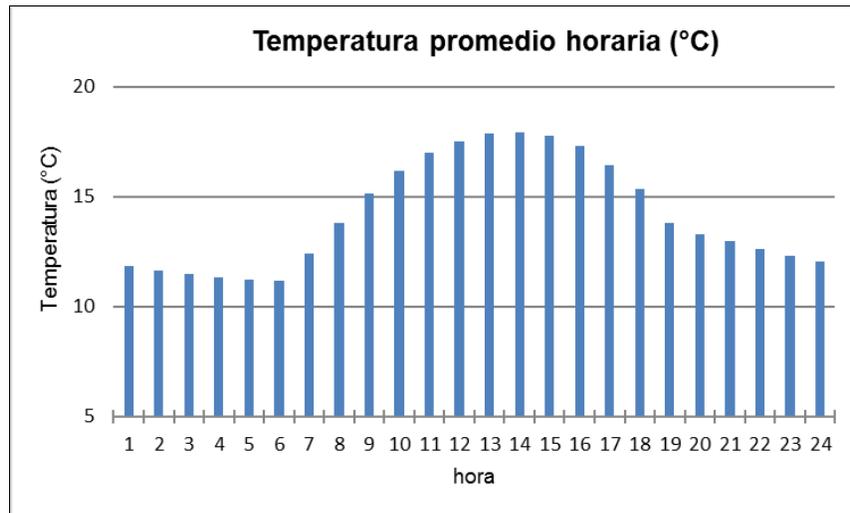


Figura 5.2.1-250. Perfil horario de temperaturas

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La variación del perfil horario de la temperatura se observa en la Figura 5.2.1-251. Las celdas con tonos más fuertes correspondieron a las horas con temperaturas más altas, las cuales oscilaron

desde los 10,35 °C hasta 19,34 °C. La dispersión de contaminantes se genera con mayor facilidad cuando se presentan temperaturas altas asociadas a máximas alturas de mezcla

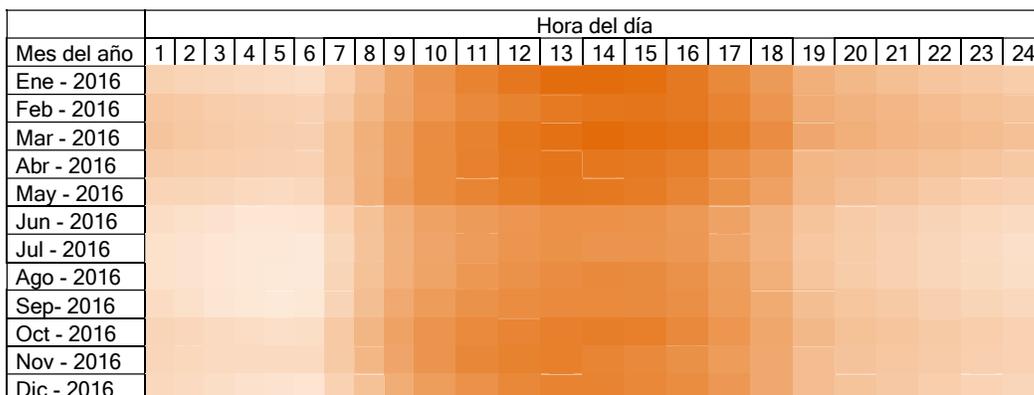


Figura 5.2.1-251. Representación cualitativa de variación de temperatura – perfil horario

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Precipitación

En la Figura 5.2.1-252 se presenta el análisis climatológico mensual para el año 2016 de la variable precipitación, cómo se mencionó anteriormente no se presentan meses secos a lo largo del año. Durante los meses de abril y noviembre se registran las mayores precipitaciones, en abril se aprecia una precipitación acumulada cercana a los 381,95 mm/mes. En los meses con mayores precipitaciones se espera mayor remoción húmeda de material particulado del ambiente.

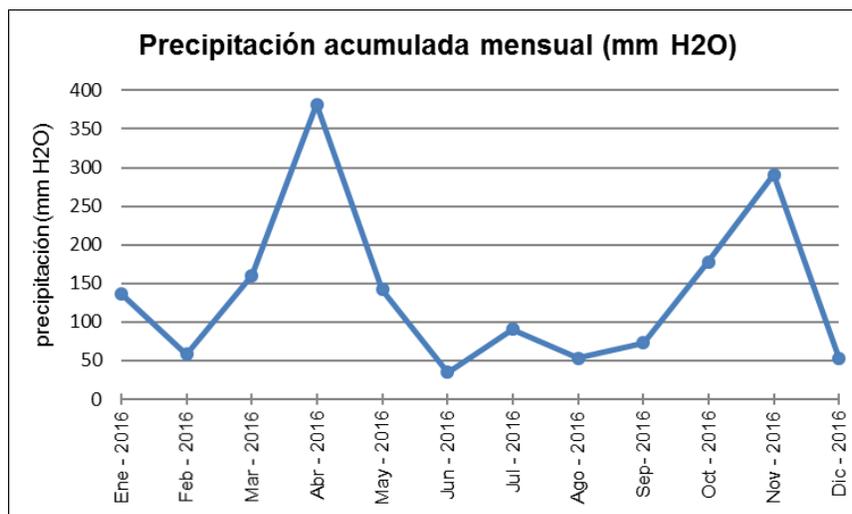


Figura 5.2.1-252. Precipitación acumulada mensual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La Figura 5.2.1-253 contiene las precipitaciones acumuladas horarias para el año 2016. Se indica la tendencia de las lluvias en cada hora del día, siendo la hora 19 en la que se presentaron las

mayores precipitaciones, donde se puede observar una tendencia respecto a la ocurrencia de presentarse las mayores precipitaciones en horas de la noche.

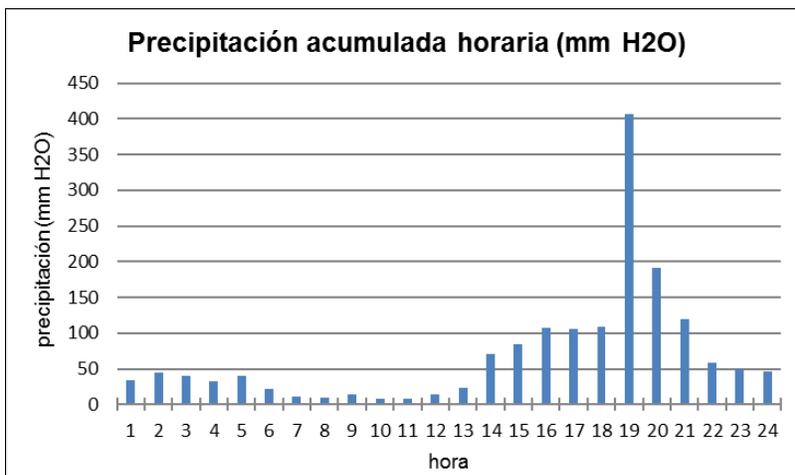


Figura 5.2.1-253. Perfil horario de precipitaciones

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-254 se puede detallar la tendencia de ocurrencia de precipitación por mes y hora. La máxima precipitación fue de 406,9 mm de H₂O. Las celdas con tonos oscuros indican las horas con mayor precipitación las cuales se presentaron en las horas de la noche.

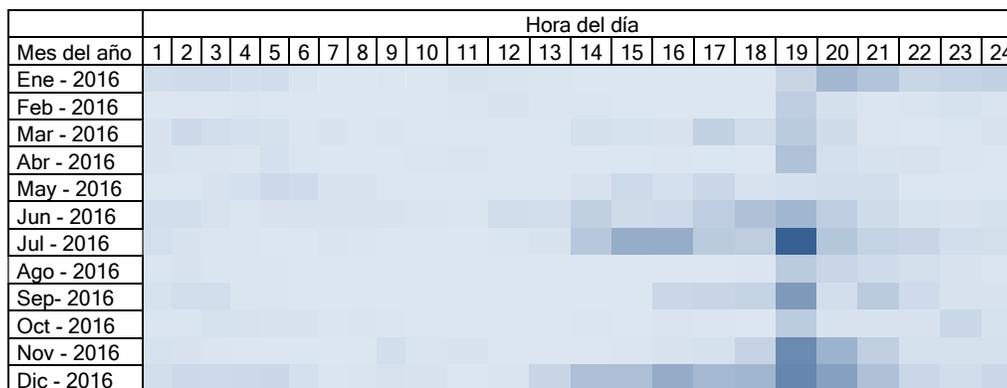


Figura 5.2.1-254. Representación de la tendencia de ocurrencia de precipitaciones- perfil horario

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.

En la Tabla 5.2.1-174 se presenta una escala para dimensionar los niveles de precipitación mensuales registrados.

Tabla 5.2.1-174. Escala de Precipitación

Denominación	Precipitación Mensual (mm)
Escasa	0 – 20
Ligera	21 - 40
Moderada	41 - 80
Fuerte	81 - 200

Denominación	Precipitación Mensual (mm)
Muy Fuerte	201 - 280
Intensa	>281

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente, Dirección de Control Ambiental, Red de monitoreo de Calidad del aire de Bogotá D.C. Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes, 2008.

Dirección y velocidad del viento

En la Figura 5.2.1-255 se presenta la rosa de vientos para el periodo de estudio. El programa procesador, no tiene en cuenta velocidades con valores de cero (0) reportados por la modelación meteorológica WRF, ya que para velocidades cero, no se obtiene dirección.

Se aprecia un componente mayoritario proveniente de la dirección sureste (SE), con un porcentaje de registros de 51.4%. El registro horario de velocidad máxima para el año 2016 fue de 4,53 m/s.

En el periodo evaluado el promedio anual de velocidad del viento es de 3,45 m/s con una variación de $\pm 1,5$ m/s. Existe una marcada predominancia de los vientos catalogados como Brisa suave con el 32,1% de los registros, seguido por aire ligero - 27.7%. Los periodos de calma representan el 1,3% de los registros.

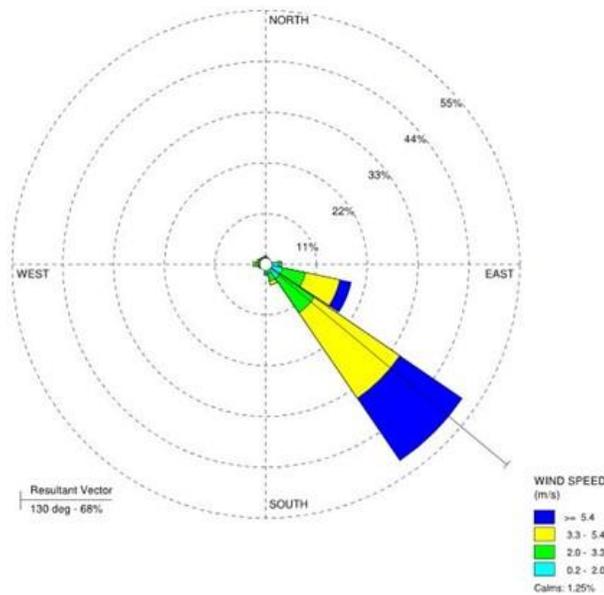


Figura 5.2.1-255. Rosa de Vientos Bogotá 2017
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Tabla 5.2.1-175. Distribución de la frecuencia de vientos

Dirección Viento	Aire Ligero	Brisa Ligera	Brisa Suave	Brisa Moderada	Brisa Fresca	Brisa Fuerte	Viento Fuerte	Temporal	Temporal Fuerte	Total Dirección
	0.2 - 2	2 - 3.3	3.3 - 5.4	5.4 - 7.9	7.9 - 10.8	10.8 - 13.8	13.8 - 16.9	16.9 - 20.5	20.5 - 24.4	
N	1.6%	0.2%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.8%
NNE	1.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.5%
NE	1.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.1%
ENE	1.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.3%
E	2.7%	0.6%	0.1%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	3.5%
ESE	3.7%	5.1%	7.5%	2.5%	0%	0%	0%	0%	0%	18.9%
SE	3.7%	9.0%	22.4%	16.4%	0%	0%	0%	0%	0%	51.4%
SSE	2.1%	1.7%	0.8%	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	4.6%
S	1.9%	0.3%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.3%
SSW	0.9%	0.1%	0.1%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.1%
SW	0.9%	0.2%	0.1%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.2%
WSW	1.1%	0.4%	0.1%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.6%
W	1.5%	0.8%	0.5%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.8%
WNW	1.3%	0.5%	0.4%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.2%
NW	1.2%	0.4%	0.1%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.8%
NNW	1.4%	0.3%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.7%
Total Frec.	27.7%	20.0%	32.1%	19.0%	0%	0%	0%	0%	0%	98.7%
									Calmas	1.3%
									Perdidos	0%
									Total	100%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

La

Tabla 5.2.1-176 detalla la escala de Beaufort que clasifica y dimensiona los valores de velocidad de viento obtenidos por WRF.

Tabla 5.2.1-176. Escala de velocidad del viento Beaufort

Denominación	Velocidad del viento (m/s)		
Calma	0,0	-	0,2
Ventolina	0,3	-	1,5
Brisa suave	1,6	-	3,3
Brisa leve	3,4	-	5,4
Brisa moderada	5,5	-	7,9
Brisa fresca	8,0	-	10,8
Brisa fuerte	10,9	-	13,8
Viento fuerte	13,9	-	16,9
Viento duro	17,0	-	20,5
Muy duro	20,6	-	24,1
Temporal	24,2	-	28,3
Borrasca	28,4	-	32,6
Huracán	32,7	-	

Fuente: Universidad de Buenos Aires, Departamento de Geografía. La Observación meteorológica.

En la Figura 5.2.1-256 se muestra el comportamiento de la velocidad promedio mensual para el área del proyecto. Las velocidades más altas se presentan en febrero (4,5 m/s) y los meses de mitad de año (4,1-4,53 m/s), mientras los promedios más bajos se observan entre octubre (2,51 m/s) y noviembre (2,16 m/s).

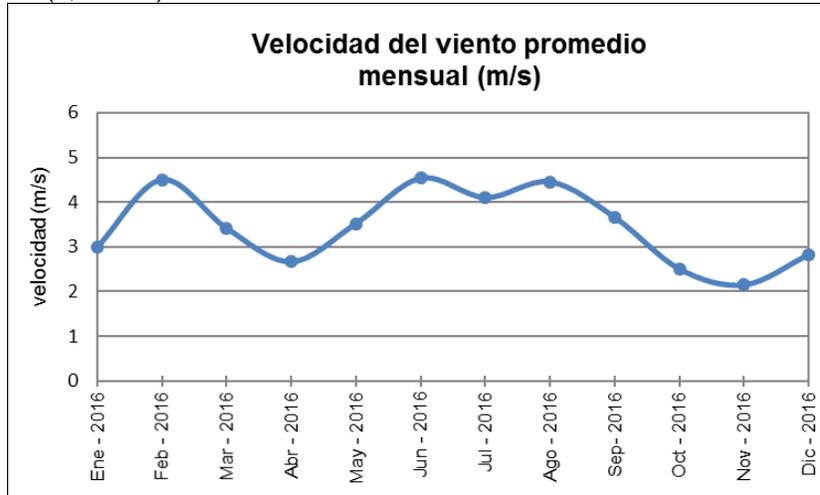


Figura 5.2.1-256. Velocidad del viento promedio mensual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La tendencia de vientos horaria presenta las más altas velocidades entre las horas 9 a 17 (9:00 A.M – 5:00 P.M), con velocidades superiores a 4 m/s. Esta condición hace posible el arrastre de los contaminantes, cuanto mayor sea la velocidad del viento mayor será la dispersión de los contaminantes. Por otra parte, los límites inferiores (velocidades por debajo de 3 m/s) se establecen alrededor de las 21 a 6 horas (9:00 P.M – 6:00 A.M).

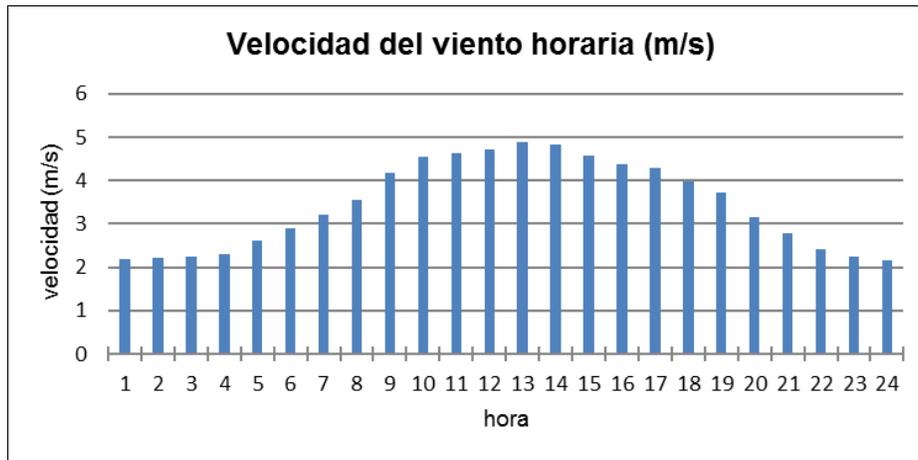


Figura 5.2.1-257. Perfil horario de velocidades
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La variación de la velocidad del viento como perfil horario por mes se muestra en la Figura 5.2.1-258. Las velocidades se presentaron en un rango de 1,19 m/s hasta 6,52 m/s, siendo las velocidades más altas las representadas con tonos de celda más fuertes. Con relación a esta

gráfica, en el mes de febrero y junio se presentaron los valores más altos de velocidades del viento.



Figura 5.2.1-258. Representación cualitativa de variación de velocidad del viento- perfil horario

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Nubosidad

Los meses en que se presentó mayor nubosidad fueron abril/2016 (4.04 octas) y noviembre/2016 (3,85 octas), para el resto de meses la nubosidad fue menor a 3 octas, como se puede ver en la Figura 5.2.1-259. Se presentó nubosidad superior entre las horas 20 y 23 (8:00 P.M. – 11:00 P.M.) mientras que el resto de horas presentaron nubosidad menor a 3 octas, ver Figura 5.2.1-260.

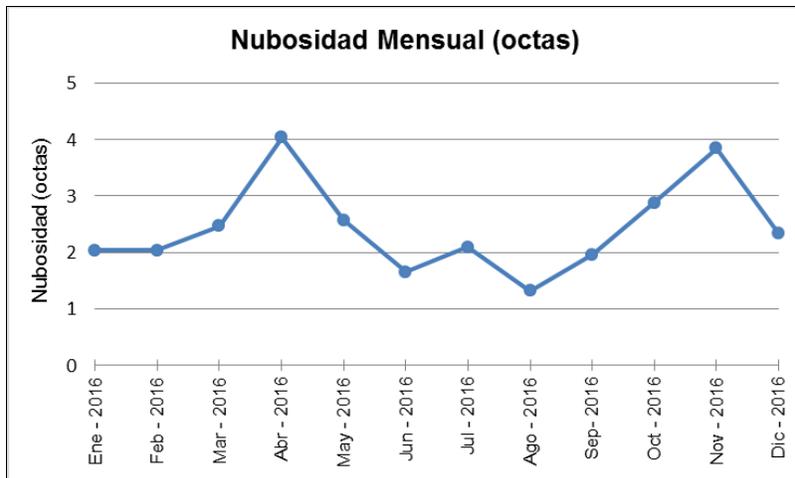


Figura 5.2.1-259. Nubosidad promedio mensual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

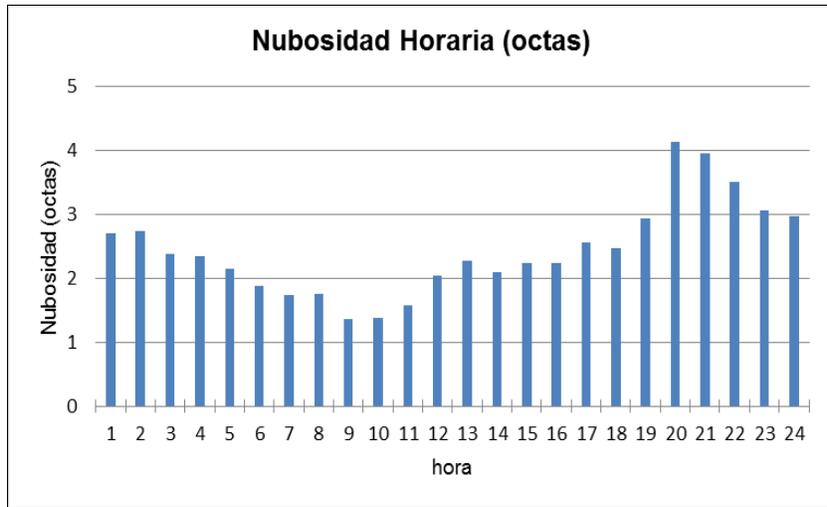


Figura 5.2.1-260. Perfil horario de Nubosidad
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para tener mayor idea de lo que representa esta unidad (octas), se debe tener presente que 8 octas corresponde a cielo totalmente nublado y que a mayor nubosidad se presenta menor radiación solar.

Humedad relativa

La humedad relativa mensual vario entre 68,38 % hasta 75,32% presentándose en el mes de enero el porcentaje de humedad más bajo. (Ver Figura 5.2.1-261).

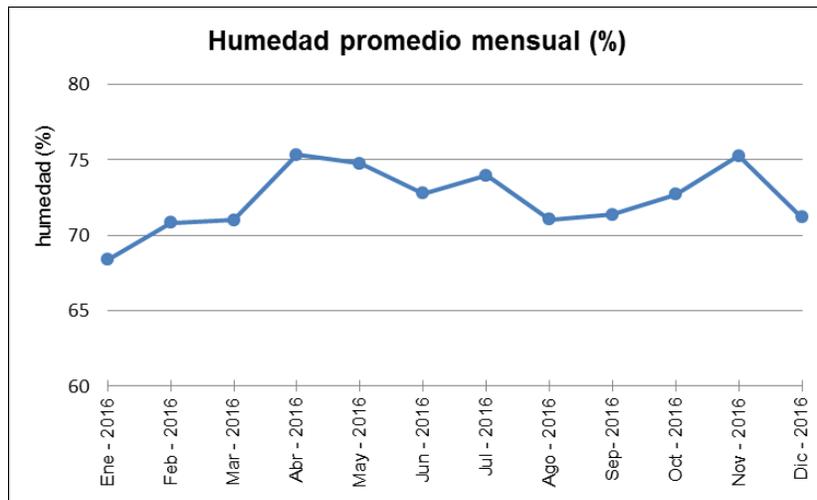


Figura 5.2.1-261. Humedad relativa promedio mensual

El perfil horario de humedad relativa presenta los valores de menor valor desde la hora 10 hasta la 16 debido a que en este rango de tiempo se obtienen los valores de temperaturas más altos. Por el contrario, los valores más altos se presentaron en las horas de la noche hasta la hora 6 (6:00 A.M), con un valor máximo de 85,45% en la hora 4 (4:00 A.M). (Ver Figura 5.2.1-262).

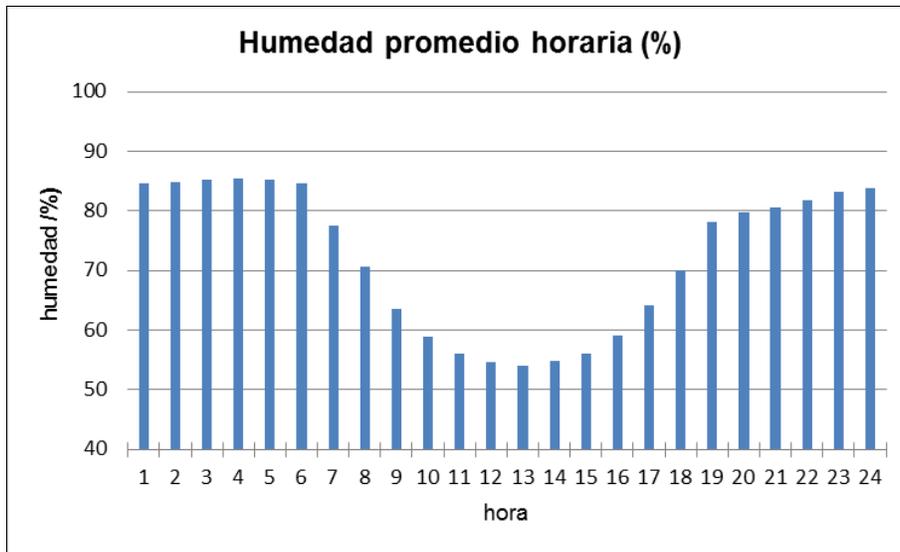


Figura 5.2.1-262. Perfil horario de humedad relativa
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-263 muestra de manera gráfica la variación de la humedad relativa teniendo en cuenta el perfil horario por mes. Los valores más bajos corresponden a las celdas con todos más claros y los más oscuros a las a los valores de mayor humedad.



Figura 5.2.1-263. Representación cualitativa de variación de la humedad relativa- perfil horario
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Presión barométrica

La presión barométrica registrada durante este periodo de medición estuvo entre los 740,12 mmHg y 741,74 mmHg. Estos valores muestran que no se presentaron grandes cambios en esta variable meteorológica, dejando en claro un comportamiento constante ya que las diferencias entre un día y otro no fueron mayores a los 2 mmHg.

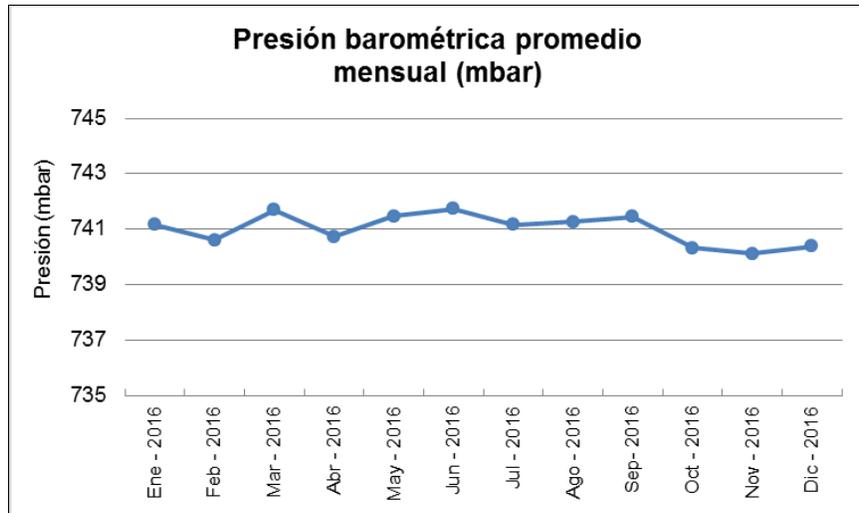


Figura 5.2.1-264. Presión promedio mensual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

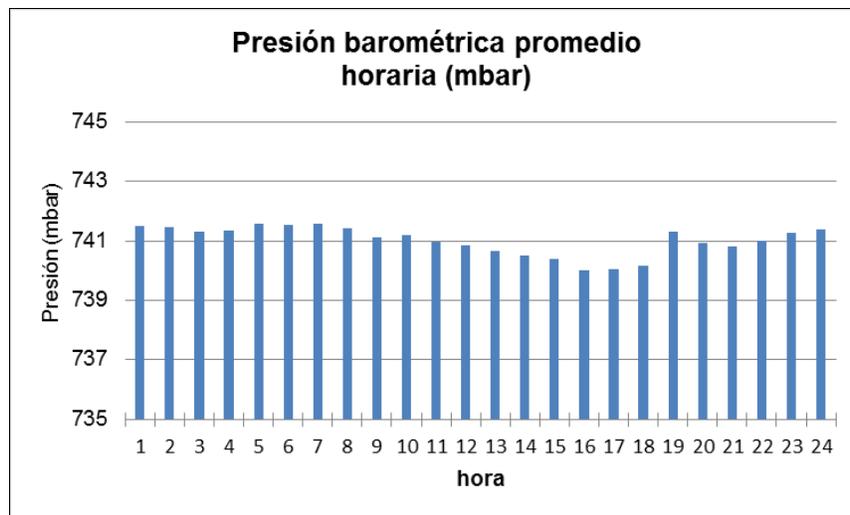


Figura 5.2.1-265. Perfil horario de presión
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Altura de mezcla

La altura de la capa de mezcla constituye un parámetro básico en la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos, por cuanto es la zona inferior de la atmósfera donde ocurre fundamentalmente el transporte turbulento de masa y energía y donde los contaminantes se trasladan e interaccionan.

La altura de la capa de mezcla es la altura de la capa adyacente a la tierra en la que los contaminantes se dispersan verticalmente por convección o por turbulencia mecánica en un período de aproximadamente una hora, es decir, la elevación sobre la superficie hasta la cual se considera que ocurre un mezclado vertical vigoroso de los gases en la atmósfera.

En otras palabras, la altura de la capa de mezcla representa el grado de dispersión de los contaminantes. En este sentido, entre mayor sea la altura de mezcla mayor será la dispersión de los contaminantes. En la Figura 5.2.1-266 se presenta la altura de mezcla calculada a partir de la modelación meteorológica WRF para el año 2016; como puede observarse en la figura en las últimas horas de la tarde se alcanzan las mayores alturas de mezcla y en las horas de noche y madrugada las más bajas, es donde se presenta la mayor estabilidad atmosférica, donde los valores de mezcla son bajos.

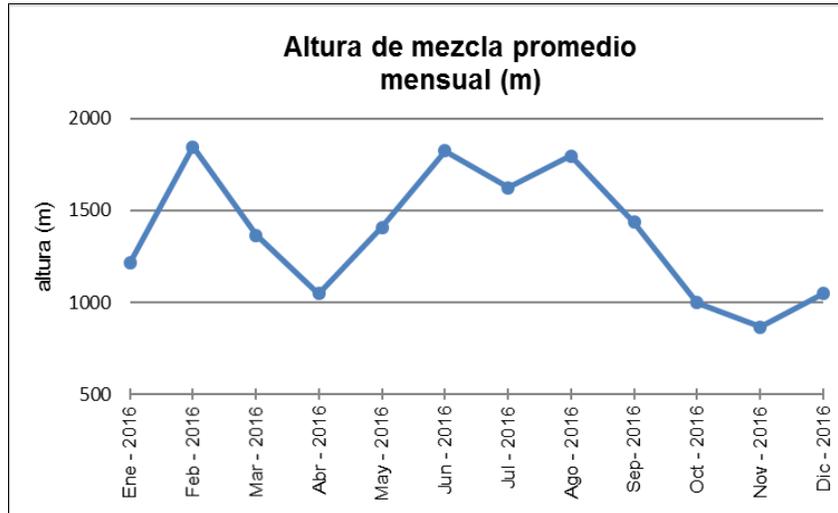


Figura 5.2.1-266. Altura de mezcla mensual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.9.11 Factores de emisión

De acuerdo con las fuentes identificadas y las actividades realizadas, se definen las ecuaciones que permiten estimar los factores de emisión con base en el Documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América - EPA, que contiene factores de emisión e información de procesos para más de 200 categorías de fuentes contaminantes (una categoría es un sector de la industria específico o un grupo de fuentes similares).

La Tabla 5.2.1-177 presenta la ecuación utilizada para el cálculo del factor de emisión de PM₁₀ de los escenarios 1 y 3 y la Tabla 5.2.1-178 presenta las ecuaciones utilizadas para el cálculo del factor de emisión de PM₁₀ del escenario 2 (Construcción).

Tabla 5.2.1-177. Factores de emisión para PM₁₀ Escenario Línea Base y Operación

Operación	Actividad	Factor de Emisión	Unidades
Transporte de Autos, buses, camiones y motos	Transporte en vías pavimentadas	$k'(sL)^{0.91}(W)^{1.02}\left(1 - \frac{P}{4N}\right)^*$	kg PM ₁₀ /VKT

Fuente: AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors and National Pollutant Inventory - NPI

Tabla 5.2.1-178. Factores de emisión para PM₁₀ Escenario construcción

Operación	Actividad	Factor de Emisión	Unidades
Manejo de Materiales	Remoción o empuje (Bulldozing)	$0.75 \times 0.45 \times \left[\frac{(s)^{1.5}}{(M)^{1.4}} \right]$	kg PM10/h
	Cargue y descargue	$k \times 0.0016 \times \left[\frac{(U/2.2)^{1.3}}{(M/2)^{1.4}} \right]$	kg PM ₁₀ /Mg
	Perforación	0.31	Kg PM10/Hoyos
Transporte de materiales	Transporte de materiales de vías	$k'(sL)^{0.91} W \left(1 - \frac{P}{4N} \right)^*$	kg PM ₁₀ /VKT
Actividades de construcción de vías	Construcción de Vías	0.42	kg PM ₁₀ /acres/mes

Fuente: AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors y National Pollutant Inventory - NPI

Dónde:

- a. b. c. d. k: Constantes Empíricas (ad).
- b': Días de almacenamiento o exposición del material (días).
- c': Días secos en el año (días).
- C: Factor de emisión en flota vehicular para: escape, uso de frenos y desgaste de neumáticos (lb/VMT).
- CE: Eficiencia de control de polvo en vías no pavimentadas. (%).
- d': Altura media de descarga. (m).
- e: % de tiempo con viento >5.33 m/s. (%).
- k': Multiplicador de tamaño de partícula (ad).
- M: Contenido de humedad del material manejado. (%).
- p: Número de días en el año con mínimo 0.254 mm de lluvia (días).
- s: Contenido de finos (pasa malla 200) del material manejado o de la superficie de las vías. (%).
- S: Velocidad promedio del vehículo (km/h).
- sL: Carga de finos (pasa malla 200) del material manejado o de la superficie de las vías. (g/m²).
- U: Velocidad del viento (m/s).
- W: Peso promedio de los vehículos (toneladas cortas).
- PM₁₀: Material Particulado con diámetro aerodinámico inferior a 10 µm.
- VKT: Kilómetros viajados por un vehículo (km).
- *: Se utiliza un factor multiplicador de 2.8185x10⁻¹ para convertir de lb/VMT a kg/VKT
- ** : Se utiliza un factor multiplicador de 1.1219x10⁻⁴ para convertir de lb/Acre a kg/m²

Para la determinación de los factores de emisión de PM_{2,5}, la Tabla 5.2.1-179 presenta la ecuación utilizada en los escenarios 1 y 3, y la Tabla 5.2.1-180 se presentan las ecuaciones aplicadas al escenario 2.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-179. Factores de emisión para PM_{2.5} Escenario Línea Base y Operación

Operación	Actividad	Factor de Emisión	Unidades
Transporte de Autos, buses, camiones y motos	Transporte en vías pavimentadas	$k'(sL)^{0.91}(W)^{1.02}\left(1 - \frac{P}{4N}\right)^*$	kg PM ₁₀ /VKT

Fuente: AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors y National Pollutant Inventory - NPI

Tabla 5.2.1-180. Factores de emisión para PM_{2.5} Escenario Construcción

Operación	Actividad	Factor de Emisión	Unidades
Manejo de Materiales	Remoción o empuje (Bulldozing)	$0.75 \times 0.45 \times \left[\frac{(s)^{1.5}}{(M)^{1.4}} \right]$	kg PM _{2.5} /h
	Cargue y descargue	$k' \times 0.0016 \times \left[\frac{(U/2.2)^{1.3}}{(M/2)^{1.4}} \right]$	kg PM _{2.5} /Mg
	Perforación	0.1643	Kg PM _{2.5} /Hoyos
Transporte de materiales	Transporte de materiales en vías	$k'(sL)^{0.91}W\left(1 - \frac{P}{4N}\right)^*$	kg PM _{2.5} /VKT
Actividades de construcción de vías	Construcción de Vías	0.22	kg PM _{2.5} /acres/mes

Fuente: AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors y National Pollutant Inventory - NPI

Dónde:

- a. b. c. d. k: Constantes Empíricas (ad).
- b': Días de almacenamiento o exposición del material (días).
- c': Días secos en el año (días).
- C: Factor de emisión en flota vehicular para: escape. Uso de frenos y desgaste de neumáticos (lb/VMT).
- CE: Eficiencia de control de polvo en vías no pavimentadas. (%).
- d': Altura media de descarga. (m).
- k': Multiplicador de tamaño de partícula (ad).
- M: Contenido de humedad del material manejado. (%).
- p: Número de días en el año con mínimo 0.254 mm de lluvia (días).
- s: Contenido de finos (pasa malla 200) del material manejado o de la superficie de las vías. (%).
- S: Velocidad promedio del vehículo (km/h).
- sL: Carga de finos (pasa malla 200) del material manejado o de la superficie de las vías. (g/m²).
- U: Velocidad del viento. (m/s).

W: Peso promedio de los vehículos (toneladas cortas).

PST: Partículas suspendidas totales, llamadas también TSP por su sigla en inglés.

VKT: Kilómetros viajados por un vehículo (km).

*: Se utiliza un factor multiplicador de 2.8185×10^{-1} para convertir de lb/VMT a kg/VKT

** : Se utiliza un factor multiplicador de 1.1219×10^{-4} para convertir de lb/Acre a kg/m^2

La Tabla 5.2.1-181 se presentan factores de emisión relacionados a otras actividades tanto para material particulado como para NO₂, SO₂, CO y VOC, es importante aclarar que las emisiones de VOC en los equipos fuera de vía se calcularon como HC (hidrocarburos totales) debido a la inexistencia del factor de emisión para esta actividad.

Tabla 5.2.1-181. Factores de emisión relacionados a otras actividades

Actividad	Factor de Emisión	Unidades
Tubo de escape equipos en vías	Software Mobile 6.2	g/Vehículo-milla
Combustión interna equipos fuera de vías	$(BSFC \cdot (1 - soxcnv) - HC) \cdot soxds \cdot 2$ *	g/hp-h
	$LF \cdot P \cdot EF$ **	g/h

Fuente: AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors y National Pollutant Inventory - NPI

Dónde:

BSFC: Consumo ajustado de combustible, lb/hp-h

soxcnv: Fracción de azufre en el diésel convertida de forma directa a PM.

soxds: Máximo porcentaje en peso de azufre en combustible diésel permitido en Colombia, 50 ppm (Ley 1205. 14 de julio de 2008 – 47.050 Diario oficial).

HC: Emisiones de hidrocarburo ajustadas, (g/hp-h)

LF: Factor de carga, (%).

P: Potencia del motor, (hp).

EF: Factor de emisión, (g/hp-h).

* Ecuación aplica sólo para estimación de emisiones de SO₂.

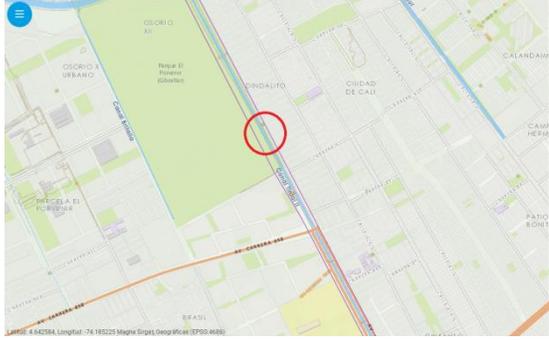
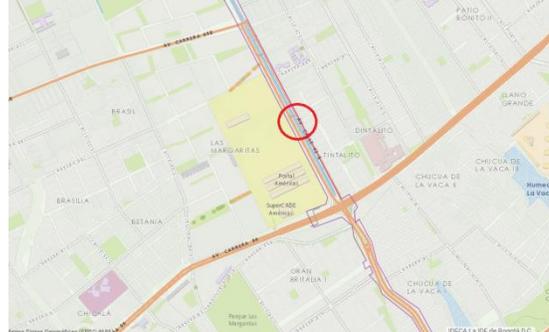
** Ecuación aplica para estimación de emisiones de PM₁₀, NO₂ y CO.

5.2.1.20.9.12 Variables operativas aplicadas

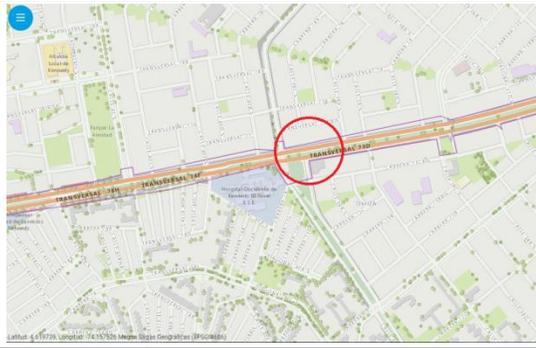
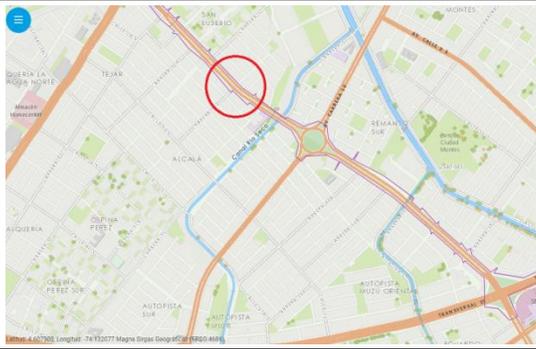
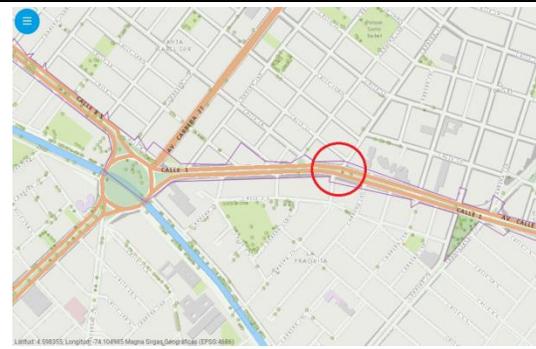
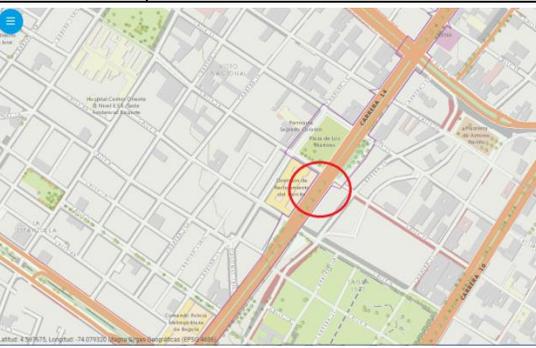
La Tabla 5.2.1-182 presenta la descripción de los tramos viales localizados en el área del proyecto, los cuales se identifican como fuentes de emisión lineal aplicados en los escenarios línea base, operación y construcción. Las figuras corresponden a sectores específicos de las vías, no obstante estas representan el estado y tipo general de las vías en todo el trazado.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-182 Descripción tramos línea base y operación

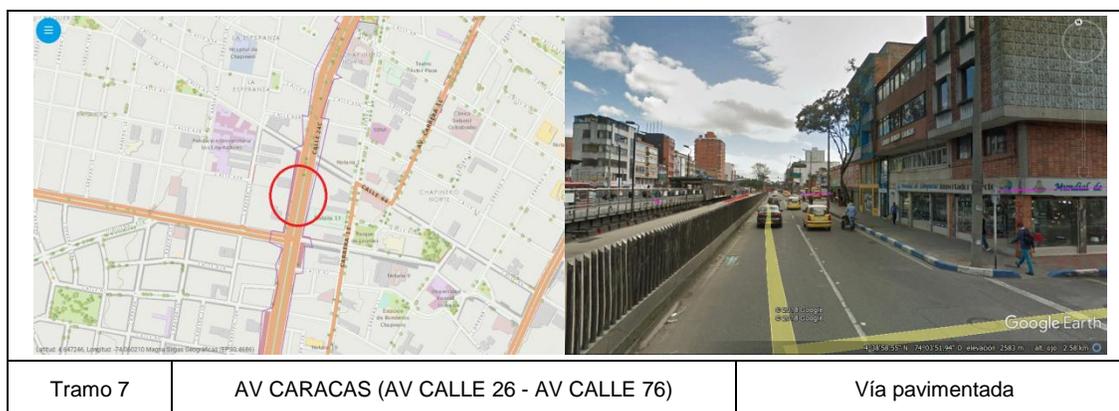
		
<p>Tramo 1a</p>	<p>AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)</p>	<p>Vía no pavimentada desde la ALO hasta la Carrera 89 b.</p>
		
<p>Tramo 1b</p>	<p>AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)</p>	<p>Vía pavimentada entre Carrera 89 b hasta la Av. Primero de mayo</p>
		
<p>Tramo 2</p>	<p>AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)</p>	<p>Vía pavimentada</p>

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

		<p>Tramo 3 AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS) Vía pavimentada</p>
		<p>Tramo 4 AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR) Vía pavimentada</p>
		<p>Tramo 5 AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS) Vía pavimentada</p>
		<p>Tramo 6 AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26) Vía pavimentada</p>

LÍNEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



A partir de las ecuaciones extraídas del Documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América – EPA, a continuación se presentan las variables operativas de proyecto utilizadas para la estimación de las emisiones atmosféricas de cada uno de los escenarios.

Escenario Línea Base y Operación:

Con el fin de encontrar la relación más adecuada entre los datos de entrada al modelo y los datos observados en campo, a continuación se presentan las características del tráfico promedio diario obtenidas del aforo vehicular adelantado por Ingetec y algunas características granulométricas de las vías consideradas en la modelación.

Como se mencionó anteriormente, La Tabla 5.2.1-183 presenta los resultados obtenidos del aforo vehicular realizado por Ingetec en el año 2017.

Tabla 5.2.1-183 Resultados aforo vehicular

Tramo		Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
TRAMO 1	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	8.797	2.719	1.389	6.547	19.452
		W - E	15.268	2.261	2.020	9.626	29.175
		Total	24.065	4.980	3.409	16.173	48.627
		%	49	10	7	33	100
TRAMO 2	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	26.737	2.790	610	8.915	39.052
		W - E	29.875	3.917	1.123	13.685	48.600
		Total	56.612	6.707	1.733	22.600	87.652
		%	65	8	2	26	100
TRAMO 3	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	23.517	6.160	2.330	13.139	45.146
		W - E	23.161	5.492	2.297	12.192	43.142
		Total	46.678	11.652	4.627	25.331	88.288
		%	53	13	5	29	100
TRAMO 4	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	46.153	1.509	3.516	18.118	69.296
		N-S (BRT)	0	1.805	0	0	1.805
		S-N (Mixtos)	42.119	1.608	2.675	22.436	68.838

LINEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-
L16.5-ITE-I-001_R4



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tramo		Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
		S-N (BRT)	0	1.819	0	0	1.819
		Total	88.272	6.741	6.191	40.554	141.758
		%	62	5	4	29	100
	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	8.287	369	451	2.180	11.287
		W - E	12.474	284	650	3.015	16.423
		Total	20.761	653	1.101	5.195	27.710
	%	75	2	4	19	100	
TRAMO 5	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	E - W	10.024	951	596	5.097	16.668
		W - E	19.199	1.041	776	6.751	27.767
		Total	29.223	1.992	1.372	11.848	44.435
		%	66	4	3	27	100
TRAMO 6	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	19.244	99	922	13.490	33.755
		N-S (BRT)	0	2.528	0	0	2.528
		S-N (Mixtos)	16.765	150	781	11.264	28.960
		S-N (BRT)	0	2.692	0	0	2.692
		Total	36.009	5.469	1.703	24.754	67.935
		%	53	8	3	36	100
TRAMO 7	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	17.612	86	577	9.587	27.862
		N-S (BRT)	0	4.122	0	0	4.122
		S-N (Mixtos)	17.891	80	458	11.090	29.519
		S-N (BRT)	0	3.940	0	0	3.940
		Total	35.503	8.228	1.035	20.677	65.443
		%	54	13	2	32	100
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	19.265	65	580	11.022	30.932
		N-S (BRT)	0	4.194	0	0	4.194
		S-N (Mixtos)	13.873	54	660	11.084	25.671
		S-N (BRT)	0	3.626	0	0	3.626
		Total	33.138	7.939	1.240	22.106	64.423
		%	51	12	2	34	100

Fuente: INGETEC, 2017.

Del total de buses aforados en el Tramo 7, en cada sección el 12% corresponden a buses de tipo Transmilenio.

Para el escenario de Operación, se elaboró la proyección del tránsito a partir de la tasa promedio de crecimiento de la ciudad. La Tabla 5.2.1-184 presenta los resultados obtenidos.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-184 Proyección de tránsito – Escenario Operación

Tramo		Sentido De Circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
TRAMO 1	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	19.361	5.985	3.058	14.409	42.813
		W - E	33.605	4.975	4.446	21.187	64.213
		Total	52.966	10.960	7.504	35.596	107.026
		%	49	10	7	33	100
TRAMO 2	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	58.845	6.142	1.341	19.621	85.949
		W - E	65.753	8.621	2.472	30.118	106.964
		Total	124.598	14.763	3.813	49.739	192.913
		%	65	8	2	26	100
TRAMO 3	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	51.761	13.557	5.129	28.918	99.365
		W - E	50.976	12.088	5.055	26.834	94.953
		Total	102.737	25.645	10.184	55.752	194.318
		%	53	13	5	29	100
TRAMO 4	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	107.240	3.507	8.169	42.097	161.013
		N-S (BRT)	0	1.805	0	0	1.805
		S-N (Mixtos)	97.866	3.735	6.216	52.131	159.948
		S-N (BRT)	0	1.819	0	0	1.819
		Total	205.106	10.866	14.385	94.228	324.585
		%	63	3	4	29	100
	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	19.254	856	1.047	5.066	26.223
		W - E	28.984	660	1.510	7.007	38.161
		Total	48.238	1.516	2.557	12.073	64.384
		%	75	2	4	19	100
TRAMO 5	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	E - W	34.936	3.312	2.077	11.842	52.167
		W - E	66.915	3.627	2.703	23.530	96.775
		Total	101.851	6.939	4.780	35.372	148.942
		%	68	5	3	24	100
TRAMO 6	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	42.355	219	2.029	29.691	74.294
		N-S (BRT)	0	2.528	0	0	2.528
		S-N (Mixtos)	36.898	330	1.719	24.791	63.738
		S-N (BRT)	0	2.692	0	0	2.692
		Total	79.253	5.769	3.748	54.482	143.252
		%	55	4	3	38	100
		30% mixto ¹⁵	23.776	5.769	1.124	16.345	47.014
%	51	12	2	35	100		
TRAMO 7	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	18.515	0	351	6.899	25.765
		N-S (BRT)	0	4.122	0	0	4.122

¹⁵ En el escenario de Operación se asume que el 30% de los vehículos mixtos proyectados circularan en la Avenida Caracas y el total de los buses proyectados.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tramo		Sentido De Circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
		S-N (Mixtos)	18.810	0	186	3.932	22.928
		S-N (BRT)	0	3.940	0	0	3.940
		Total	37.325	8.062	537	10.831	56.755
		%	66	14	1	19	100
		30% mixto	11.198	8.062	161	3.249	22.670
		%	49	36	1	14	100
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	16.263	0	332	4.833	21.428
		N-S (BRT)	0	4.194	0	0	4.194
		S-N (Mixtos)	11.285	0	335	33.373	44.993
		S-N (BRT)	0	3.626	0	0	3.626
		Total	27.548	7.820	667	38.206	74.241
		%	37	11	1	51	100
	30% mixto	8.264	7.820	200	11.462	27.746	
	%	30	28	1	41	100	

Fuente: INGETEC, 2017.

En la proyección, del total de buses obtenidos en el Tramo 7, en cada sección el 14% y el 11% corresponden a buses de tipo Transmilenio, respectivamente.

La tabla anterior presenta la proyección vehicular considerando el 100% y el 30% del tráfico sobre la avenida Caracas, se debe tener en cuenta que esta información se utiliza para obtener el aporte de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) en el trazado del proyecto.

Adicionalmente, a partir de información secundaria se estimaron las características de peso promedio vehicular y se determinó la velocidad promedio de la flota vehicular en la ciudad del Bogotá, esta información se presenta en la Tabla 5.2.1-185

Tabla 5.2.1-185 Características de la flota vehicular

Tipo de vehículo	Peso Promedio (short ton)	Velocidad promedio (km/h)
Buses	16,25	25
Camiones	18,74	25
Autos	1,14	25
Motos	0,15	25

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., modificado por METROBOG 2017.

La velocidad promedio en la ciudad de Bogotá se determinó de acuerdo con el informe de movilidad "Bogotá como vamos" (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017).

Los escenarios de Línea Base y Operación se modelaron para un periodo de 365 días (un año).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Escenario Construcción:

Para este escenario se cuentan con dos grupos de fuentes de emisión catalogadas como Fuentes del proyecto (Emisiones atribuibles únicamente a la construcción de la PLMB) y Fuentes externas (Tráfico promedio diario proyectado en las vías existentes), independiente de las jornadas de operación.

- Fuentes del proyecto:

Con el fin de representar la dispersión de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) y gases (NO_x, SO_x, CO y COV), a partir de la descripción del proyecto (Ver Capítulo 3), se determinan las actividades constructivas del proyecto y maquinaria asociada durante su ejecución por frente de obra (ver Tabla 5.2.1-186).

Tabla 5.2.1-186 Actividades constructivas y maquinaria asociada – Escenario de Construcción

Zona	Actividad	Maquinaria
PATIO-TALLER	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de camiones de material (Nivelación, granular) Combustión interna equipos fuera de vías	Retroexcavadora
		Minicargador
		Vibrocompactador
		Retroexcavadora sobre orugas
		Moto niveladora
		Cargador
		Bulldozer
COLUMNAS	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de materiales (relleno, material granular y concretos) Perforación Combustión interna equipos fuera de vías	Retroexcavadora
		Retroexcavadora sobre orugas
		Motoniveladora
		Bulldozer
		Volquetas
		Martillo Neumático
CONSTRUCCIÓN DE VÍAS	Remoción de suelos Cargue de material Actividades de construcción de vías Combustión interna equipos fuera de vías Transporte de material	Retroexcavadora
		Retroexcavadora sobre orugas
		Grúa de brazo telescópico
		Benitin 120
		Terminador de asfalto
		Viga lanzadora
		Motoniveladora
		Bulldozer
Volquetas		
ESTACIONES	Remoción de suelos Cargue de material Descargue de materiales (suelos, concreto) Tubo de escape equipos en vías	Retroexcavadora
		Retroexcavadora sobre orugas
		Moto niveladora
		Cargador
		Bulldozer
VÍAS PUBLICAS	Tránsito de vehículos	Volquetas
		Motos
		Autos
		Buses
		Camiones

Entre la maquinaria asociada a la construcción del proyecto no se incluye el uso de piloteadora, dado que los pilotes del proyecto serán de tipo pre excavado.

La Tabla 5.2.1-187 presenta las características de potencia de cada tipo de maquinaria que se podría utilizar en el proyecto durante la fase de construcción.

Tabla 5.2.1-187 Equipos principales para la construcción

Equipos	Potencia (Kw)	Potencia (Hp)
Retrocargador	68,6	92
Retroexcavadora Sobre Orugas	131,98	177
Grúa Autopropulsada De Brazo Telescópico Con Una Capacidad De Elevación De 30 T Y 27 M De Altura Máxima De Trabajo	209,98	281,6
Motoniveladora	141,68	190
Benitin120	59,9	80,46
Terminadora De Asfalto	118,99	159,58
Compactador De Llantas	97,99	131,42
Minicargador	52,19	70
Vibrocompactador Patecabra	96,94	130
Vibrocompactador	74,56	100
Compresor	36,54	49
Fresado De Pavimento	428,78	575
Martillo Neumático 60 Lb	58,16	78
Viga Lanzadora	410,88	551

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017).

En la Tabla 5.2.1-188 se presentan las características de peso y capacidad de las volquetas y mixer que podrían ser utilizados durante la construcción del proyecto.

Tabla 5.2.1-188 Características Flota vehicular construcción

Flota para Transporte	Tipo	Peso (short ton)		Capacidad de carga (m³)
		Vacío	Lleno	
Materiales	Volqueta	7	13,9	7
	Mixer	13	35	7

De acuerdo con la descripción del proyecto (Capítulo 3), durante la etapa de construcción el trazado de 24 Km serán distribuidos en dos tramos, el primero con cuatro secciones y el segundo con dos secciones, como se presenta en la Figura 5.2.1-267.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

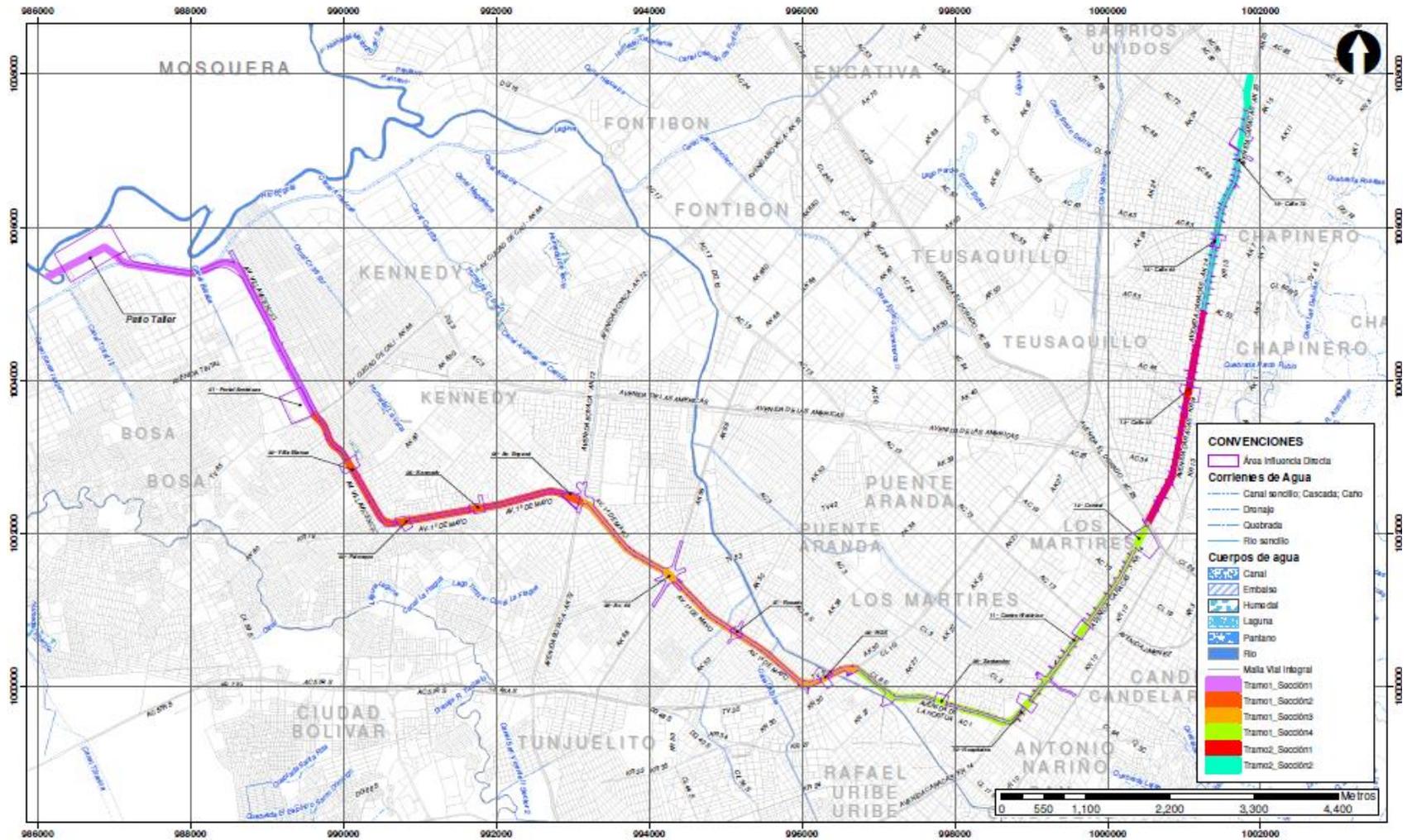


Figura 5.2.1-267 Fase constructiva del proyecto – Tramos y secciones

LINEA BASE
 REV.4,04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-
 001_R4



A partir de lo anterior, la Tabla 5.2.1-189, presenta el flujo vehicular del transporte de materiales en las vías habilitadas para el proyecto, es decir, sin tráfico vehicular externo.

Tabla 5.2.1-189 Parámetros en vías de acceso en el transporte de materiales

Tramo	Longitud vía (km)	Transporte de Materiales
		Flujo Vehicular (Número de vehículos por tramo)
Tramo 1 sección 1	4,88	477.381
Tramo 1 sección 2	4,31	2.584
Tramo 1 sección 3	4,52	27.102
Tramo 1 sección 4	5,34	31.979
Tramo 2 sección 1	2,89	23.071
Tramo 2 sección 2	2,7	21.602

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017).

Respecto a los manejos de materiales generados y obtenidos durante la fase de construcción del proyecto, la Tabla 5.2.1-190 presenta la estimación del movimiento total de materiales en cada uno de los tramos y secciones designados para este escenario.

Tabla 5.2.1-190 Volúmenes de materiales por año (m3)

Actividad	Tramo 1_Sección 1	Tramo 1_Sección 2	Tramo 1_Sección 3	Tramo 1_Sección 4	Tramo 2_Sección 1	Tramo 2_Sección 2
Excavaciones	111,977.12	98,925.07	103,758.66	122,427.69	88,325.69	82,699.05
Descapote	17,830.20	15,751.91	16,521.57	19,494.25	14,064.16	13,168.23
Demolición	11,500.00	10,159.56	10,655.97	12,573.27	9,071.01	8,493.16
Relleno Material Granular	35,659.79	31,503.28	33,042.57	38,987.83	28,127.85	26,336.01
Concretos	43,715.27	38,619.82	40,506.82	47,795.11	34,481.87	32,285.26
Asfaltos	4,424.27	3,908.58	4,099.55	4,837.18	3,489.79	3,267.48
TOTAL	225,106.65	198,868.22	208,585.14	246,115.34	177,560.38	166,249.19

Fuente: INGETEC S.A., 2017.

El material a utilizar en las actividades mencionadas anteriormente será distribuido en tres fuentes (estaciones, vías y columnas) conforme a los porcentajes de la Tabla 5.2.1-191.

Tabla 5.2.1-191 Porcentaje (%) de material por fuente

Fuente	Tramo 1_Sección 1	Tramo 1_Sección 2	Tramo 1_Sección 3	Tramo 1_Sección 4	Tramo 2_Sección 1	Tramo 2_Sección 2
Estaciones	10	40	35	45	32	45
Vías	68	35	38	25	47	36
Columnas	22	25	27	30	21	19

Fuente: INGETEC S.A.

Por otra parte, en la Tabla 5.2.1-192 se especifica el movimiento de materiales estimado para el área del Patio-Taller.

Tabla 5.2.1-192 Volúmenes Patio-Taller [m3]

Tipo de material	m ³
Descapote	60,000
Demolición	181,129.2

Tipo de material	m ³
Relleno Nivelación	2,340,000
Relleno Material Granular	180,000

Fuente: INGETEC S.A., 2017.

A partir de lo anterior, las fuentes de emisión para este escenario son consideradas como Fuentes de Área, por lo cual en la Tabla 5.2.1-193 se presentan los valores de área de cada tramo segregado por el tipo de construcción a desarrollar (Patio-Taller, Estaciones, Vías, Columnas).

Tabla 5.2.1-193 Áreas de las fuentes evaluadas

Construcción	m ²
Área Patio-Taller	313767
Área estaciones tramo 1 sección 1	15648,29
Área estaciones tramo 1 sección 2	92142,28
Área estaciones tramo 1 sección 3	18289,85
Área estaciones tramo 1 sección 4	48807,53
Área estaciones tramo 2 sección 1	22958,61
Área estaciones tramo 2 sección 2	52705,44
Área vías tramo 1 sección 1	37540,16
Área vías tramo 1 sección 2	43098,57
Área vías tramo 1 sección 3	45354,57
Área vías tramo 1 sección 4	53495,61
Área vías tramo 2 sección 1	28876,57
Área vías tramo 2 sección 2	31453,97
Área Columnas tramo 1 sección 1	107,45
Área Columnas tramo 1 sección 2	122,1
Área Columnas tramo 1 sección 3	131,87
Área Columnas tramo 1 sección 4	146,52
Área Columnas tramo 2 sección 1	102,56
Área Columnas tramo 2 sección 2	92,8

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017)

- Fuentes externas:

Se considera como fuente de emisión externa las emisiones derivadas del flujo vehicular promedio diario en los carriles habilitados durante la etapa constructiva del proyecto. En la Tabla 5.2.1-194 se presenta la proyección del tránsito desarrollada a partir de la tasa promedio de crecimiento de la ciudad.

Tabla 5.2.1-194 Proyección tráfico promedio diario – Escenario Construcción

Tramo		Sentido De Circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
TRAMO 1	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	10.448	3.229	1.650	7.776	23.103
		W - E	18.134	2.685	2.399	11.433	34.651
		Total	28.582	5.914	4.049	19.209	57.754
		%	49	10	7	33	100

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tramo		Sentido De Circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
TRAMO 2	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	31.755	3.314	724	10.588	46.381
		W - E	35.482	4.652	1.334	16.253	57.721
		Total	67.237	7.966	2.058	26.841	104.102
		%	65	8	2	26	100
TRAMO 3	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	27.931	7.319	2.767	15.605	53.622
		W - E	27.508	6.523	2.728	14.480	51.239
		Total	55.439	13.842	5.495	30.085	104.861
		%	53	13	5	29	100
TRAMO 4	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	55.294	1.808	4.212	21.706	83.020
		N-S (BRT)	0	1.805	0	0	1.805
		S-N (Mixtos)	50.461	1.926	3.205	26.879	82.471
		S-N (BRT)	0	1.819	0	0	1.819
		Total	105.755	7.358	7.417	48.585	169.115
		%	63	4	4	29	100
	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	9.928	442	540	2.612	13.522
		W - E	14.944	340	779	3.612	19.675
		Total	24.872	782	1.319	6.224	33.197
		%	75	2	4	19	100
TRAMO 5	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	E - W	18.013	1.708	1.071	6.106	26.898
		W - E	34.501	1.870	1.395	12.132	49.898
		Total	52.514	3.578	2.466	18.238	76.796
		%	68	5	3	24	100
TRAMO 6	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	22.856	118	1.095	16.022	40.091
		N-S (BRT)	0	2.528	0	0	2.528
		S-N (Mixtos)	19.912	178	928	13.378	34.396
		S-N (BRT)	0	2.692	0	0	2.692
		Total	42.768	5.516	2.023	29.400	79.707
		%	54	7	3	37	100
TRAMO 7	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	9.546	0	181	3.557	13.284
		N-S (BRT)	0	4.122	0	0	4.122
		S-N (Mixtos)	6.089	0	96	2.028	8.213
		S-N (BRT)	0	3.940	0	0	3.940
		Total	15.635	8.062	277	5.585	29.559
		%	53	27	1	19	100
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	8.385	0	171	2.492	11.048
		N-S (BRT)	0	4.194	0	0	4.194
		S-N (Mixtos)	5.819	0	173	1.721	7.713
		S-N (BRT)	0	3.626	0	0	3.626
		Total	14.204	7.820	344	4.213	26.581
		%	53	29	1	16	100

Las características de peso y velocidad promedio asignadas a la flota vehicular para este escenario cumplen con las mismas características presentadas para escenario Línea Base y Operación (Tabla 5.2.1-185).

Adicionalmente, en la Tabla 5.2.1-195 se presentan los parámetros utilizados para el cálculo de los factores de emisión con las ecuaciones del Documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América – EPA.

Tabla 5.2.1-195 Parámetros para el cálculo de emisiones

Datos de actividades y materiales	Unidades	Valor
Densidad	g/cm ³	2,17
Contenido de limos de los materiales (S)	%	6,9
Contenido de humedad de materiales	%	32,59
Días de lluvia con precipitación mayor a 0.254 mm	días/periodo	198
Velocidad promedio del viento	m/s	3,45
Porcentaje de tiempo con velocidad del viento mayor a 5.36 m/s	%	19,02
Número de días de trabajo	Días/periodo	246
Número de meses modelados	Meses/periodo	12
Horas trabajadas en el periodo	Horas	2112

Fuente: INGETEC S.A., 2017.

5.2.1.20.9.13 Sistemas de control de emisiones atmosféricas

Teniendo en cuenta que el control de polvo es indispensable para preservar la calidad del aire, durante la fase de construcción del proyecto, se postulan los siguientes sistemas de control aplicables en el proyecto, ver Tabla 5.2.1-196.

Tabla 5.2.1-196. Estrategias de Control de Emisiones

Actividad	Eficiencia media del control de emisiones	Descripción
1. OPERACIONES DE MANEJO DE MATERIALES		
1.1 Remoción y empuje (bulldozing)	40%	Humectación del material de forma natural o artificial
1.2 Descargue	50%	Rociadores de agua

Los porcentajes de control de emisiones según la actividad fueron tomados del NPI (*National Pollutant Inventory*) con referencia a actividades de construcción ajustando lo descrito en el programa de manejo de emisiones atmosféricas.

5.2.1.20.9.14 Emisiones de gases y material particulado

A continuación se presentan las emisiones estimadas para los escenarios de modelación (Línea base, construcción y operación), aplicadas al modelo de dispersión. Es de resaltar que las emisiones de cada uno de los escenarios se estimaron para las condiciones más críticas posibles.

- Escenarios Línea Base

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

A continuación se presentan las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} estimadas para cada una de las fuentes lineales (vías) identificadas.

Tabla 5.2.1-197 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM₁₀

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	48.627	2,65	2,15274
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	87.652	0,84	2,30264
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	973 ¹⁶	37,25	1,10084
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	68 ¹⁷	37,25	0,09996
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	88.288	0,68	2,70175
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	141.758	0,42	0,51736
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	27.710	5,60	1,04984
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	44.435	1,29	1,06187
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	67.935	1,99	5,02850
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	65.443	0,40	0,84207
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	64.423	1,17	2,36276

Fuente: INGETEC, 2018.

Tabla 5.2.1-198 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM_{2,5}

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	48.627	0,64	0,5208
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	87.652	0,20	0,5571
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	973 ¹⁶	3,10	0,0917
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	68 ¹⁷	3,10	0,0083

¹⁶ Se asume el 2% de la flota vehicular total aforada en el mismo tramo.

¹⁷ Se asume el 2% del total de los camiones aforados en el punto Av Villavicencio (ALO - Av Primero de Mayo)

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	88.288	0,16	0,65365
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	141.758	0,10	0,12517
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	27.710	1,35	0,25399
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	44.435	0,31	0,25690
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	67.935	0,48	1,21657
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	65.443	0,10	0,20373
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	64.423	0,28	0,57163

Fuente: INGETEC, 2018.

En la siguiente tabla se presentan las emisiones estimadas a las fuentes móviles, obtenidas mediante el uso de la herramienta Modelo IVE versión 2.0.

Tabla 5.2.1-199 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos)

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	8.797,00	2.719,00	1.389,00	6.547,00	19.452,00
	W - E	15.268,00	2.261,00	2.020,00	9.626,00	29.175,00
	Total/día	24.065,00	4.980,00	3.409,00	16.173,00	48.627,00
	Total/hr	1.002,71	207,50	142,04	673,88	2.026,13
	Total paradas (vh*semaf)	7.018,96	1.452,50	994,29	4.717,13	14.182,88
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.453,93	300,88	205,96	977,12	2.937,88
	EMISION CO	2,86	0,64	0,38	58,49	62,37
	EMISION VOC	0,85	0,27	0,14	9,71	10,98
	EMISION NO2	0,74	0,16	0,11	3,70	4,70
	EMISION SO2	0,0006	0,0001	0,0001	0,0003	0,0011
	EMISION PM	0,37	0,22	0,06	0,44	1,10
AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	26.737,00	2.790,00	610,00	8.915,00	39.052,00
	W - E	29.875,00	3.917,00	1.123,00	13.685,00	48.600,00
	Total/día	56.612,00	6.707,00	1.733,00	22.600,00	87.652,00
	Total/hr	2.358,83	279,46	72,21	941,67	3.652,17
	Total paradas (vh*semaf)	18.870,67	2.235,67	577,67	7.533,33	29.217,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	6.368,85	754,54	194,96	2.542,50	9.860,85
	EMISION CO	8,02	1,03	0,23	98,74	108,02
	EMISION VOC	2,48	0,46	0,09	16,73	19,75
	EMISION NO2	2,92	0,36	0,09	6,00	9,37
	EMISION SO2	0,0024	0,0003	0,0000	0,0007	0,0034

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
	EMISION PM	1,06	0,37	0,04	0,74	2,21
AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	23.517,00	6.160,00	2.330,00	13.139,00	45.146,00
	W - E	23.161,00	5.492,00	2.297,00	12.192,00	43.142,00
	Total/día	46.678,00	11.652,00	4.627,00	25.331,00	88.288,00
	Total/hr	1.944,92	485,50	192,79	1.055,46	3.678,67
	Total paradas (vh*semaf)	15.559,33	3.884,00	1.542,33	8.443,67	29.429,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	7.565,73	1.888,60	749,96	4.105,73	14.310,01
	EMISION CO	6,94	1,87	0,64	117,48	126,93
	EMISION VOC	2,22	0,86	0,25	20,31	23,65
	EMISION NO2	3,28	0,85	0,33	6,85	11,30
	EMISION SO2	0,0027	0,0006	0,0002	0,0010	0,0045
	EMISION PM	0,94	0,69	0,12	0,88	2,63
AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	46.153,00	1.509,00	3.516,00	18.118,00	69.296,00
	N-S (BRT)	-	1.805,00	-	-	1.805,00
	S-N (Mixtos)	42.119,00	1.608,00	2.675,00	22.436,00	68.838,00
	S-N (BRT)	-	1.819,00	-	-	1.819,00
	Total/día	88.272,00	6.741,00	6.191,00	40.554,00	141.758,00
	Total/hr	3.678,00	280,88	257,96	1.689,75	5.906,58
	Total paradas (vh*semaf)	3.678,00	280,88	257,96	1.689,75	5.906,58
	Distancia recorrida (Km recorridos)	2.758,50	210,66	193,47	1.267,31	4.429,94
	EMISION CO	1,77	0,15	0,12	25,93	27,96
	EMISION VOC	0,60	0,07	0,05	4,62	5,34
	EMISION NO2	1,14	0,09	0,08	1,41	2,72
	EMISION SO2	0,0009	0,0001	0,0000	0,0003	0,0013
	EMISION PM	0,25	0,06	0,02	0,19	0,52
AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	8.287,00	369,00	451,00	2.180,00	11.287,00
	W - E	12.474,00	284,00	650,00	3.015,00	16.423,00
	Total/día	20.761,00	653,00	1.101,00	5.195,00	27.710,00
	Total/hr	865,04	27,21	45,88	216,46	1.154,58
	Total paradas (vh*semaf)	865,04	27,21	45,88	216,46	1.154,58
	Distancia recorrida (Km recorridos)	510,37	16,05	27,07	127,71	681,20
	EMISION CO	0,40	0,01	0,02	3,13	3,56
	EMISION VOC	0,13	0,01	0,01	0,55	0,69
	EMISION NO2	0,22	0,01	0,01	0,18	0,41
	EMISION SO2	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
	EMISION PM	0,06	0,01	0,00	0,02	0,09
AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV	E - W	10.024,00	951,00	596,00	5.097,00	16.668,00
	W - E	19.199,00	1.041,00	776,00	6.751,00	27.767,00

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
CARACAS)	Total/día	29.223,00	1.992,00	1.372,00	11.848,00	44.435,00
	Total/hr	1.217,63	83,00	57,17	493,67	1.851,46
	Total paradas (vh*semaf)	9.741,00	664,00	457,33	3.949,33	14.811,67
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.960,38	133,63	92,04	794,80	2.980,85
	EMISION CO	3,96	0,29	0,17	48,84	53,27
	EMISION VOC	1,18	0,13	0,06	8,10	9,47
	EMISION NO2	1,00	0,07	0,05	3,10	4,22
	EMISION SO2	0,0009	0,0001	0,0000	0,0003	0,0012
	EMISION PM	0,51	0,10	0,03	0,37	1,01
AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	19.244,00	99,00	922,00	13.490,00	33.755,00
	N-S (BRT)	-	2.528,00	-	-	2.528,00
	S-N (Mixtos)	16.765,00	150,00	781,00	11.264,00	28.960,00
	S-N (BRT)	-	2.692,00	-	-	2.692,00
	Total/día	36.009,00	5.469,00	1.703,00	24.754,00	67.935,00
	Total/hr	1.500,38	227,88	70,96	1.031,42	2.830,63
	Total paradas (vh*semaf)	16.504,13	2.506,63	780,54	11.345,58	31.136,88
	Distancia recorrida (Km recorridos)	4.816,20	731,48	227,78	3.310,85	9.086,31
	EMISION CO	6,91	1,13	0,31	145,90	154,25
	EMISION VOC	2,11	0,50	0,11	24,55	27,28
	EMISION NO2	2,27	0,36	0,11	8,99	11,72
	EMISION SO2	0,0019	0,0003	0,0001	0,0009	0,0032
	EMISION PM	0,90	0,41	0,05	1,10	2,46
AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	17.612,00	86,00	577,00	9.587,00	27.862,00
	N-S (BRT)	-	4.122,00	-	-	4.122,00
	S-N (Mixtos)	17.891,00	80,00	458,00	11.090,00	29.519,00
	S-N (BRT)	-	3.940,00	-	-	3.940,00
	Total/día	35.503,00	8.228,00	1.035,00	20.677,00	65.443,00
	Total/hr	1.479,29	342,83	43,13	861,54	2.726,79
	Total paradas (vh*semaf)	22.189,38	2.742,67	345,00	6.892,33	21.814,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	4.112,43	953,08	119,89	2.395,09	7.580,48
	EMISION CO	8,97	1,26	0,25	90,71	101,18
	EMISION VOC	2,66	0,56	0,09	15,39	18,70
	EMISION NO2	2,15	0,45	0,06	5,50	8,16
	EMISION SO2	0,0019	0,0003	0,0000	0,0007	0,0029
	EMISION PM	1,14	0,46	0,04	0,68	2,32
AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	19.265,00	65,00	580,00	11.022,00	30.932,00
	N-S (BRT)	-	4.194,00	-	-	4.194,00
	S-N (Mixtos)	13.873,00	54,00	660,00	11.084,00	25.671,00

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
	S-N (BRT)	-	3.626,00	-	-	3.626,00
	Total/día	33.138,00	7.939,00	1.240,00	22.106,00	64.423,00
	Total/hr	1.380,75	330,79	51,67	921,08	2.684,29
	Total paradas (vh*semaf)	17.949,75	4.300,29	671,67	11.974,08	34.895,79
	Distancia recorrida (Km recorridos)	3.741,83	896,45	140,02	2.496,14	7.274,43
	EMISION CO	7,31	1,89	0,26	148,56	158,02
	EMISION VOC	2,18	0,81	0,09	24,66	27,76
	EMISION NO2	1,90	0,47	0,07	9,39	11,84
	EMISION SO2	0,0016	0,0004	0,0000	0,0008	0,0028
	EMISION PM	0,94	0,66	0,04	1,13	2,77

Fuente: INGETEC, 2018.

- Escenario Operación

A continuación se presentan las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} estimadas para cada una de las fuentes lineales (vías) identificadas.

Tabla 5.2.1-200 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con la reducción del 70% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM₁₀

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	107.026	2,65	4,73810
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	192.913	0,84	5,06787
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	2.141	37,25	2,42291
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	150	37,25	0,22061
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	194.318	0,68	5,94644
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	324.585	0,36	1,02097
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	64.384	5,60	2,43931
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	148.942	1,40	3,88695
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	47.014	2,34	4,09822
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	22.670	0,85	0,62174
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	27.746	2,06	1,78873

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-201 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con el 100% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM₁₀

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	107.026	2,65	4,73810
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	192.913	0,84	5,06787
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	2.141	37,25	2,42291
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	150	37,25	0,22061
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	194.318	0,68	5,94644
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	324.585	0,36	1,02097
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	64.384	5,60	2,43931
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	148.942	1,40	3,88695
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	143.252	1,49	7,93211
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	56.755	0,41	0,75213
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	74.241	0,98	2,26907

Fuente: METROBOG 2018.

Tabla 5.2.1-202 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con la reducción del 70% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM_{2,5}

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	107.026	0,64	1,1463
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	192.913	0,20	1,2261
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	2.141	3,10	0,2019
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	150	3,10	0,0184
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	194.318	0,16	1,43865
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	324.585	0,09	0,24701

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	64.384	1,35	0,59015
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	148.942	0,34	0,94039
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	47.014	0,57	0,99151
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	22.670	0,21	0,15042
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	27.746	0,50	0,43276

Fuente: METROBOG 2018.

Tabla 5.2.1-203 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) con el 100% del tráfico sobre la Av. Caracas – PM_{2.5}

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	107.026	0,64	1,1463
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	192.913	0,20	1,2261
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	2.141	3,10	0,2019
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	150	3,10	0,0184
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	194.318	0,16	1,43865
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	324.585	0,09	0,24701
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	64.384	1,35	0,59015
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	148.942	0,34	0,94039
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	143.252	0,36	1,91906
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	56.755	0,24	0,43153
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	74.241	0,24	0,54897

Fuente: METROBOG 2018.

A continuación se presentan las emisiones de material particulado de las fuentes móviles estimadas a partir del uso de la herramienta Modelo IVE versión 2.0.

Tabla 5.2.1-204 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos)

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	19.361,00	5.985,00	3.058,00	14.409,00	42.813,00
	W - E	33.605,00	4.975,00	4.446,00	21.187,00	64.213,00
	Total/día	52.966,00	10.960,00	7.504,00	35.596,00	107.026,00
	Total/hr	2.206,92	456,67	312,67	1.483,17	4.459,42
	Total paradas (vh*semaf)	22.069,17	4.566,67	3.126,67	14.831,67	44.594,17
	Distancia recorrida (Km recorridos)	3.200,03	662,17	453,37	2.150,59	6.466,15
	EMISION PM	1,11	0,68	0,20	1,36	3,35
AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	58.845,00	6.142,00	1.341,00	19.621,00	85.949,00
	W - E	65.753,00	8.621,00	2.472,00	30.118,00	106.964,00
	Total/día	124.598,00	14.763,00	3.813,00	49.739,00	192.913,00
	Total/hr	5.191,58	615,13	158,88	2.072,46	8.038,04
	Total paradas (vh*semaf)	41.532,67	4.921,00	1.271,00	16.579,67	64.304,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	14.017,28	1.660,84	428,96	5.595,64	21.702,71
	EMISION PM	0,03	0,81	0,09	1,64	2,57
AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	51.761,00	13.557,00	5.129,00	28.918,00	99.365,00
	W - E	50.976,00	12.088,00	5.055,00	26.834,00	94.953,00
	Total/día	102.737,00	25.645,00	10.184,00	55.752,00	194.318,00
	Total/hr	4.280,71	1.068,54	424,33	2.323,00	8.096,58
	Total paradas (vh*semaf)	29.964,96	4.274,17	1.697,33	9.292,00	32.386,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	16.651,96	4.156,63	1.650,66	9.036,47	31.495,71
	EMISION PM	1,88	0,94	0,23	1,14	4,19
AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	107.240,00	3.507,00	8.169,00	42.097,00	161.013,00
	N-S (BRT)	-	1.805,00	-	-	1.805,00
	S-N (Mixtos)	97.866,00	3.735,00	6.216,00	52.131,00	159.948,00
	S-N (BRT)	-	1.819,00	-	-	1.819,00
	Total/día	205.106,00	10.866,00	14.385,00	94.228,00	324.585,00
	Total/hr	8.546,08	452,75	599,38	3.926,17	100,00
	Total paradas (vh*semaf)	8.546,08	452,75	599,38	3.926,17	100,00
	Distancia recorrida (Km recorridos)	6.409,56	339,56	449,53	2.944,63	75,00
EMISION PM	0,00	0,09	0,05	0,45	0,59	
AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	19.254,00	856,00	1.047,00	5.066,00	26.223,00
	W - E	28.984,00	660,00	1.510,00	7.007,00	38.161,00
	Total/día	48.238,00	1.516,00	2.557,00	12.073,00	64.384,00
	Total/hr	2.009,92	63,17	106,54	503,04	2.682,67
	Total paradas (vh*semaf)	2.009,92	63,17	106,54	503,04	2.682,67
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.185,85	37,27	62,86	296,79	1.582,77
	EMISION PM	0,13	0,01	0,01	0,05	0,20

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente lineal	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	E - W	34.936,00	3.312,00	2.077,00	11.842,00	52.167,00
	W - E	66.915,00	3.627,00	2.703,00	23.530,00	96.775,00
	Total/día	101.851,00	6.939,00	4.780,00	35.372,00	148.942,00
	Total/hr	4.243,79	289,13	199,17	1.473,83	6.205,92
	Total paradas (vh*semaf)	33.950,33	2.313,00	1.593,33	11.790,67	49.647,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	6.832,50	465,49	320,66	2.372,87	9.991,53
	EMISION PM	1,76	0,36	0,10	1,11	3,33
AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	42.355,00	219,00	2.029,00	29.691,00	74.294,00
	N-S (BRT)	-	2.528,00	-	-	2.528,00
	S-N (Mixtos)	36.898,00	330,00	1.719,00	24.791,00	63.738,00
	S-N (BRT)	-	2.692,00	-	-	2.692,00
	Total/día	23.775,90	5.769,00	1.124,40	16.344,60	47.013,90
	Total/hr	990,66	240,38	46,85	681,03	1.958,91
	Total paradas (vh*semaf)	10.897,29	2.644,13	515,35	7.491,28	21.548,04
	Distancia recorrida (Km recorridos)	3.180,03	771,60	150,39	2.186,09	6.288,11
AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	18.515,00	-	351,00	6.899,00	25.765,00
	N-S (BRT)	-	4.122,00	-	-	4.122,00
	S-N (Mixtos)	18.810,00	-	186,00	3.932,00	22.928,00
	S-N (BRT)	-	3.940,00	-	-	3.940,00
	Total/día	11.197,50	8.062,00	161,10	3.249,30	22.669,90
	Total/hr	466,56	335,92	6,71	135,39	944,58
	Total paradas (vh*semaf)	6.998,44	5.038,75	100,69	2.030,81	14.168,69
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.297,04	933,85	18,66	376,38	2.625,93
AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	16.263,00	-	332,00	4.833,00	21.428,00
	N-S (BRT)	-	4.194,00	-	-	4.194,00
	S-N (Mixtos)	11.285,00	-	335,00	33.373,00	44.993,00
	S-N (BRT)	-	3.626,00	-	-	3.626,00
	Total/día	8.264,40	7.820,00	200,10	11.461,80	27.746,30
	Total/hr	344,35	325,83	8,34	477,58	1.156,10
	Total paradas (vh*semaf)	4.476,55	4.235,83	108,39	6.208,48	15.029,25
	Distancia recorrida (Km recorridos)	933,19	883,01	22,59	1.294,23	3.133,02
EMISION PM	0,78	0,65	0,01	0,58	2,02	

Fuente: METROBOG, 2018.

El laboratorio K2 Ingeniería estimó las emisiones de gases de interés (NO₂, SO₂, CO y VOC) fueron determinadas para cada uno de los tramos del proyecto durante la etapa de operación (ver Tabla 5.2.1-182) El cálculo tuvo en cuenta las emisiones por re suspensión de material en vía pavimentada y emisiones por tubos de escape.

Tabla 5.2.1-205. Emisiones estimadas Operación

Tramo	Emisiones Estimadas (Flota vehicular)			
	[Ton/año]			
	NO ₂	SO ₂	CO	VOC
Tramo 1	11,69	1,45	215,88	8,71
Tramo 2	11,95	1,33	257,75	9,6
Tramo 3	20,92	2,33	451,03	16,8
Tramo 4	27,13	3,36	501,13	20,23
Tramo 5	21,67	2,41	467,25	17,41
Tramo 6	4,77	0,59	88,05	3,55
Tramo 7	6,48	0,8	119,63	4,83

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

- Escenario Construcción

A continuación se presentan las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} estimadas para cada una de las fuentes lineales (vías) identificadas durante la fase de construcción:

Tabla 5.2.1-206 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM₁₀

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	57.754	2,65	2,55680
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	104.102	0,84	2,73478
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	1.155	37,25	1,30747
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	81	37,25	0,11904
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	104.861	0,68	3,20891
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	169.115	0,39	0,57609
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	33.197	5,60	1,25773
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	76.796	6,26	8,93206
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	79.707	2,54	7,52856
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	29.559	0,12	0,11298
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	26.581	0,13	0,10501

Fuente: METROBOG, 2018

Tabla 5.2.1-207 Emisiones estimadas Fuente Lineal (vías) – PM_{2,5}

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuentes de emisión	Descripción	Logitud de la vía (Km)	No. Vehículos (día)	Factor de Emisión FE (g/VKT)	Emisión (ET) g/s
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	1,45	48.627	0,02	0,0158
	AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	2,70	87.652	0,01	0,0365
Vía externa no pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	2,63	973	3,10	0,0917
	VÍA INTERNA EL CORZO	3,41	68	3,10	0,0083
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	3,89	88.288	0,02	0,08042
	AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	0,75	141.758	0,01	0,01437
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	0,59	27.710	0,01	0,00199
	AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	1,61	44.435	0,01	0,00978
	AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	3,21	67.935	0,01	0,03251
Vía externa pavimentada (Polvo desprendido en la vía por el rodamiento)	AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	2,78	65.443	0,03	0,06051
	AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	2,71	64.423	0,03	0,06157

Fuente: METROBOG, 2018.

A continuación se presentan las emisiones de material particulado de las fuentes móviles estimadas a partir del uso de la herramienta Modelo IVE versión 2.0.

Tabla 5.2.1-208 Emisiones estimadas Fuente móvil (vehículos)

Fuente línea	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
AV VILLAVICENCIO (ALO - AV PRIMERO DE MAYO)	E - W	1.651,00	510,00	261,00	1.229,00	3.651,00
	W - E	2.866,00	424,00	379,00	1.807,00	5.476,00
	Total/día	4.517,00	934,00	640,00	3.036,00	9.127,00
	Total/hr	188,21	38,92	26,67	126,50	380,29
	Total paradas (vh*semaf)	1.882,08	389,17	266,67	1.265,00	3.802,92
	Distancia recorrida (Km recorridos)	272,90	56,43	38,67	183,43	551,42
	EMISION PM	0,09	0,06	0,02	0,12	0,29
AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - AV BOYACA)	E - W	5.018,00	524,00	114,00	1.673,00	7.329,00
	W - E	5.607,00	735,00	211,00	2.568,00	9.121,00
	Total/día	10.625,00	1.259,00	325,00	4.241,00	16.450,00
	Total/hr	442,71	52,46	13,54	176,71	685,42

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente línea	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
	Total paradas (vh*semaf)	3.541,67	419,67	108,33	1.413,67	5.483,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.195,31	141,64	36,56	477,11	1.850,63
	EMISION PM	0,03	0,07	0,01	0,14	0,25
AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACA - AV NQS)	E - W	4.414,00	1.159,00	437,00	2.466,00	8.476,00
	W - E	4.347,00	1.031,00	431,00	2.288,00	8.097,00
	Total/día	8.761,00	2.190,00	868,00	4.754,00	16.573,00
	Total/hr	365,04	91,25	36,17	198,08	690,54
	Total paradas (vh*semaf)	2.920,33	730,00	289,33	1.584,67	5.524,33
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.420,01	354,96	140,69	770,54	2.686,21
AV NQS (AV PRIMERO DE MAYO - AV CALLE 8 SUR)	N-S (Mixtos)	9.141,00	299,00	696,00	3.588,00	13.724,00
	N-S (BRT)	-	-	-	-	-
	S-N (Mixtos)	8.342,00	318,00	530,00	4.443,00	13.633,00
	S-N (BRT)	-	-	-	-	-
	Total/día	17.483,00	617,00	1.226,00	8.031,00	27.357,00
	Total/hr	728,46	25,71	51,08	334,63	1.139,88
	Total paradas (vh*semaf)	728,46	25,71	51,08	334,63	1.139,88
	Distancia recorrida (Km recorridos)	546,34	19,28	38,31	250,97	854,91
AV CALLE 8 SUR (AV NQS - AV CALLE 1)	E - W	1.641,00	73,00	89,00	432,00	2.235,00
	W - E	2.470,00	56,00	129,00	597,00	3.252,00
	Total/día	4.111,00	129,00	218,00	1.029,00	5.487,00
	Total/hr	171,29	5,38	9,08	42,88	228,63
	Total paradas (vh*semaf)	171,29	5,38	9,08	42,88	228,63
	Distancia recorrida (Km recorridos)	101,06	3,17	5,36	25,30	134,89
	EMISION PM	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
AV CALLE 1 (AV CALLE 8 SUR - AV CARACAS)	E - W	7.989,00	757,00	475,00	1.009,00	10.230,00
	W - E	15.302,00	829,00	619,00	5.381,00	22.131,00
	Total/día	23.291,00	1.586,00	1.094,00	6.390,00	32.361,00
	Total/hr	970,46	66,08	45,58	266,25	1.348,38
	Total paradas (vh*semaf)	7.763,67	528,67	364,67	2.130,00	10.787,00
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.562,44	106,39	73,39	428,66	2.170,88
	EMISION PM	0,40	0,08	0,02	0,20	0,71
AV CARACAS (AV CALLE 1 - AV CALLE 26)	N-S (Mixtos)	3.612,00	19,00	173,00	2.532,00	6.336,00
	N-S (BRT)	-	-	-	-	-

LINEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-
L16.5-ITE-I-001_R4



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Fuente línea	Sentido de circulación	Autos	Buses	Camiones	Motos	Total
	S-N (Mixtos)	3.147,00	28,00	147,00	2.114,00	5.436,00
	S-N (BRT)	-	-	-	-	-
	Total/día	6.759,00	47,00	320,00	4.646,00	11.772,00
	Total/hr	281,63	1,96	13,33	193,58	490,50
	Total paradas (vh*semaf)	3.097,88	21,54	146,67	2.129,42	5.395,50
	Distancia recorrida (Km recorridos)	904,02	6,29	42,80	621,40	1.574,51
	EMISION PM	0,17	0,00	0,01	0,21	0,39
AV CARACAS (AV CALLE 26 - AV CALLE 53)	N-S (Mixtos)	9.546,00	-	181,00	3.557,00	13.284,00
	N-S (BRT)	-	4.122,00	-	-	4.122,00
	S-N (Mixtos)	6.089,00	-	96,00	2.028,00	8.213,00
	S-N (BRT)	-	3.940,00	-	-	3.940,00
	Total/día	15.635,00	8.062,00	277,00	5.585,00	29.559,00
	Total/hr	651,46	335,92	11,54	232,71	1.231,63
	Total paradas (vh*semaf)	9.771,88	5.038,75	173,13	3.490,63	18.474,38
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.811,05	933,85	32,09	646,93	3.423,92
	EMISION PM	0,50	0,77	0,01	0,33	1,61
AV CARACAS (AV CALLE 53 - AV CALLE 76)	N-S (Mixtos)	9.546,00	-	181,00	3.557,00	13.284,00
	N-S (BRT)	-	4.122,00	-	-	4.122,00
	S-N (Mixtos)	6.089,00	-	96,00	2.028,00	8.213,00
	S-N (BRT)	-	3.940,00	-	-	3.940,00
	Total/día	15.635,00	8.062,00	277,00	5.585,00	29.559,00
	Total/hr	651,46	335,92	11,54	232,71	1.231,63
	Total paradas (vh*semaf)	8.468,96	4.366,92	150,04	3.025,21	16.011,13
	Distancia recorrida (Km recorridos)	1.765,45	910,33	31,28	630,64	3.337,70
	EMISION PM	0,44	0,67	0,01	0,28	1,41

El laboratorio K2 Ingeniería estimo las emisiones de NO₂, SO₂, CO y VOC y material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}), las cuales fueron calculadas bajo la condición más crítica posible, considerando todos los frentes de trabajo del proyecto de forma simultánea (Patio-Taller, Estaciones y Viaducto). A partir de las actividades identificadas durante la etapa de construcción en las áreas Patio-Taller, Columnas, Construcción de vías y Construcción de Estaciones en la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos para las fuentes del proyecto.

Tabla 5.2.1-209 Se presentan las emisiones estimadas con control de emisión – Fuentes del proyecto

Área	Grupos de Actividad	Parámetro (Ton/año)					
		PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	NO ₂	SO ₂	VOC
Patio-Taller	1. Remoción de suelos (Bulldozing)	0,12	0,06	N/A	N/A	N/A	N/A
	2. Cargue de material	0,15	0,02	N/A	N/A	N/A	N/A
	3. Descargue de material	0,81	0,12	N/A	N/A	N/A	N/A
	4. Tubo de escape maquinaria fuera de vía	0,14	0,07	0,94	1,7	0,04	0,11
Columnas	1. Remoción de suelos (Bulldozing)	0,71	0,38	N/A	N/A	N/A	N/A
	2. Cargue de material	0,12	0,02	N/A	N/A	N/A	N/A
	3. Descargue de concreto	0,04	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A
	4. Descargue de material	0,02	0,002	N/A	N/A	N/A	N/A
	5. Perforación	0,38	0,2	N/A	N/A	N/A	N/A
	6. Tubo de escape maquinaria fuera de vía	3,65	1,93	28,03	37	0,09	2,29
Construcción de vías	1. Remoción de suelos (Bulldozing)	0,71	0,38	N/A	N/A	N/A	N/A
	2. Cargue de material	0,2	0,03	N/A	N/A	N/A	N/A
	3. Actividades de construcción de vías	239,11	126,73	N/A	N/A	N/A	N/A
	4. Tubo de escape maquinaria fuera de vía	3,19	1,69	19,22	53,26	0,29	3,61
	5. Transporte	12,9	3,2	1,13	1,73	0,03	1,39
Construcción de Estaciones	1. Remoción de suelos (Bulldozing)	1,42	0,75	N/A	N/A	N/A	N/A
	2. Cargue de material	0,17	0,03	N/A	N/A	N/A	N/A
	3. Descargue de material	0,02	0,003	N/A	N/A	N/A	N/A
	4. Descargue de concreto	0,05	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A
	5. Tubo de escape maquinaria fuera de vía	0,46	0,24	3,65	6,2	0,11	0,41

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

Por otra parte, las emisiones de gases de interés (NO₂, SO₂, CO y VOC) y material particulado – PM₁₀ y PM_{2.5}, generadas por la re suspensión de material en vía pavimentada y emisiones por tubos de escape de los vehículos que transitarán en los carriles habilitados en la etapa de construcción (Fuentes externas), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.2.1-210. Emisiones estimadas flota vehicular

Tramo	Emisiones Estimadas (Flota vehicular) [Ton/año]					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	CO	VOC
Tramo 1 sección 1	9.441	2.317	1.412	0.027	0.924	1.135
Tramo 1 sección 2	9.285	2.279	0.068	0.001	0.044	0.054
Tramo 1 sección 3	16.187	3.973	0.074	0.001	0.049	0.060
Tramo 1 sección 4	22.818	5.601	0.103	0.002	0.068	0.083
Tramo 2 sección 1	1.741	0.427	0.040	0.001	0.026	0.032
Tramo 2 sección 2	1.842	0.452	0.035	0.001	0.023	0.028

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

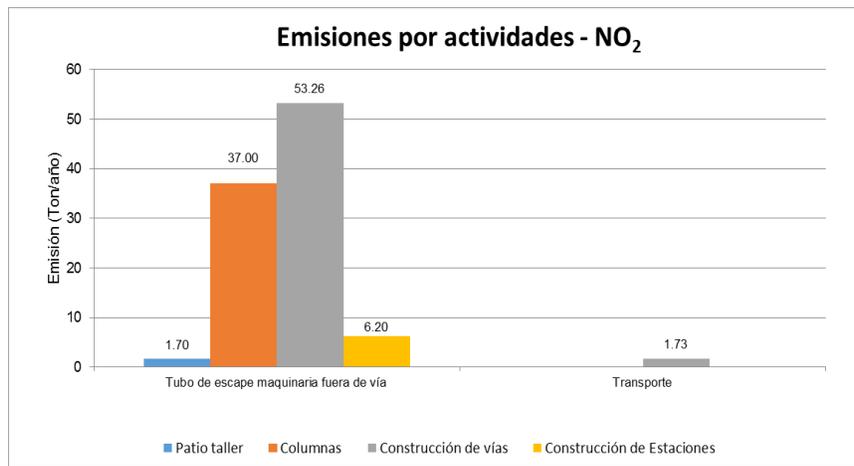


Figura 5.2.1-268 Emisiones NO₂ por actividades
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

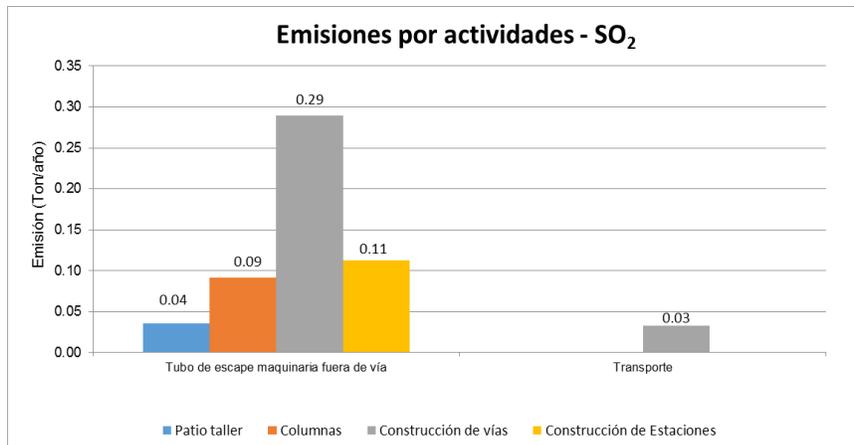


Figura 5.2.1-269 Emisiones SO₂ por actividades
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

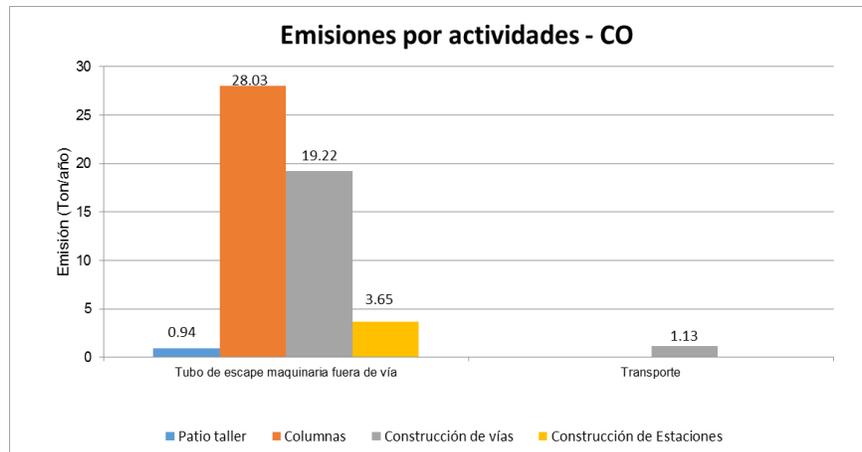


Figura 5.2.1-270 Emisiones CO por actividades
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

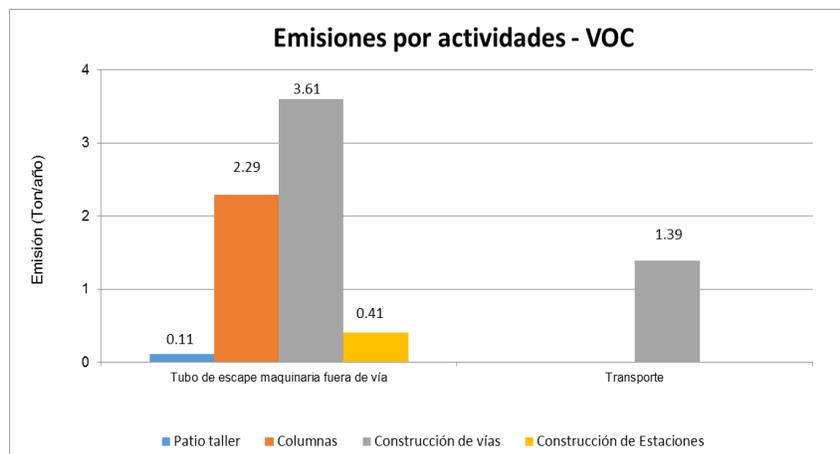


Figura 5.2.1-271 Emisiones VOC por actividades
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

5.2.1.20.9.15 Resultados de la modelación AERMOD

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la modelación de cada contaminante, para el periodo anual y 24 horas. Con el propósito de facilitar el desarrollo del numeral, los resultados se agrupan de la siguiente manera:

- Resultados escenario Línea Base
- Resultados escenarios Construcción y Operación sin línea base
- Aportes resultantes para los escenarios con proyecto respecto con las concentraciones de fondo establecidas.

Para el escenario de la etapa de línea base, los resultados corresponden al aforo vehicular y las diferentes actividades identificadas en el numeral 5.2.1.20.9.12. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}):

Como se observa en la siguiente tabla las concentraciones máximas simuladas respecto a las concentraciones obtenidas en la campaña de monitoreo para un tiempo de exposición igual a 24 horas representan una desviación menor e igual al 22% para PM₁₀, 58% para PM_{2,5}.

A partir de lo anterior, las emisiones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) generadas por las fuentes lineales identificadas en la zona del proyecto podrían tener mayor influencia sobre las estaciones que presentan excedencia, es decir: Kennedy, Avenida 68, Hospitales y Calle 52. Ver Tabla 5.2.1-211 .

Tabla 5.2.1-211. Resultados PM₁₀- PM_{2,5}24 horas - Escenario Línea Base

Estación	PM10 (µg/m3) 24 horas			PM2,5 (µg/m3) 24 horas		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
Patio-Taller	4,42	51,45	91,40	0,47	31,28	98,50
Portal Américas	69,33	78,32	11,48	16,58	37,36	55,62
Villa Blanca	21,09	58,81	64,14	5,02	22,15	77,35
Kennedy	59,81	46,02	-29,96	14,40	28,21	48,94
Palenque	27,76	45,40	38,85	6,67	23,55	71,66
Avenida Boyacá	48,19	59,44	18,92	11,63	28,54	59,24
Avenida 68	40,50	39,59	-2,31	9,83	19,54	49,69
Rosario	27,22	35,83	24,02	6,61	19,38	65,88
NQS	39,33	48,75	19,34	9,33	27,49	66,06
Santander	18,12	34,52	47,52	4,39	19,18	77,12
Hospitales	65,54	53,27	-23,05	42,73	33,08	-29,17
Calle 10-11	21,07	42,11	49,96	5,12	24,27	78,90
Calle 26	30,75	37,69	18,40	7,42	16,32	54,50
Calle 45	34,40	43,44	20,80	8,85	22,36	60,42
Calle 52	50,66	45,62	-11,07	13,07	23,23	43,71
Calle 63	21,05	43,01	51,06	5,40	24,01	77,49
Calle 72	20,13	45,35	55,62	5,17	22,23	76,72
Calle 76	6,69	37,19	82,00	1,76	19,44	90,97

Fuente: INGETEC S.A., 2018.

De acuerdo a la Tabla 5.2.1-211, los resultados diarios de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) obtenidos mediante la simulación no superan los 69,3 µg/m³ siendo el valor diario más alto obtenido en la estación Portal Américas, respecto al material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) se obtuvieron concentraciones por debajo de 42,73 µg/m³ correspondiente a la estación Hospitales.

La Figura 5.2.1-272 y Figura 5.2.1-273 presentan los resultados de la modelación obtenidos para un periodo de 24horas respecto las mediciones de calidad del aire.

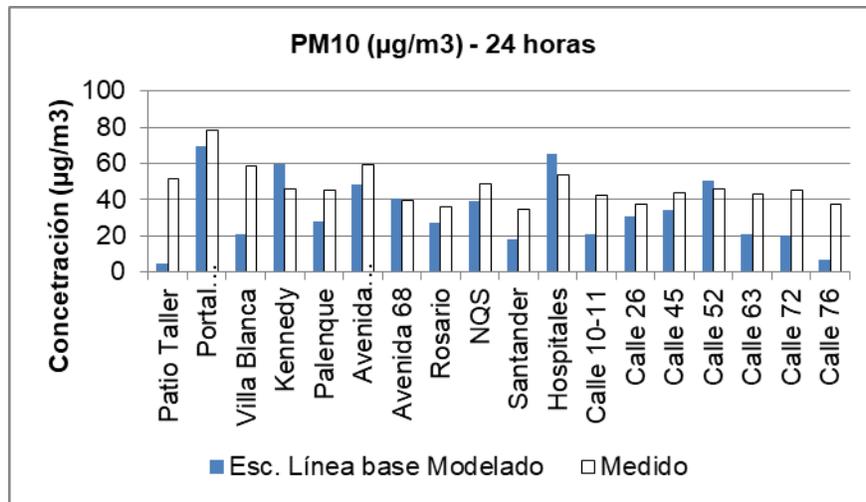


Figura 5.2.1-272 Concentraciones de PM₁₀ 24horas - Escenario Línea base
Fuente: INGETEC, 2018.

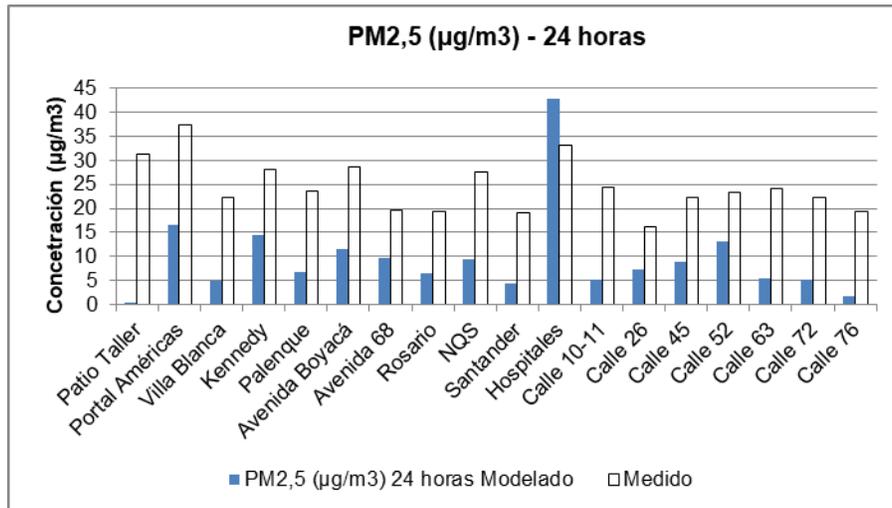


Figura 5.2.1-273 Concentraciones de PM_{2,5} 24horas - Escenario Línea base
Fuente: INGETEC, 2018.

A partir de lo anterior, los valores de concentración obtenidos en las estaciones Calle 63, Calle 72 y Calle 76 presentaron menor aproximación a las concentraciones medidas, debido a la distancia existente entre las estaciones y las fuentes lineales (250 m aprox.). Respecto a la estación Patio-Taller el modelo asumió el 2% del tráfico vehicular aforado en el punto “Av Villavicencio (ALO - av. primero de mayo)”. Es de resaltar que las emisiones obtenidas en el escenario Línea Base corresponden a las emisiones atribuidas por el tráfico rodado aforado en cada una de las vías identificadas en la zona del proyecto.

En cuanto a las concentraciones anuales, a continuación en la Tabla 5.2.1-212 se presentan los valores obtenidos en la modelación. Se observa que las mayores concentraciones se obtuvieron en las estaciones Portal Américas, Hospitales y Kennedy, con valores de 38,02 µg/m³, 35,22 µg/m³ y 32,23 µg/m³ respectivamente.

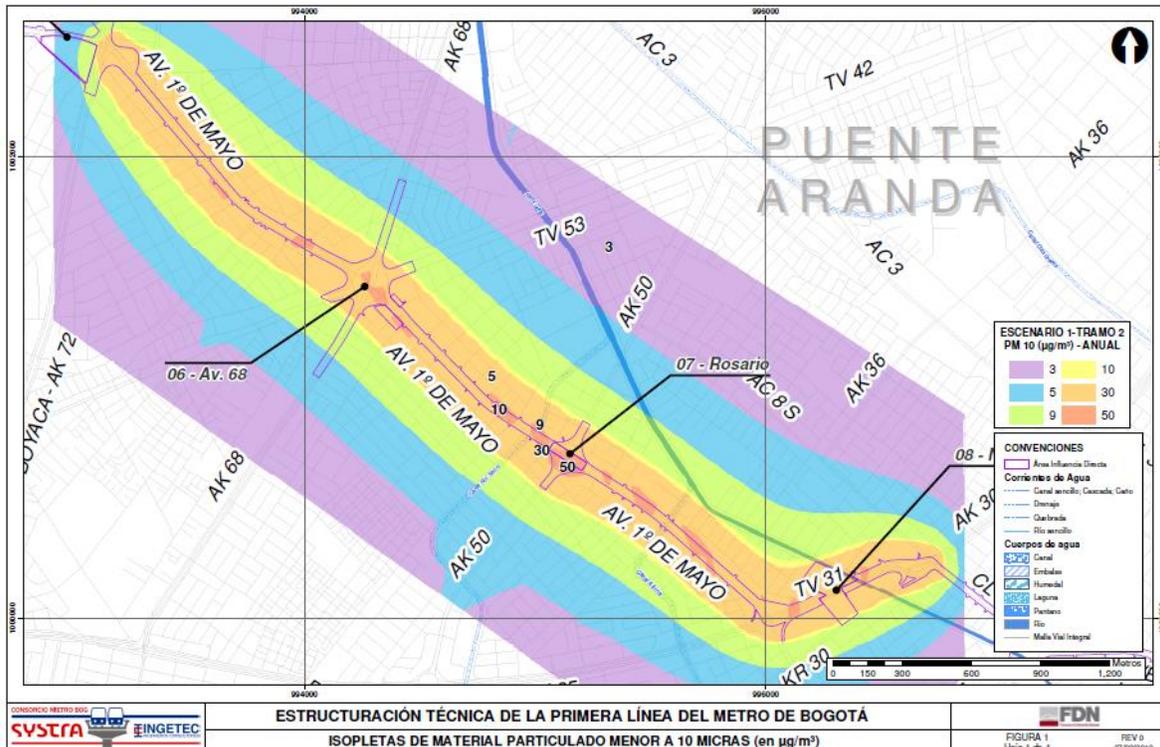
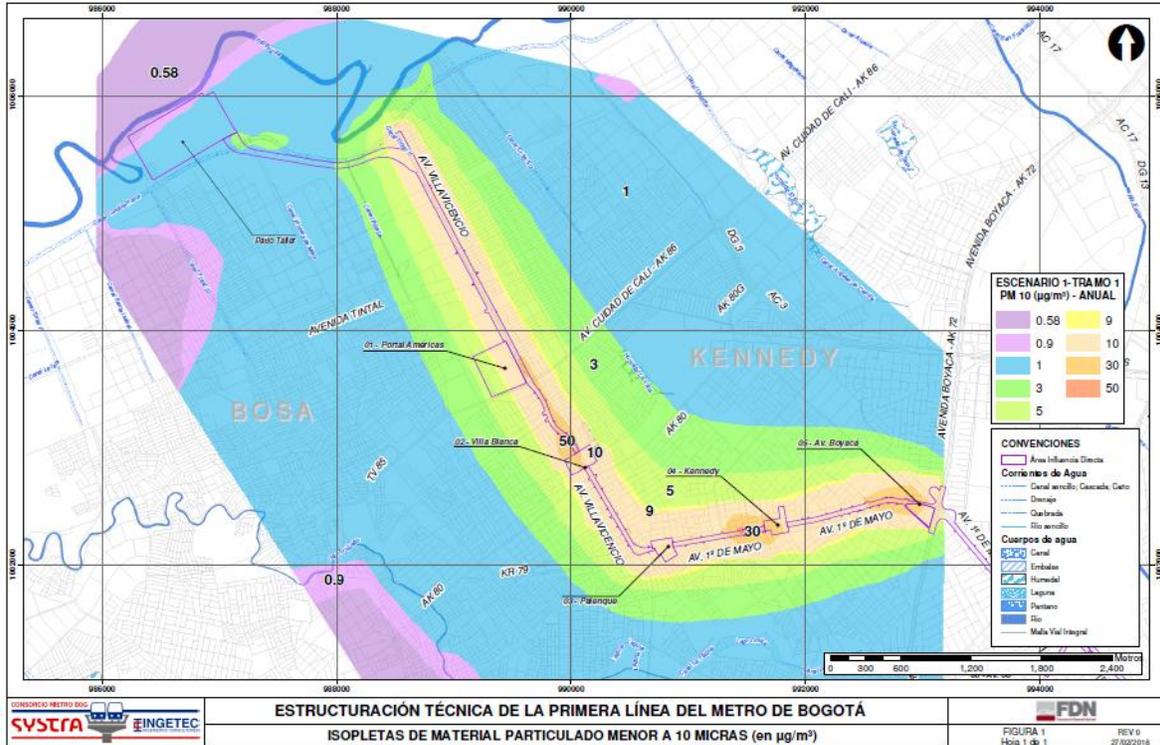
Tabla 5.2.1-212 Concentraciones PM₁₀yPM_{2,5} anual - Escenario Línea base

Estación	PM10 (µg/m3) Anual	PM2,5 (µg/m3)Anual
Patio-Taller	1,73	0,20
Portal Américas	38,02	9,10
Villa Blanca	11,31	2,70
Kennedy	32,23	7,78
Palenque	14,65	3,53
Avenida Boyacá	25,96	6,27
Avenida 68	22,37	5,43
Rosario	14,91	3,62
NQS	21,29	5,05
Santander	9,38	2,27
Hospitales	35,22	23,26
Calle 10-11	9,10	2,21
Calle 26	15,55	3,76
Calle 45	19,86	4,80
Calle 52	29,31	7,09
Calle 63	12,04	2,91
Calle 72	11,49	2,78
Calle 76	3,69	0,89

Fuente: INGETEC, 2018.

A continuación se muestra la distribución de curvas de concentración – Isopletas para PM₁₀ y PM_{2,5} estimadas para el escenario de línea base para un periodo anual, como resultado de la modelación por secciones del trazado.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

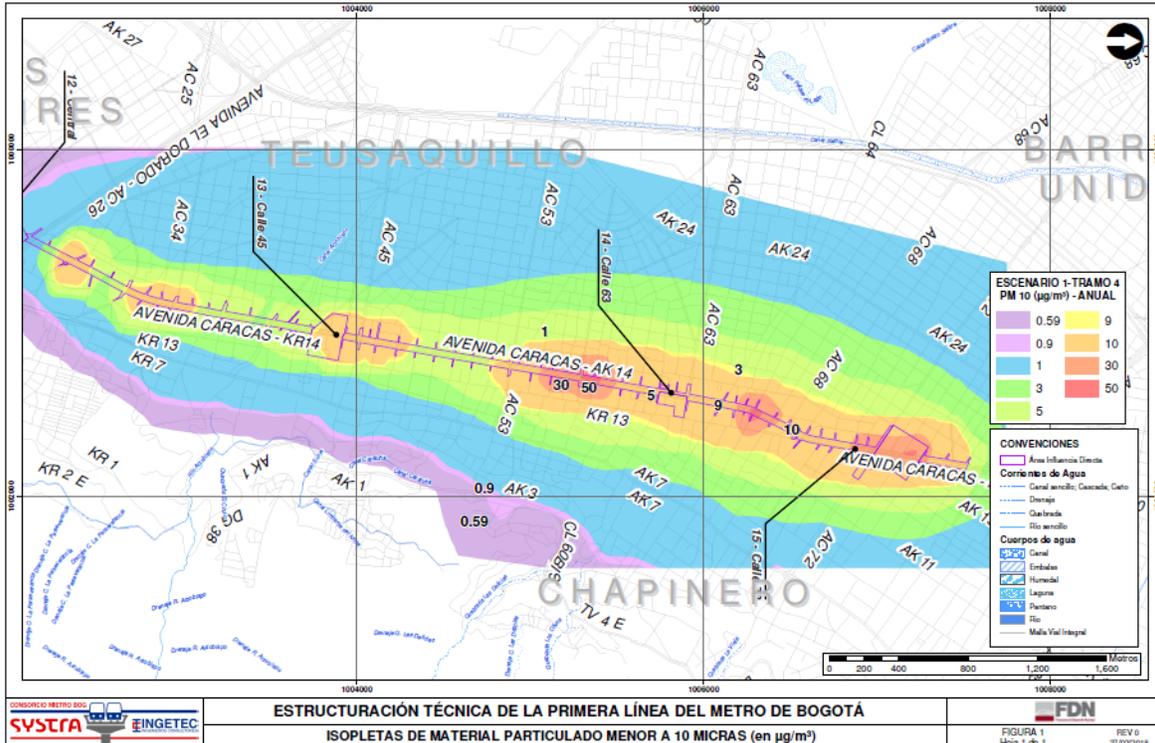
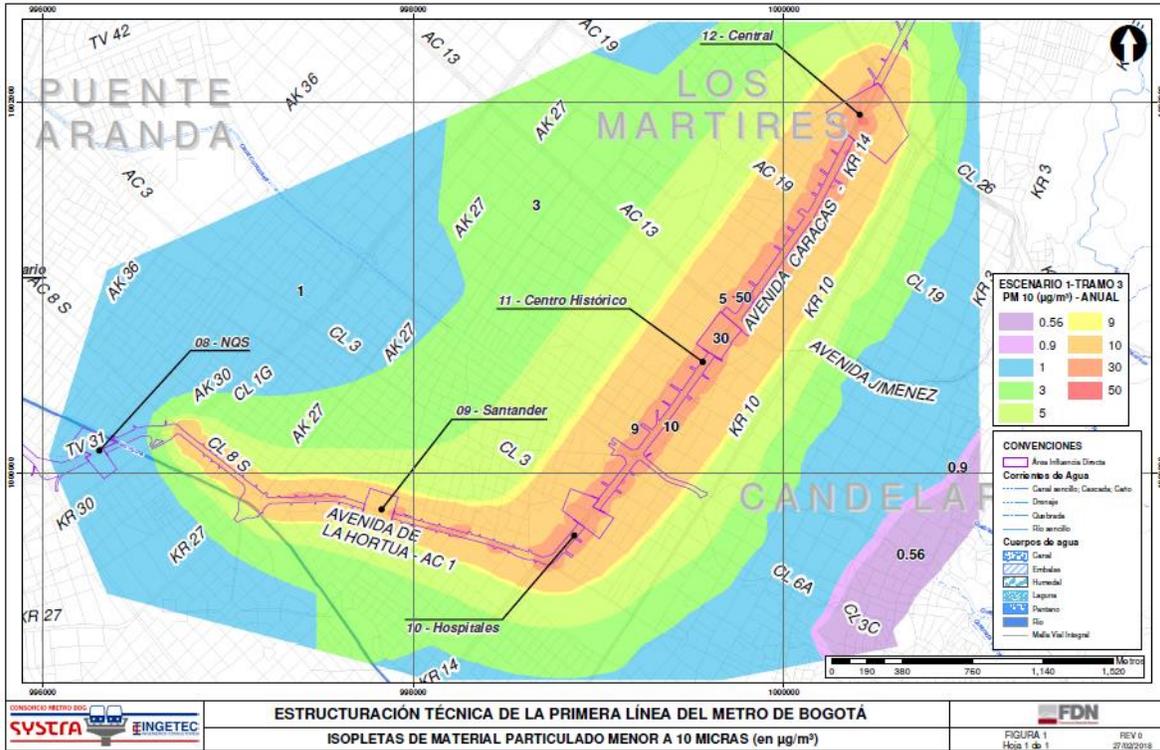
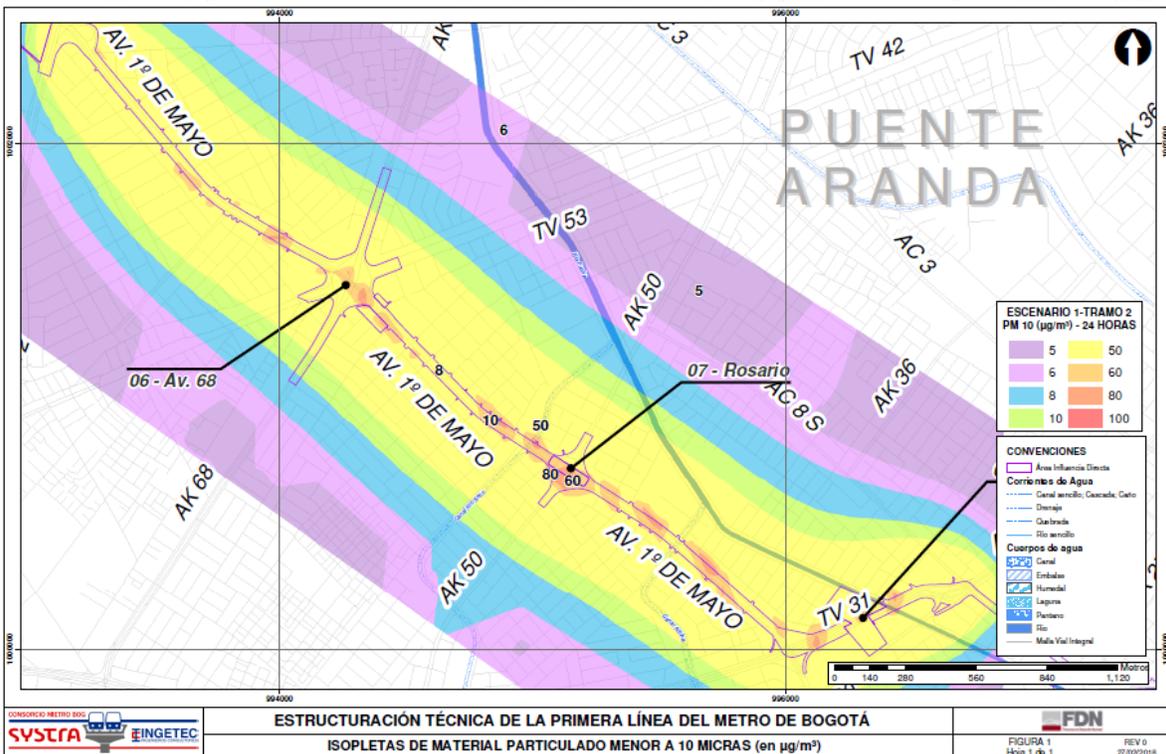
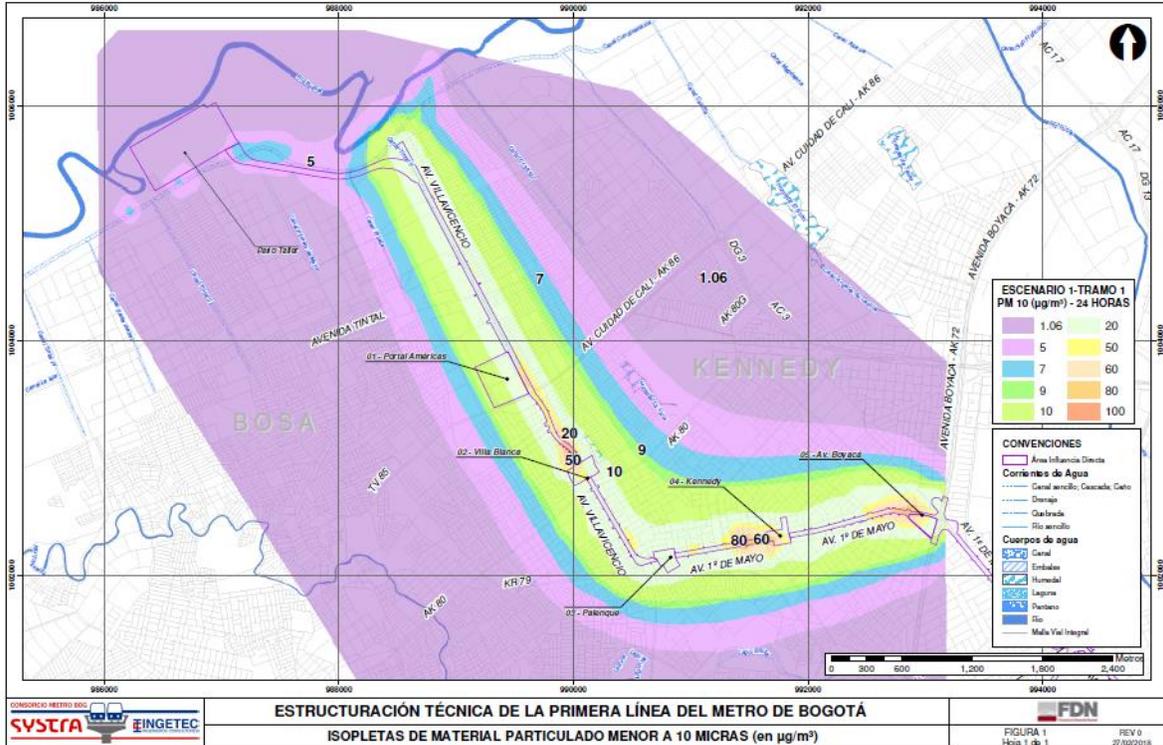


Figura 5.2.1-274 Isopleta anual PM₁₀ proyecto PLMB. Escenario 1

Fuente: INGETEC, 2018.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

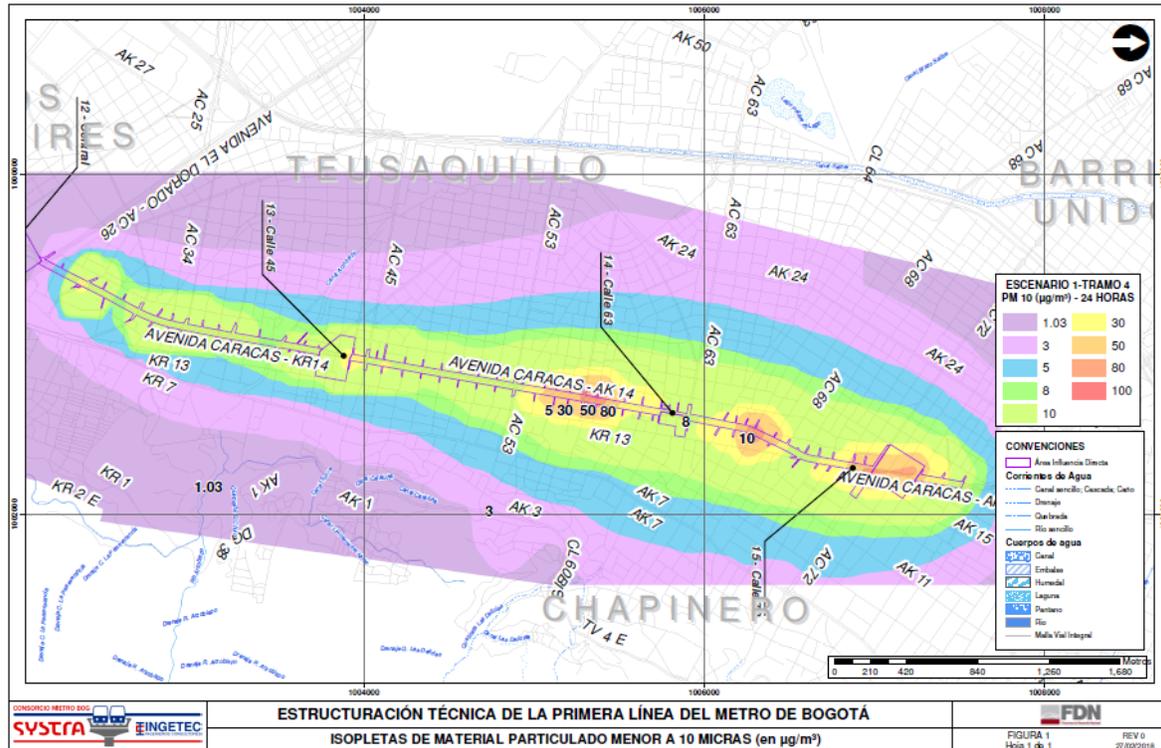
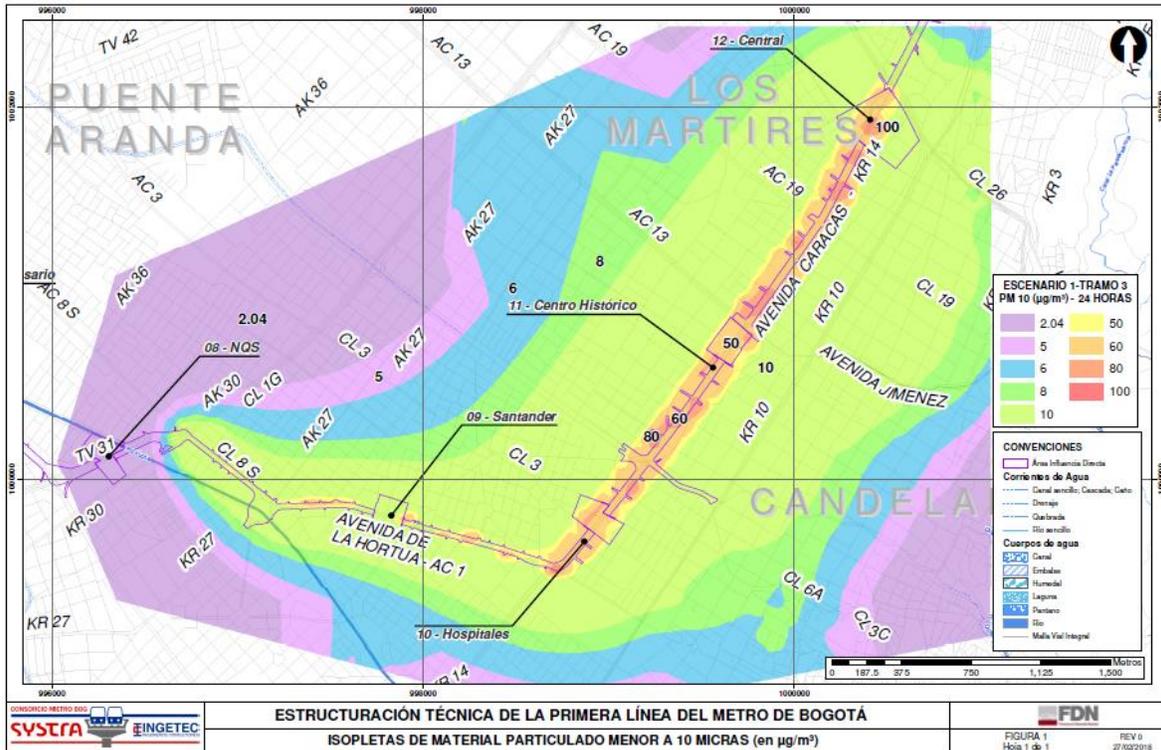
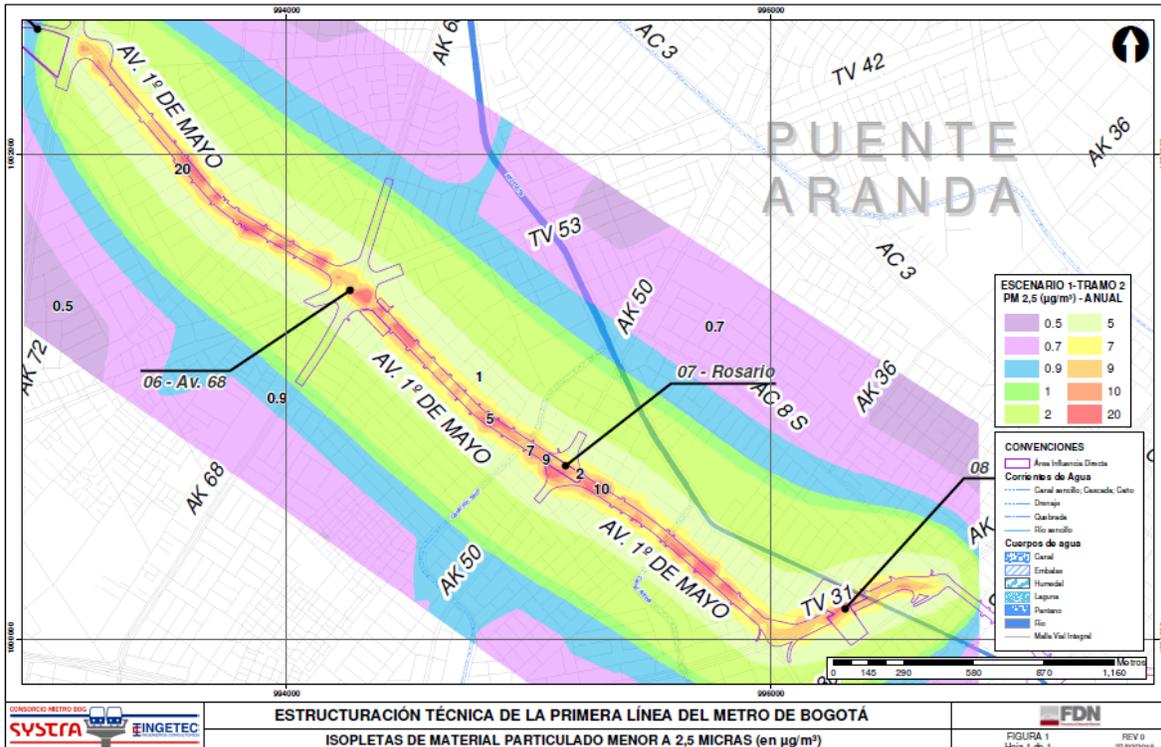
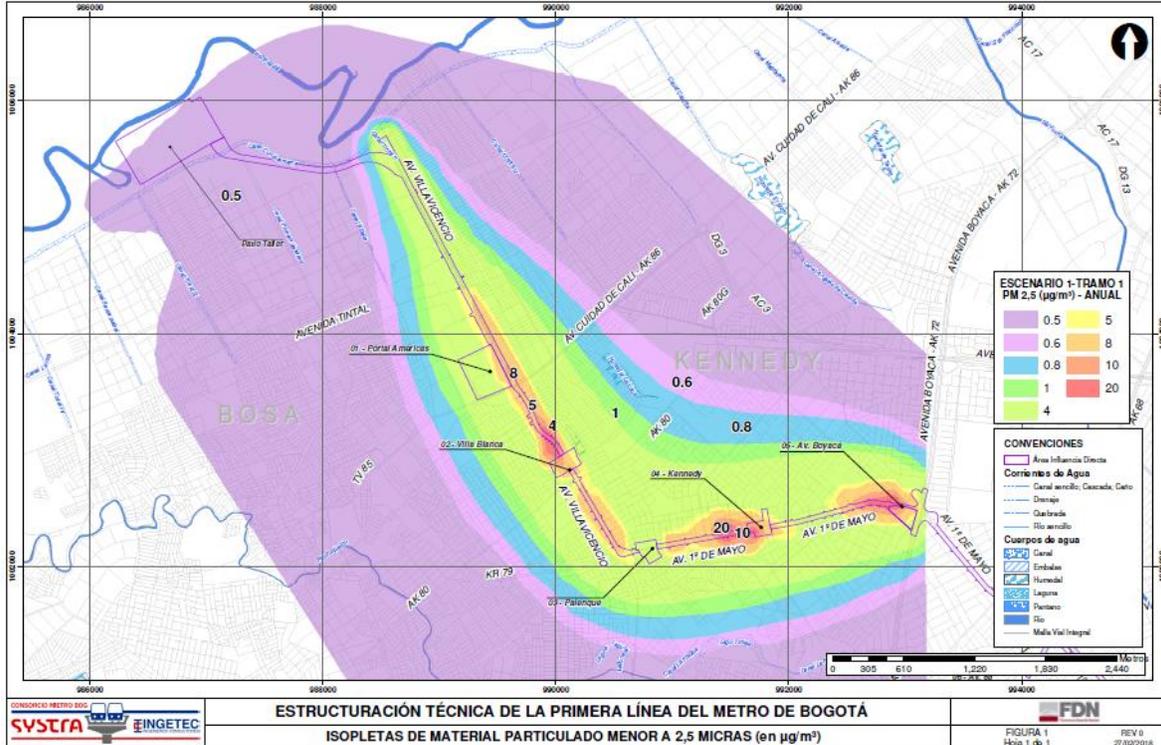


Figura 5.2.1-275 Isopleta diario PM₁₀ proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: INGETEC, 2018.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

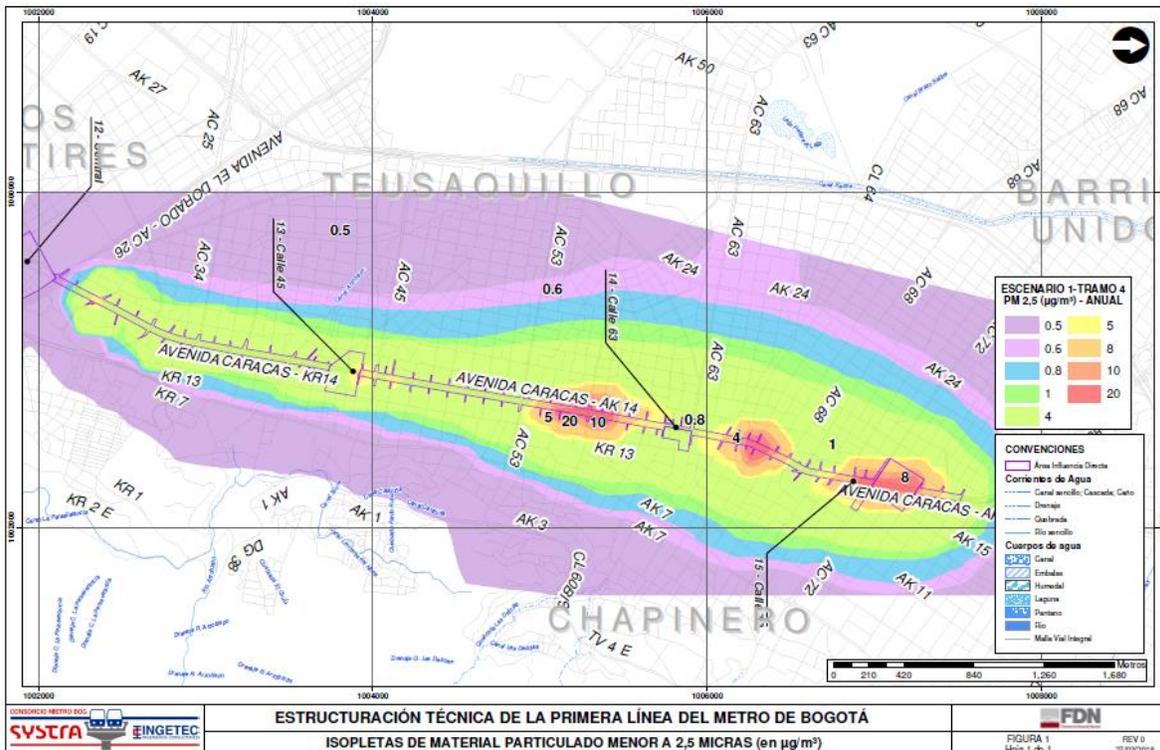
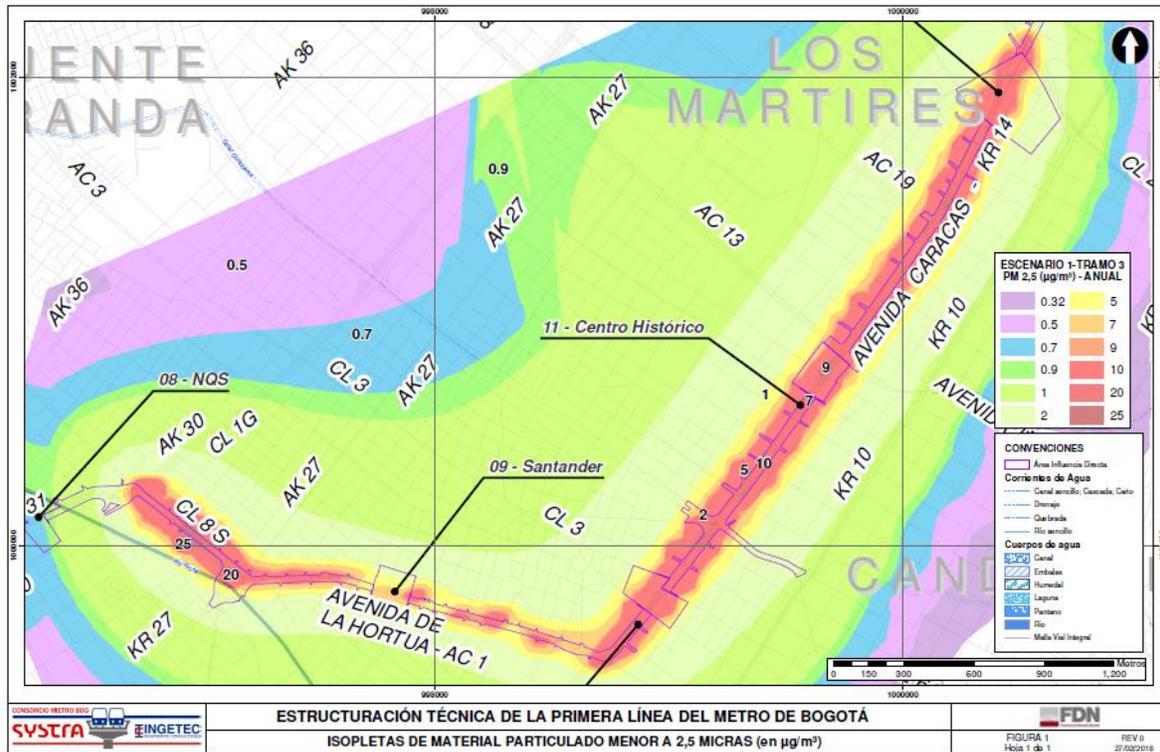
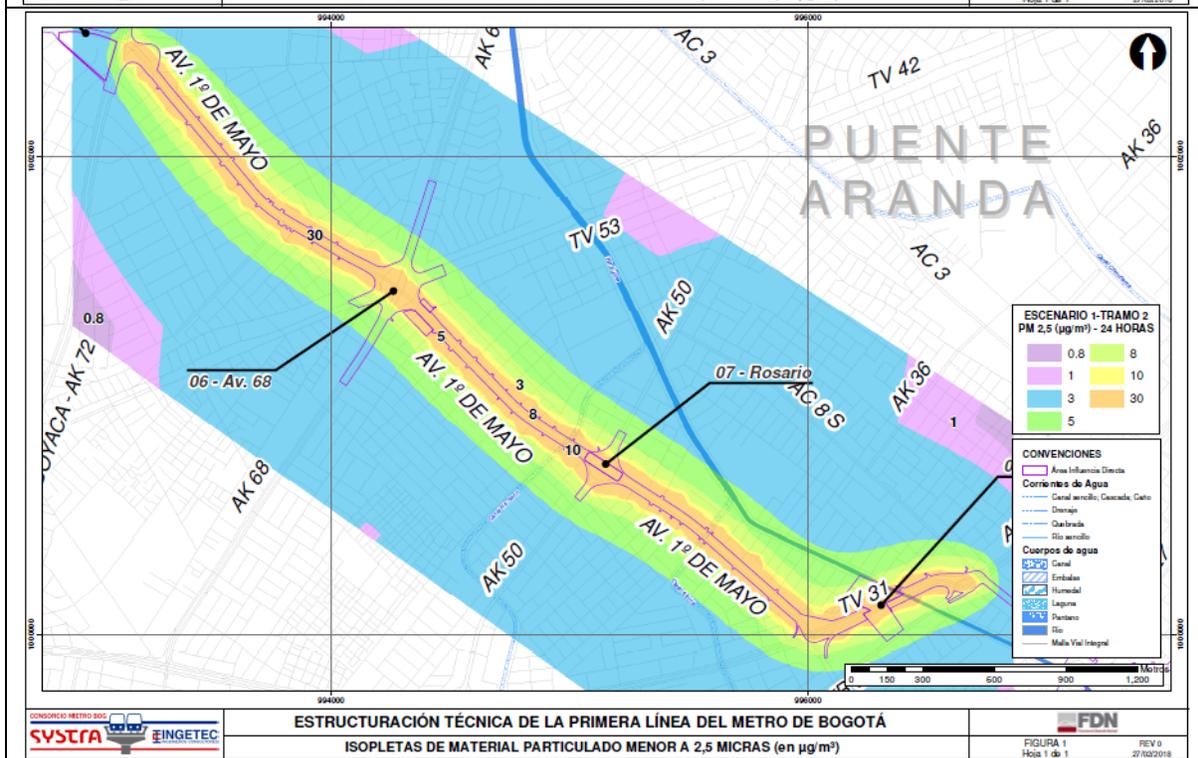
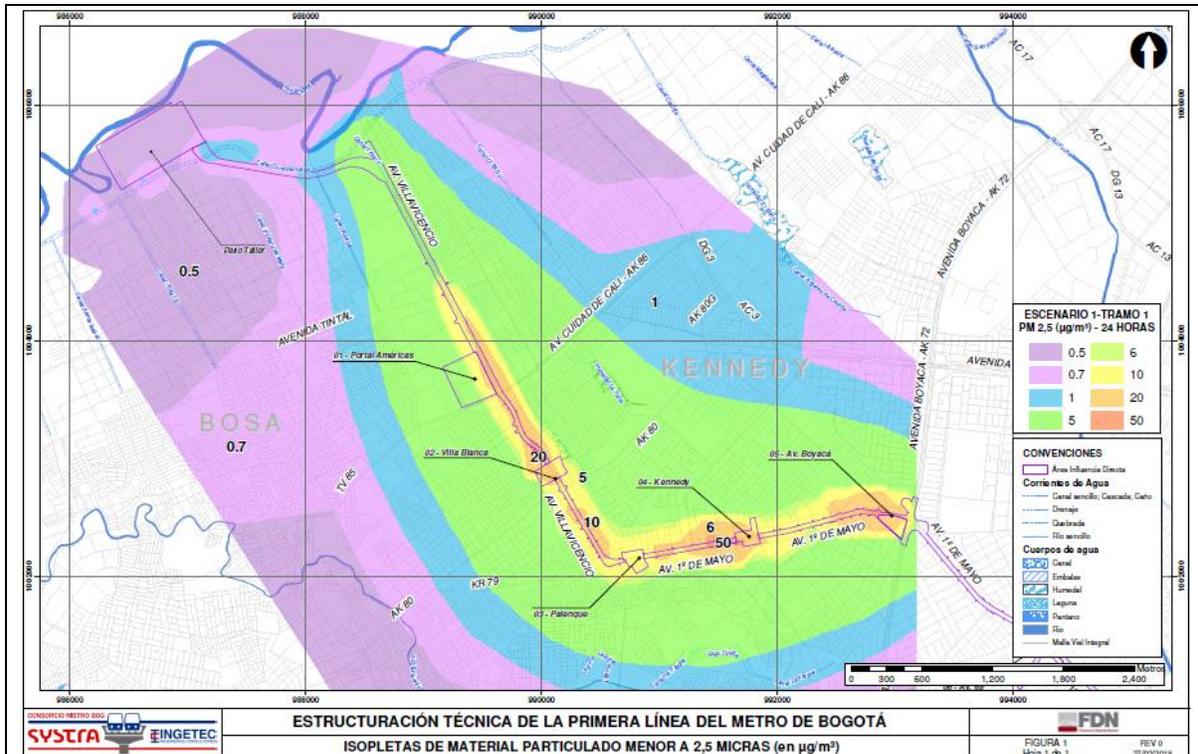


Figura 5.2.1-276 Isopleta Anual PM_{2.5} proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: Fuente: INGETEC, 2018.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

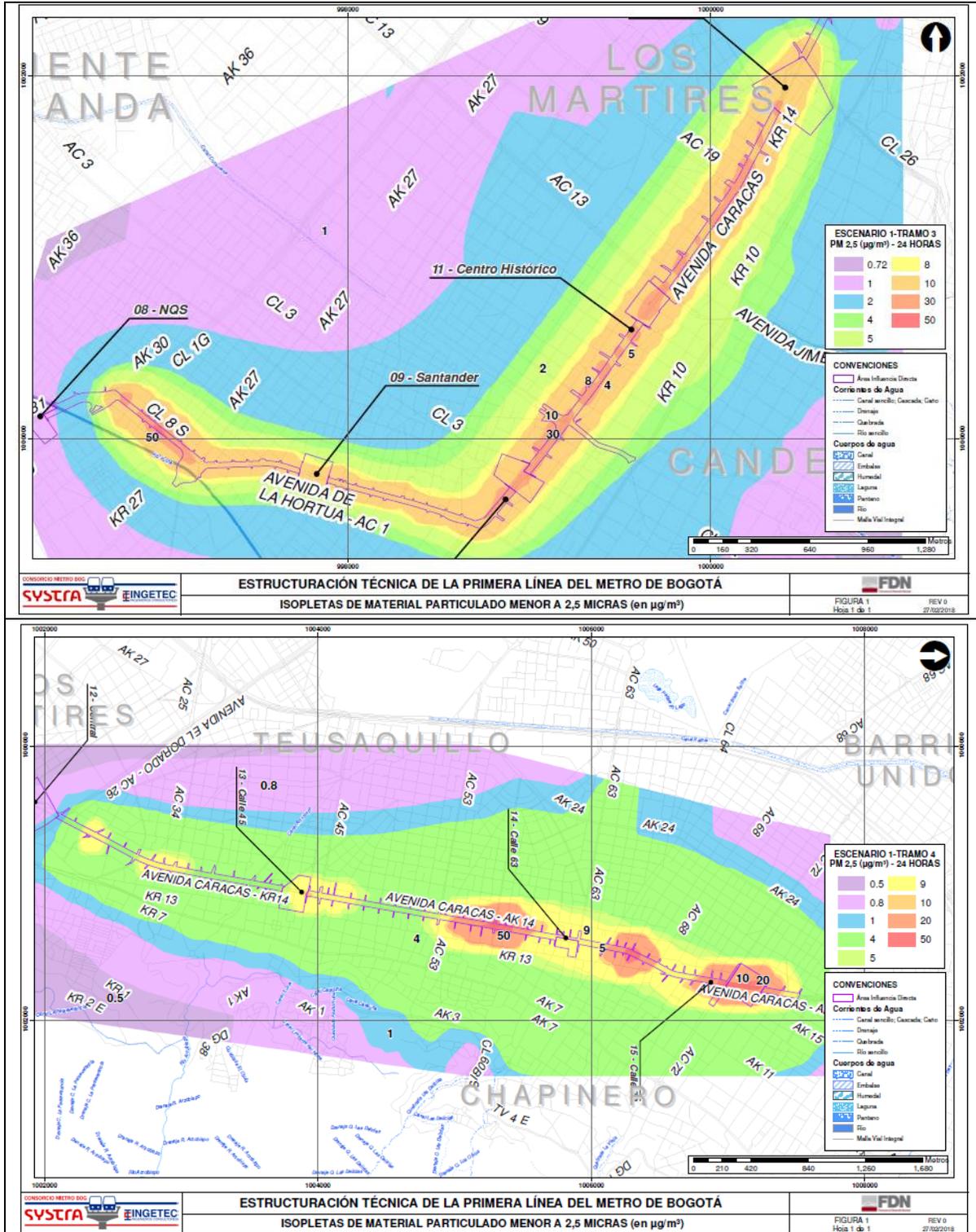


Figura 5.2.1-277 Isopleta diario PM_{2.5} proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: INGETEC, 2018.

La dispersión de material particulado sobre el trazado se visualiza con concentraciones entre los 20 µg/m³ y 50 µg/m³. El modelo tuvo en cuenta edificaciones, topografía de la zona de estudio, factores meteorológicos, como campos de viento y alturas de mezcla que inciden directamente en la dispersión de la pluma gaussiana, con componentes predominantes provenientes del Sureste (SE), tal como se observó en las figuras anteriores.

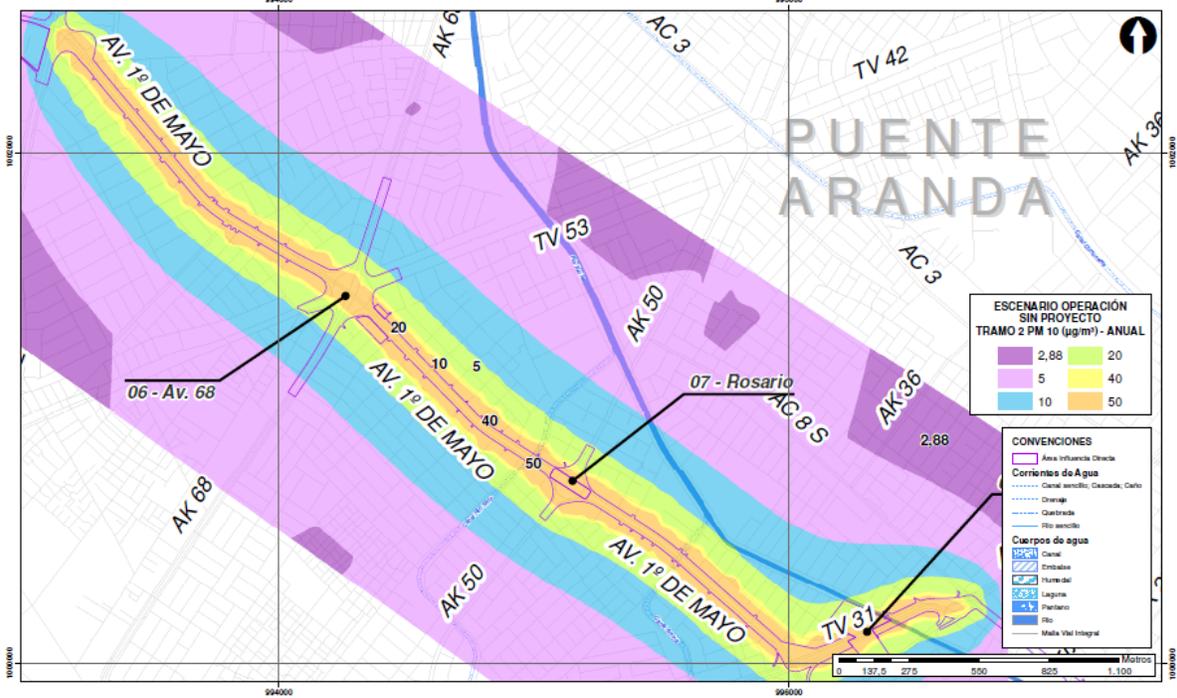
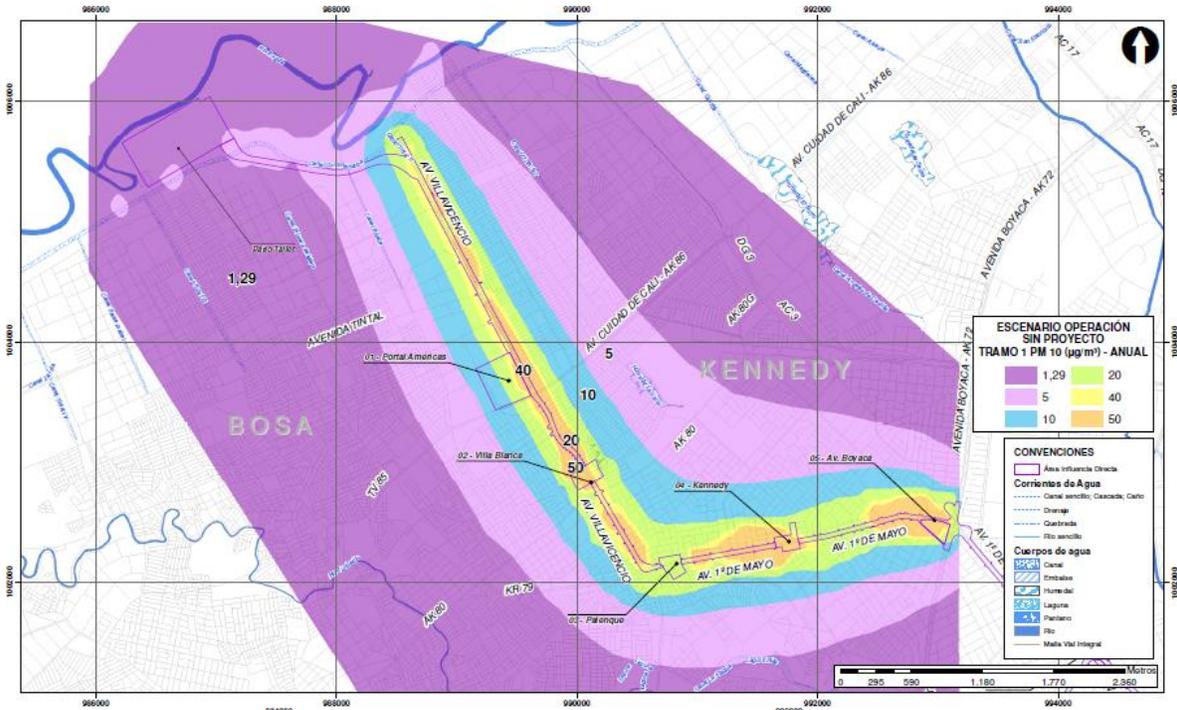
- Resultados de modelación escenario operación con el 100% del tráfico vehicular en la Av. Caracas.

A continuación se presentan los resultados del modelo de dispersión atmosférico de PM10 para el escenario de operación del proyecto con el 100% de la flota vehicular proyectada en el 2042 con el fin de obtener el aporte de emisiones atmosféricas del proyecto en cuanto a este parámetro.

Receptor		Resultado AERMOD (µg/m ³)	
		ANUAL	24Horas
		Esc 3 Operación Sin Proyecto	Esc 3 Operación Sin Proyecto
CA1	Patio taller	3,82	9,78
CA2	Portal Américas	83,90	152,65
CA3	Villa Blanca	24,98	46,48
CA4	Kennedy	71,14	131,68
CA5	Palenque	32,35	61,12
CA6	Av Boyaca	57,30	106,10
CA7	Avenida 68	49,40	88,90
CA8	Rosario	32,93	60,08
CA9	NQS	44,13	81,38
CA10	Santander	29,03	55,82
CA11	Hospitales	101,98	188,88
CA12	Calle 10-11	15,02	37,64
CA13	Calle 26	24,78	49,22
CA14	Calle 45	17,79	32,72
CA15	Calle 52	28,14	51,75
CA16	Calle 63	11,56	21,42
CA17	Calle 72	11,05	20,52
CA18	Calle 76	3,59	7,03

A partir de lo anterior, se observa que los receptores con mayor influencia frente a los cambios en el tráfico vehicular de la zona, considerando el 100% de la proyección corresponden a los sectores de Hospitales, Calle 10-11, Calle 26, Calle 45 y Calle 52. A continuación se presentan las isopletas obtenidas en la modelación.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

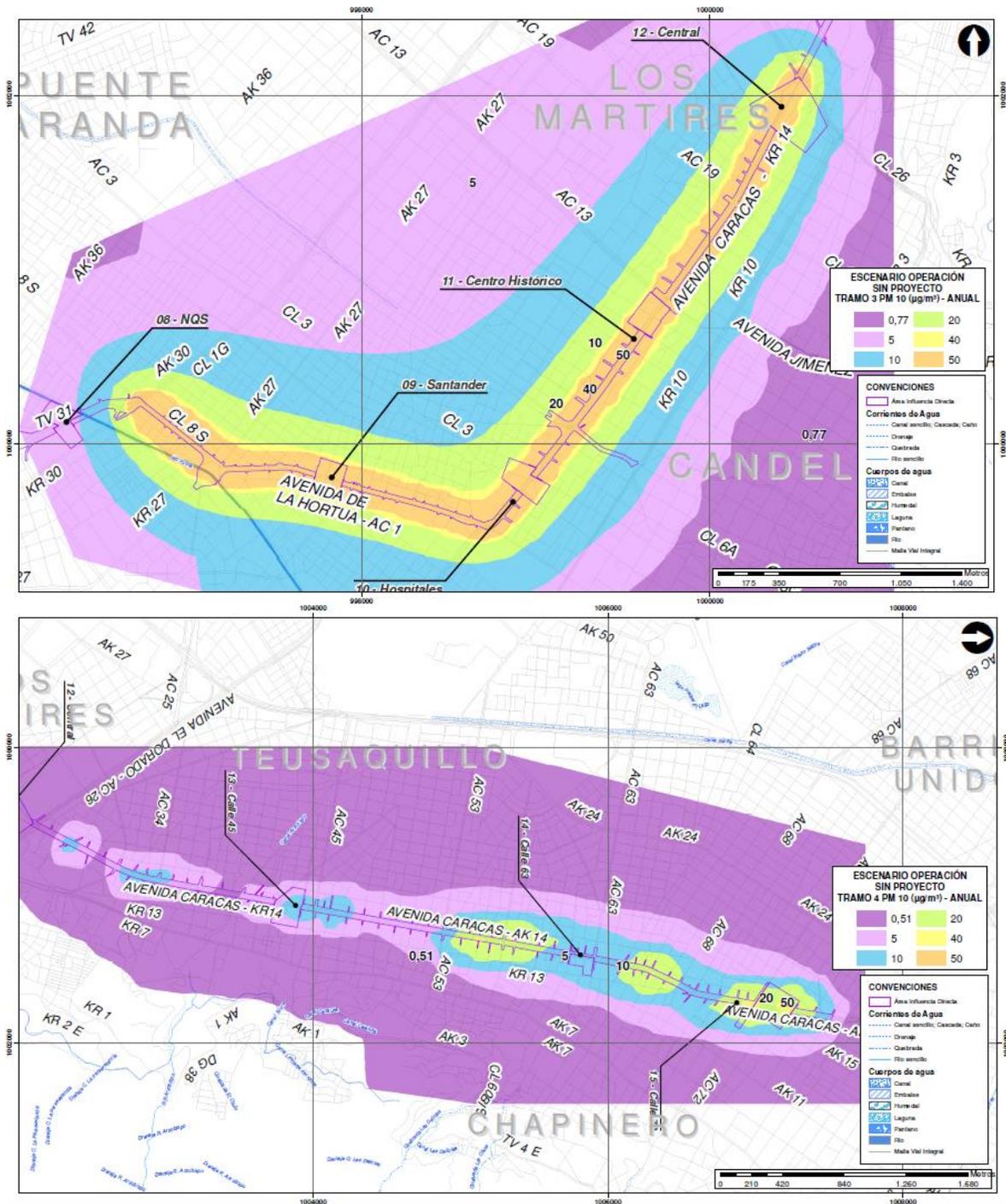
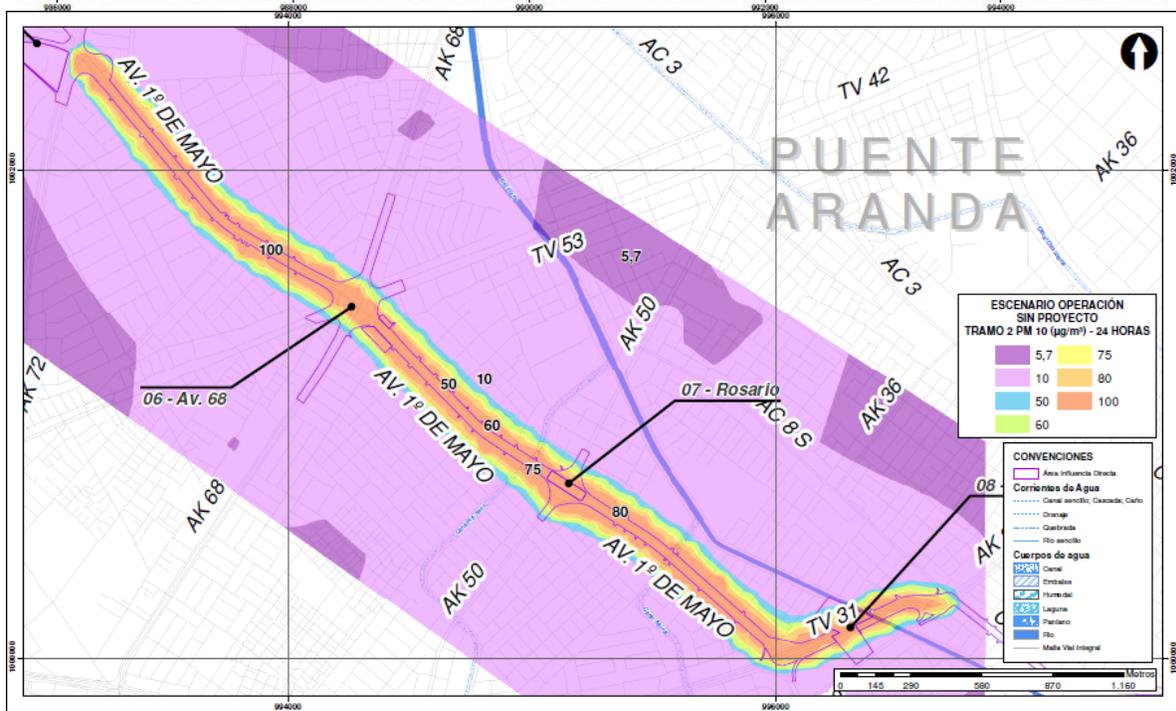
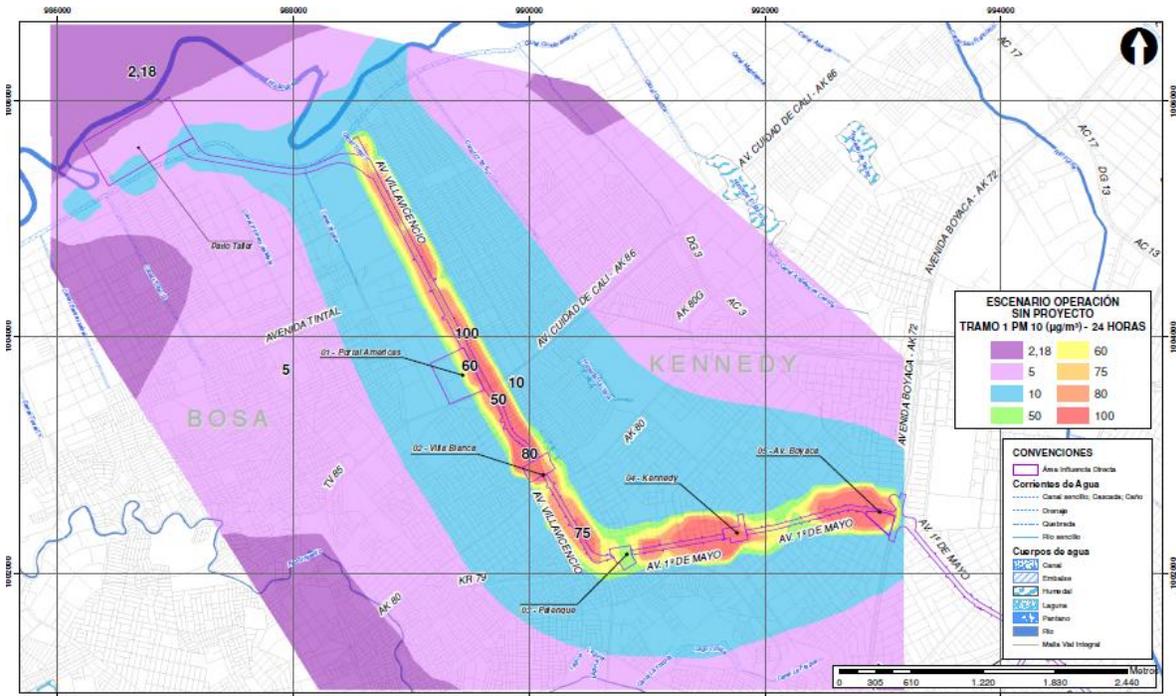


Figura 5.2.1-278 Aportes anuales PM₁₀. Escenario 3.2 Operación sin proyecto (100% de la flota vehicular)

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

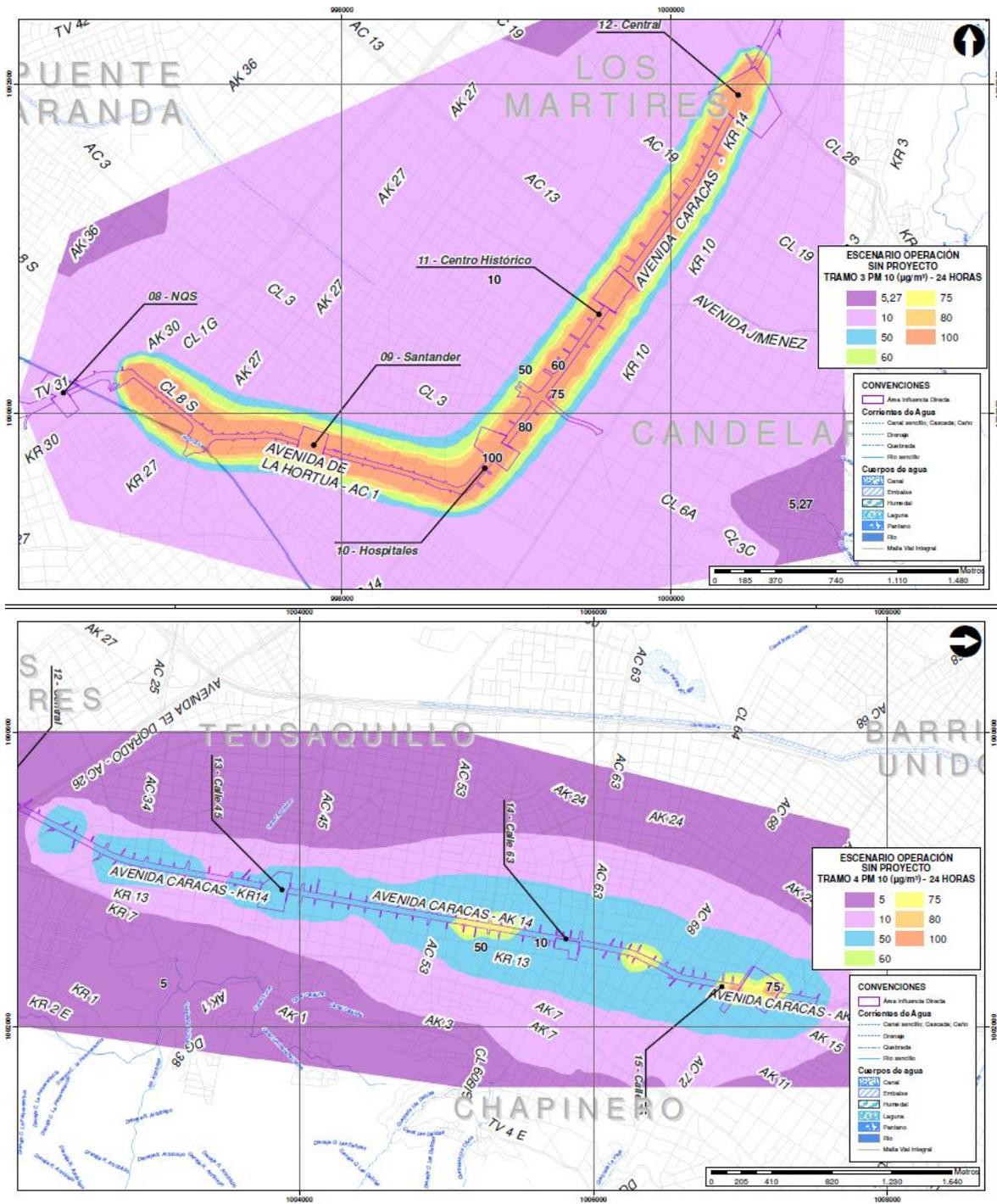


Figura 5.2.1-279 Aportes 24 Horas PM₁₀. Escenario 3.2 Operación sin proyecto (100% de la flota vehicular)

Resultados de modelación – Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los resultados del modelo de dispersión atmosférico para dióxido de nitrógeno (NO₂) es expuesto en las siguientes tablas; los periodos de tiempo utilizados en la modelación se tomaron con base a lo establecido en la Resolución 610 de 2010 para dióxido de nitrógeno (NO₂), 24 horas y anual. La Tabla presenta los resultados 24 horas y anuales del Dióxido de Nitrógeno.

Tabla 5.2.1-213 Resultados NO₂ 24 horas y anual. Escenario 1

Estación	NO ₂ (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,5	0,1
Portal Américas	5,9	1,7
Villa Blanca	2,3	0,9
Kennedy	8,4	2,9
Palenque	7,1	2,1
Avenida Boyacá	10,3	3,6
Avenida 68	7,0	2,6
Rosario	8,8	2,7
NQS	11,8	3,9
Santander	13,6	3,7
Hospitales	13,1	4,0
Calle 10-11	4,1	0,9
Calle 26	2,4	0,4
Calle 45	5,9	1,9
Calle 52	4,8	1,5
Calle 63	5,3	1,7
Calle 72	5,0	1,6
Calle 76	2,1	0,6

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Se puede apreciar que los valores anuales no superan los 5 µg/m³. Los niveles de concentración diario (máximo) y anual (promedio), evaluados en el presente estudio producto del modelo de dispersión, resultan ser inferiores a los umbrales establecidos en la legislación de calidad del aire para NO₂ (100 µg/m³ por año). El receptor que potencialmente recibiría los mayores aportes es Hospitales, con valor de 4 µg/m³.

En la Tabla 5.2.1-214 se puede observar los resultados de la calidad del aire, de la modelación y la relación entre ambos.

Tabla 5.2.1-214 Aportes NO₂ anual. Escenario 1

Estación	NO ₂ anual		
	CA(µg/m ³)	MD(µg/m ³)	Relación MD/CA
Patio-Taller	15,5	0,1	0,9%
Portal Américas	15,9	1,7	10,5%
Villa Blanca	19,6	0,9	4,6%
Kennedy	18,7	2,9	15,3%
Palenque	17,2	2,1	12,0%
Avenida Boyacá	27,6	3,6	13,2%
Avenida 68	21,1	2,6	12,3%

Estación	NO ₂ anual		
	CA(µg/m ³)	MD(µg/m ³)	Relación MD/CA
Rosario	16,1	2,7	17,0%
NQS	23,7	3,9	16,4%
Santander	13,9	3,7	26,8%
Hospitales	44,1	4,0	9,1%
Calle 10-11	14,9	0,9	6,2%
Calle 26	15,5	0,4	2,4%
Calle 45	18,3	1,9	10,6%
Calle 52	19,0	1,5	7,7%
Calle 63	15,1	1,7	11,3%
Calle 72	16,5	1,6	9,7%
Calle 76	14,6	0,6	4,0%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La relación entre la modelación y calidad el aire se presenta en un rango de hasta 27%, donde la estación Santander presenta 26,8% de similitud. Mientras que existe un valor que no supera el 1% como es: Patio-Taller. La Figura 5.2.1-280 presenta los aportes anuales de NO₂, donde se observa que las estaciones con concentraciones más elevadas son NQS, Santander y Hospitales.

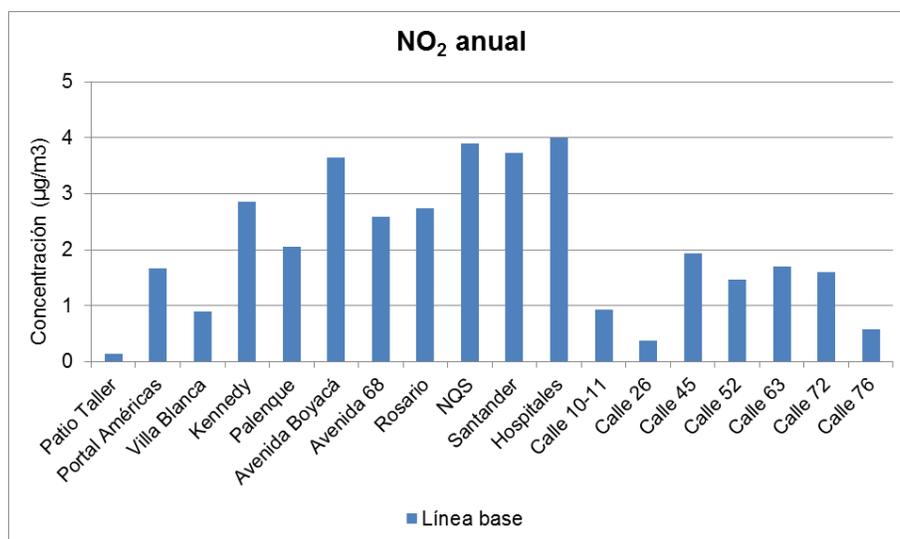


Figura 5.2.1-280 Aportes anuales NO₂. Escenario 1

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-281 se observa la isopleta de concentración anual de NO₂, se obtiene un rango de concentración anual de 0.9 – 7.2 µg/m³. la isopleta excede la norma anual de 100 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan entre NQS y Hospitales.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

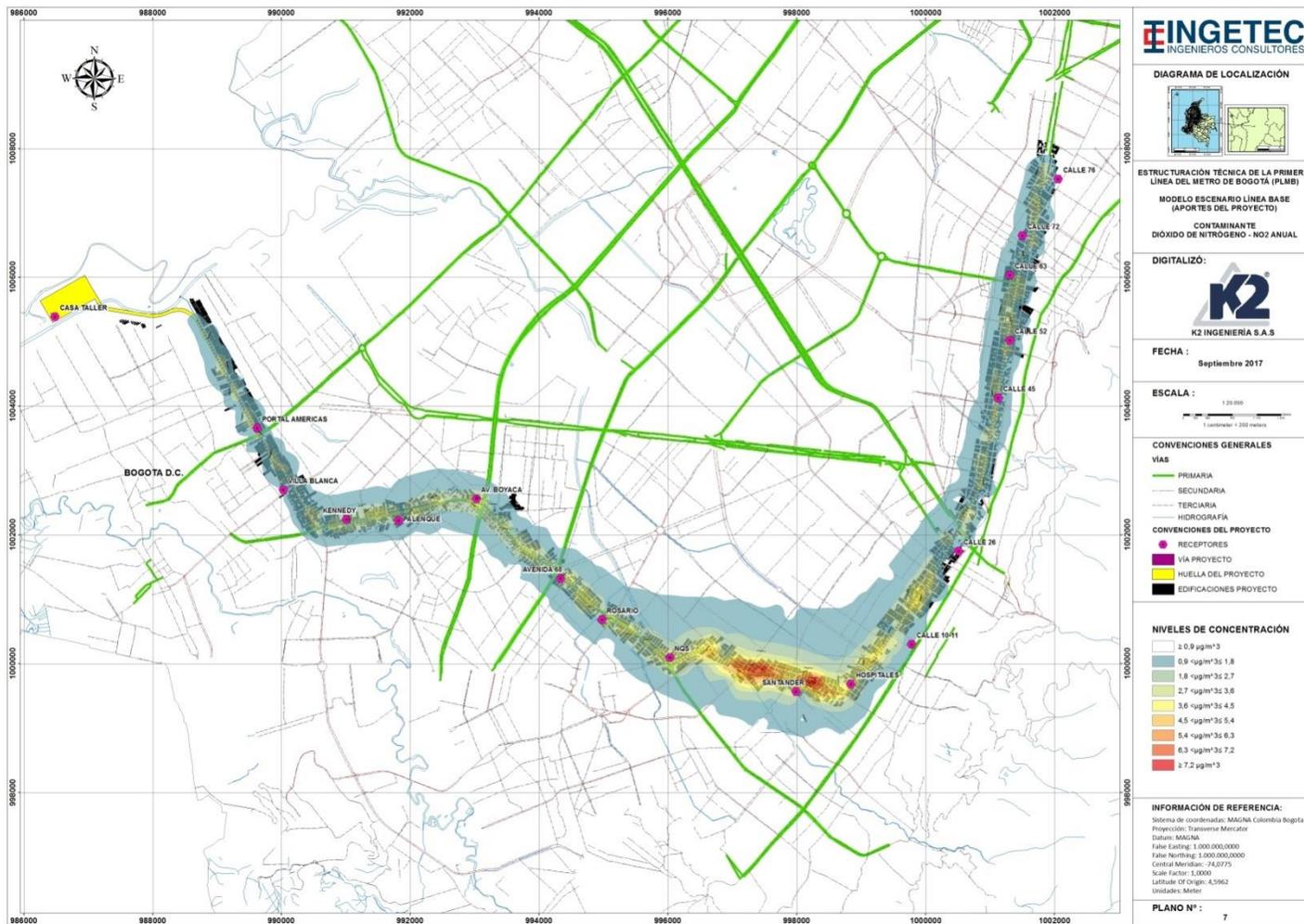


Figura 5.2.1-281 Isopleta anual NO₂ proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Resultados de modelación – Dióxido de azufre (SO₂)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los casos de estudio del dióxido de azufre, los valores de inmisión de SO₂ en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla. La resolución temporal de modelación se tomó con base a lo aplicable en la Resolución 610 de 2010, esto es, 24 h y anual.

Tabla 5.2.1-215 Resultados SO₂ 24 horas y anual. Escenario 1

Estación	SO ₂ (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,06	0,02
Portal Américas	0,73	0,21
Villa Blanca	0,28	0,11
Kennedy	0,95	0,32
Palenque	0,80	0,23
Avenida Boyacá	1,15	0,41
Avenida 68	0,78	0,29
Rosario	0,99	0,31
NQS	1,33	0,44
Santander	1,67	0,46
Hospitales	1,52	0,46
Calle 10-11	0,47	0,10
Calle 26	0,27	0,04
Calle 45	0,72	0,24
Calle 52	0,59	0,18
Calle 63	0,65	0,21
Calle 72	0,62	0,20
Calle 76	0,26	0,07

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anuales de SO₂ estimados sobre los receptores discretos no representan una concentración mayor a 1 µg/m³, al comparar el valor con los límites anuales establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (80 µg/m³) se observa que no se presentan excedencias de la normativa.

La Tabla 5.2.1-216 presenta los aportes del modelo en relación con la calidad del aire, donde el aporte más alto es del sector Hospitales con 2,66% y el menor con 0,08% en Patio-Taller.

Tabla 5.2.1-216 Aportes SO₂ anual. Escenario 1

Estación	SO ₂ anual		
	CA(µg/m ³)	MD(µg/m ³)	Relación MD/CA
Patio-Taller	20,17	0,02	0,08%
Portal Américas	17,27	0,21	1,19%

Estación	SO ₂ anual		
	CA(µg/m ³)	MD(µg/m ³)	Relación MD/CA
Villa Blanca	17,20	0,11	0,62%
Kennedy	17,26	0,32	1,86%
Palenque	18,03	0,23	1,28%
Avenida Boyacá	17,93	0,41	2,27%
Avenida 68	15,18	0,29	1,91%
Rosario	16,81	0,31	1,83%
NQS	17,58	0,44	2,50%
Santander	17,85	0,46	2,56%
Hospitales	17,39	0,46	2,66%
Calle 10-11	18,68	0,10	0,56%
Calle 26	19,36	0,04	0,22%
Calle 45	17,97	0,24	1,33%
Calle 52	17,54	0,18	1,03%
Calle 63	16,46	0,21	1,28%
Calle 72	16,73	0,20	1,18%
Calle 76	15,54	0,07	0,46%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La Figura 5.2.1-282 es una representación de los datos anuales de la Tabla 5.2.1-215, donde se puede observar que los receptores con mayores aportes son NQS, Santander y Hospitales. Mientras que los que presentan las menores concentraciones son: Patio-Taller y Calle 26.

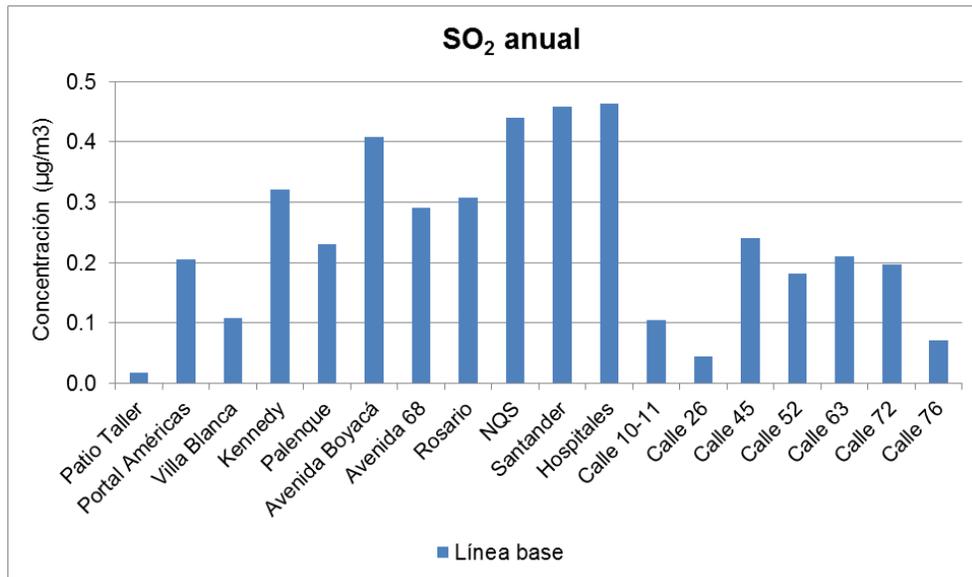


Figura 5.2.1-282. Aportes anuales SO₂. Escenario 1

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La isopleta para SO₂ se presenta a continuación para el periodo anual, presenta un rango de concentración de 0,11 – 0,88 µg/m³. No se excede la norma anual de 80 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se obtienen entre NQS y Hospitales.

El Anexo 5.2.1.3 Modelo de Dispersión contiene los mapas de dispersión de SO₂ (mejorando el nivel de detalle) reportados para el periodo anual, 24 horas y de 3 horas

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

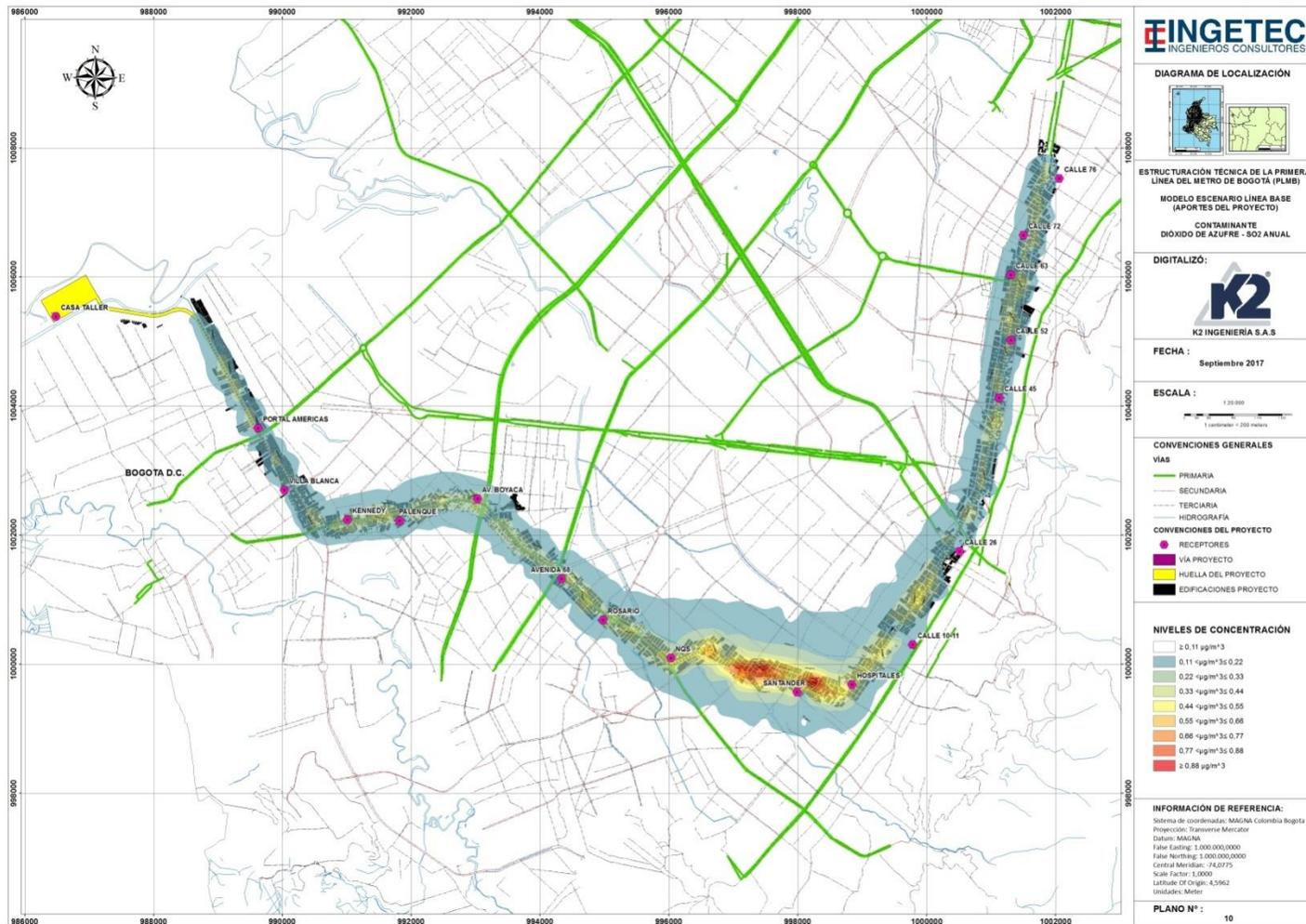


Figura 5.2.1-283 Isopleta anual SO₂ proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Resultados de modelación – Monóxido de carbono (CO)

En la Tabla 5.2.1-217 se presentan las concentraciones máximas obtenidas mediante simulación de dispersión de monóxido de carbono en los receptores discretos para periodos horario y octahorario.

Tabla 5.2.1-217 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 1

Estación	CO (µg/m ³) MD	
	1 hora*	8 horas*
Patio-Taller	7,5	3,1
Portal Américas	54,6	28,5
Villa Blanca	27,1	12,8
Kennedy	66,0	42,4
Palenque	51,6	35,0
Avenida Boyacá	68,7	49,7
Avenida 68	61,0	31,6
Rosario	66,0	42,6
NQS	89,7	59,0
Santander	128,8	74,0
Hospitales	104,4	66,4
Calle 10-11	55,8	21,7
Calle 26	31,4	13,8
Calle 45	82,7	35,9
Calle 52	59,5	27,1
Calle 63	46,8	29,0
Calle 72	47,4	28,2
Calle 76	20,6	11,7

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración 8 horas de CO estimados sobre los receptores discretos no superan los 74 µg/m³, al comparar el valor con los límites establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (10000 µ/m³) se observa que no se presentan excedencias de la normativa. En la Tabla 5.2.1-218 se consolidan las concentraciones anuales de calidad del aire y modelación, así como su relación entre ellas.

Tabla 5.2.1-218 Aportes CO8 horas. Escenario 1

Estación	CO 8 horas		
	CA(µg/m ³)	MD*(µg/m ³)	Relación MD/CA
Patio-Taller	110,6	3,1	2,8%
Portal Américas	100,6	28,5	28,4%
Villa Blanca	493,1	12,8	2,6%
Kennedy	161,7	42,4	26,2%
Palenque	103,5	35,0	33,8%
Avenida Boyacá	462,3	49,7	10,7%

Estación	CO 8 horas		
	CA($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MD*($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relación MD/CA
Avenida 68	33,5	31,6	94,2%
Rosario	120,9	42,6	35,2%
NQS	249,0	59,0	23,7%
Santander	543,5	74,0	13,6%
Hospitales	494,4	66,4	13,4%
Calle 10-11	105,2	21,7	20,6%
Calle 26	1189,4	13,8	1,2%
Calle 45	136,6	35,9	26,3%
Calle 52	410,1	27,1	6,6%
Calle 63	539,8	29,0	5,4%
Calle 72	80,9	28,2	34,8%
Calle 76	257,3	11,7	4,6%

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

El aporte más alto se presenta en la Avenida 68 con 94.2% con relación a la calidad del aire y el menor valor se encuentra en Calle 26 con 1,2%.

Los resultados de concentración 8 horas se pueden apreciar en la Figura 5.2.1-284, donde los receptores con mayores aportes fueron Santander y Hospitales con 74 y 66,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente

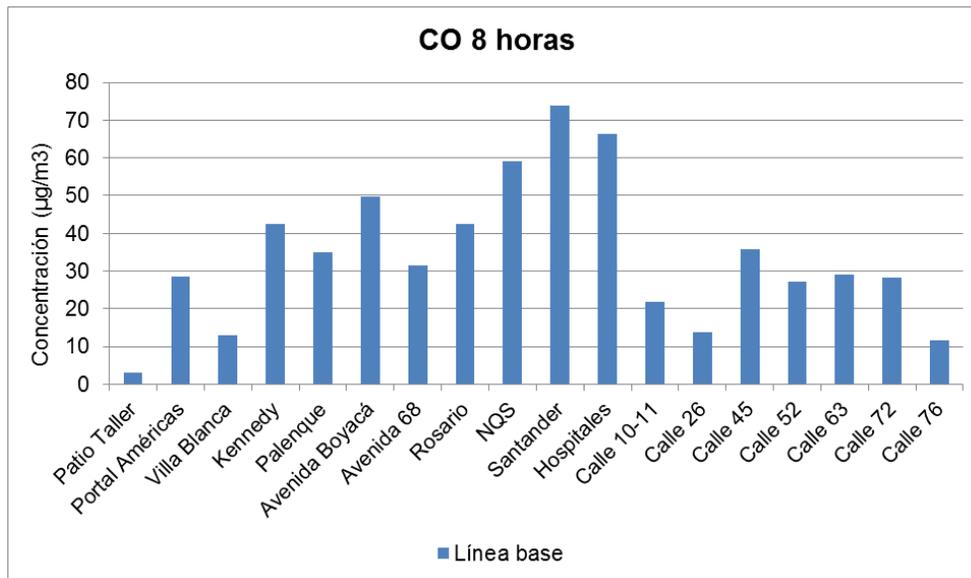


Figura 5.2.1-284 Aportes 8 horas CO Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

En la Figura 5.2.1-285 se observa la isopleta de concentración octahoraria para el escenario modelado, el rango de concentración es de 13,75 – 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No se excede la norma anual de 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Hospitales

En el Anexo 5.2.1.3 Modelo de Dispersión se incluyen los mapas de dispersión de CO con un mejor nivel de detalle, para los periodos horarios y octahorarias como resultado de la modelación.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

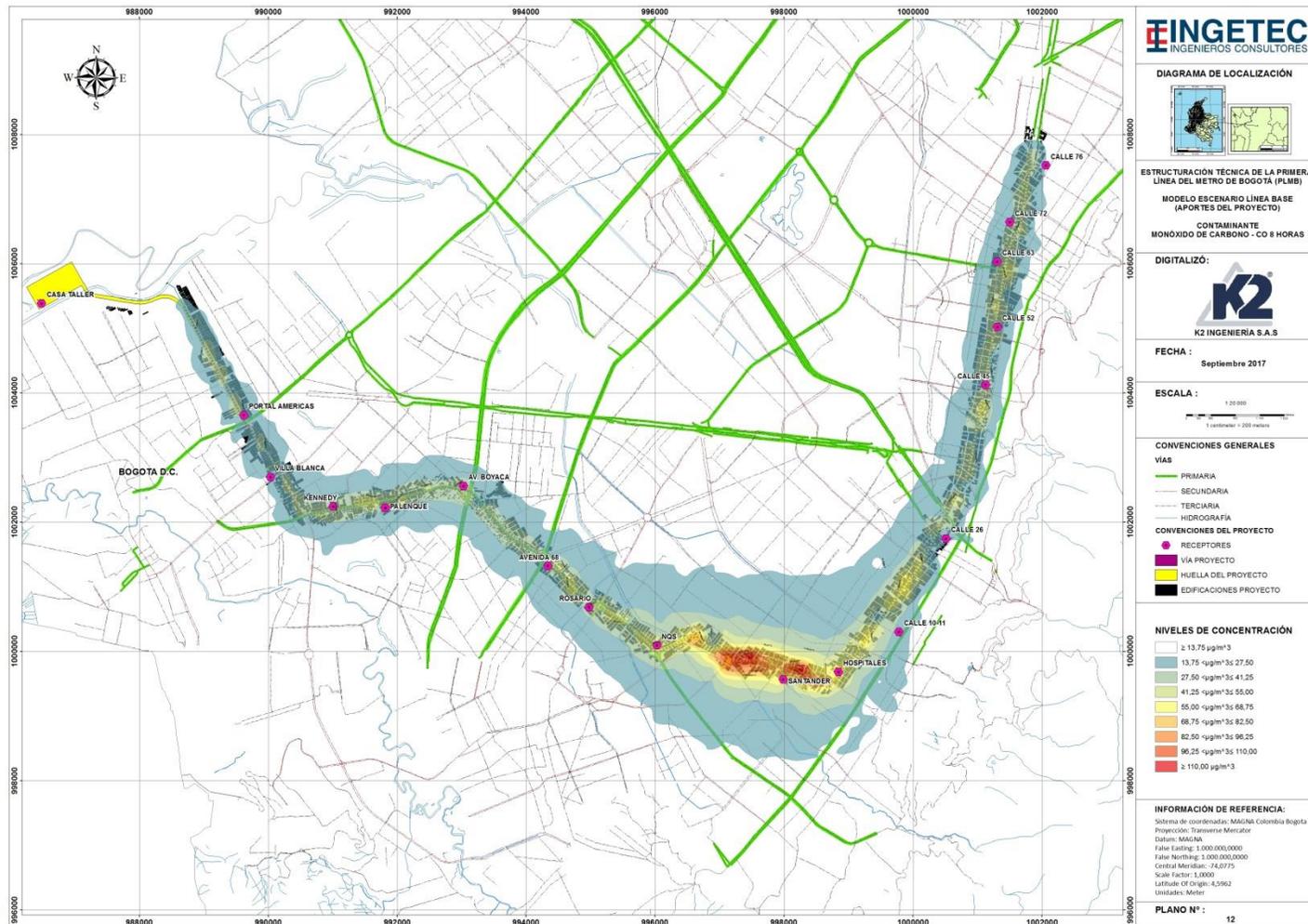


Figura 5.2.1-285 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Resultados de modelación – Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso de estudio. Los valores de inmisión de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla.

Tabla 5.2.1-219 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 1

Estación	VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,4	0,1
Portal Américas	4,4	1,3
Villa Blanca	1,8	0,7
Kennedy	6,7	2,3
Palenque	5,7	1,6
Avenida Boyacá	8,3	2,9
Avenida 68	5,6	2,1
Rosario	7,0	2,2
NQS	9,4	3,1
Santander	10,3	2,8
Hospitales	10,3	3,1
Calle 10-11	3,3	0,7
Calle 26	1,9	0,3
Calle 45	4,4	1,5
Calle 52	3,6	1,1
Calle 63	3,9	1,3
Calle 72	3,7	1,2
Calle 76	1,6	0,4

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-286 se puede apreciar los aportes de los compuestos orgánicos volátiles en las estaciones de calidad del aire.

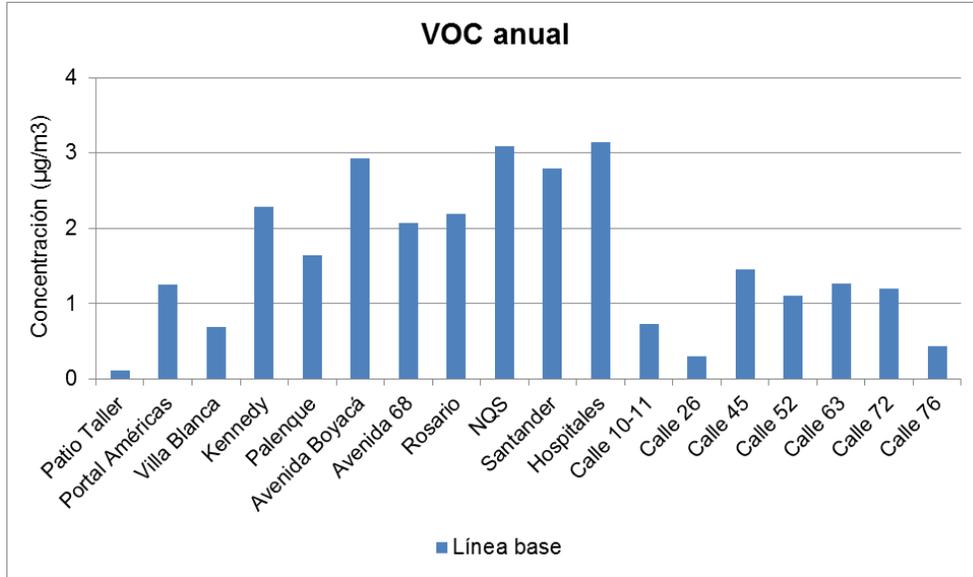


Figura 5.2.1-286 Aportes anuales VOC. Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anual de VOC estimados sobre los receptores discretos no representan un incremento de más de 4 µg/m³. En el caso de los compuestos orgánicos volátiles no es posible comparar con la Resolución 610 de 2010, ya que no está regulado el nivel máximo permisible de concentración de VOC.

La isopleta anual para VOC se presenta a continuación, posee un rango de concentración de 0,65 – 5,20 µg/m³ de los compuestos orgánicos volátiles, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Hospitales.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



Figura 5.2.1-287 Isopleta anual VOC proyecto PLMB. Escenario 1
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

- Resultados escenarios Construcción y Operación sin línea base

Escenario construcción

Para el escenario de la etapa de construcción, los resultados corresponden a la proyección del tráfico vehicular y las diferentes actividades identificadas en el numeral 5.2.1.20.9.12. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}):

La Tabla 5.2.1-220 presenta la contribución estimada de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en los receptores discretos descritos en el numeral 5.2.1.20.9.7.

Tabla 5.2.1-220 Resultados PM₁₀- PM_{2.5}24 horas y anual. Escenario 2

ESTACIÓN	PM ₁₀ (µg/m3) MD		PM _{2.5} (µg/m3) MD	
	24 HORAS ¹⁸	ANUAL	24 HORAS	ANUAL
Patio-Taller	17,0	3,4	8,0	1,6
Portal Américas	141,0	25,8	66,5	12,0
Villa Blanca	48,8	13,2	24,5	6,5
Kennedy	88,5	30,0	42,9	14,3
Palenque	36,7	7,4	16,9	3,2
Avenida Boyacá	65,0	14,9	31,7	6,9
Avenida 68	106,2	28,5	51,7	13,5
Rosario	63,3	16,1	29,9	7,2
NQS	94,0	31,8	41,9	14,1
Santander	49,8	10,3	22,6	4,5
Hospitales	158,7	55,0	74,9	25,3
Calle 10-11	31,5	5,1	14,9	2,3
Calle 26	29,4	2,6	14,3	1,2
Calle 45	76,2	11,0	38,9	5,3
Calle 52	114,0	18,0	59,3	9,3
Calle 63	42,7	13,2	22,0	6,8
Calle 72	40,0	12,2	20,7	6,2
Calle 76	25,9	3,9	13,3	2,0

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

¹⁸ Valor máximo de concentración obtenido en la modelación

A partir de lo anterior, en los receptores discretos donde las concentraciones 24 Horas obtenidas exceden los estándares normativos (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$) son: Portal Américas, Avenida 68, Hospitales y Calle 52. Es de resaltar que el valor presentado en la Figura 5.2.1-288, para el periodo 24 horas corresponde es el máximo presentado en cada receptor.

En cuanto a los resultados anuales arrojados mediante la simulación no superan los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado, siendo el valor más alto la estación Hospitales de 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 25,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, respectivamente, mientras los valores más bajos se presentaron en Patio-Taller, Calle 26 y Calle 76 con resultados de menores a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ver Figura 5.2.1-289 y Figura 5.2.1-290.

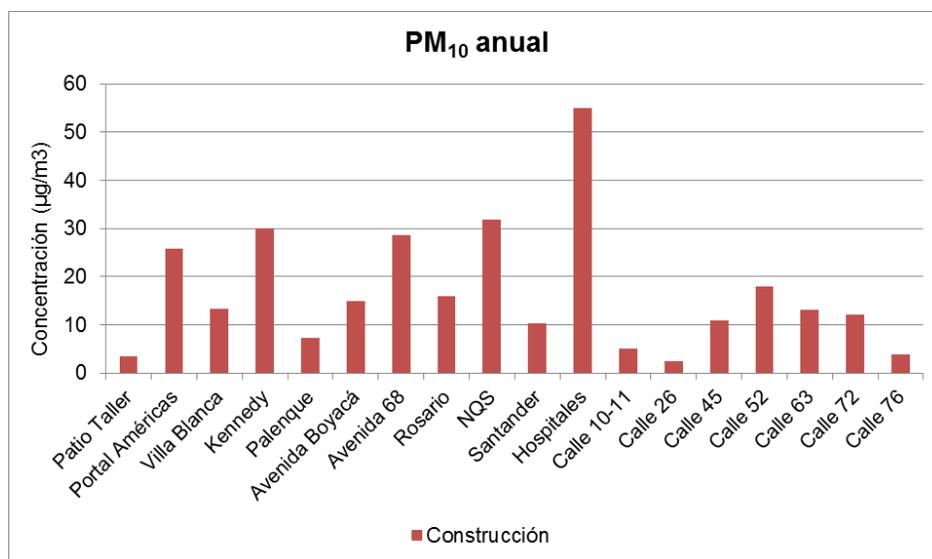


Figura 5.2.1-288 Aportes anuales PM_{10} – Escenario Construcción
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

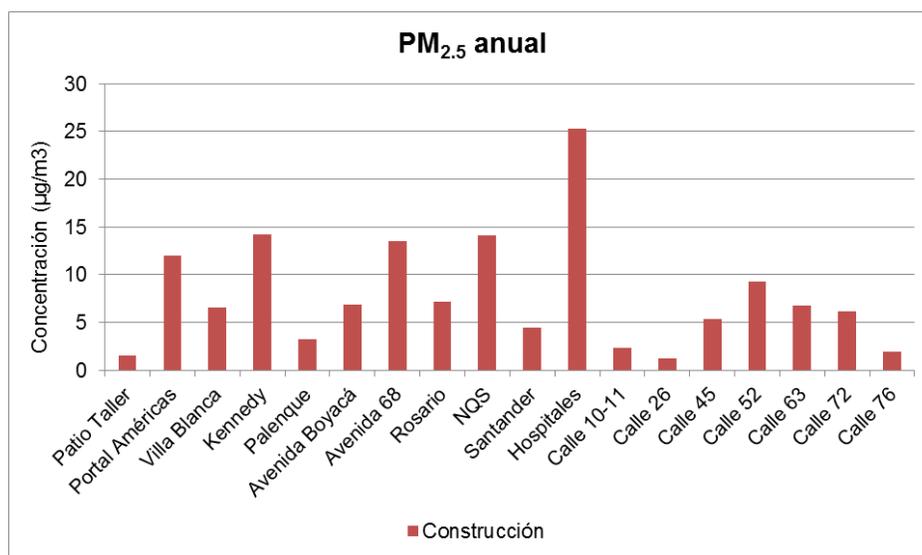


Figura 5.2.1-289 Aportes anuales $\text{PM}_{2.5}$ – Escenario Construcción
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

A continuación se muestra la distribución de curvas de concentración – Isopletas para PM_{10} y $PM_{2.5}$ estimadas para el escenario de construcción en el periodo anual, como resultado de la modelación

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

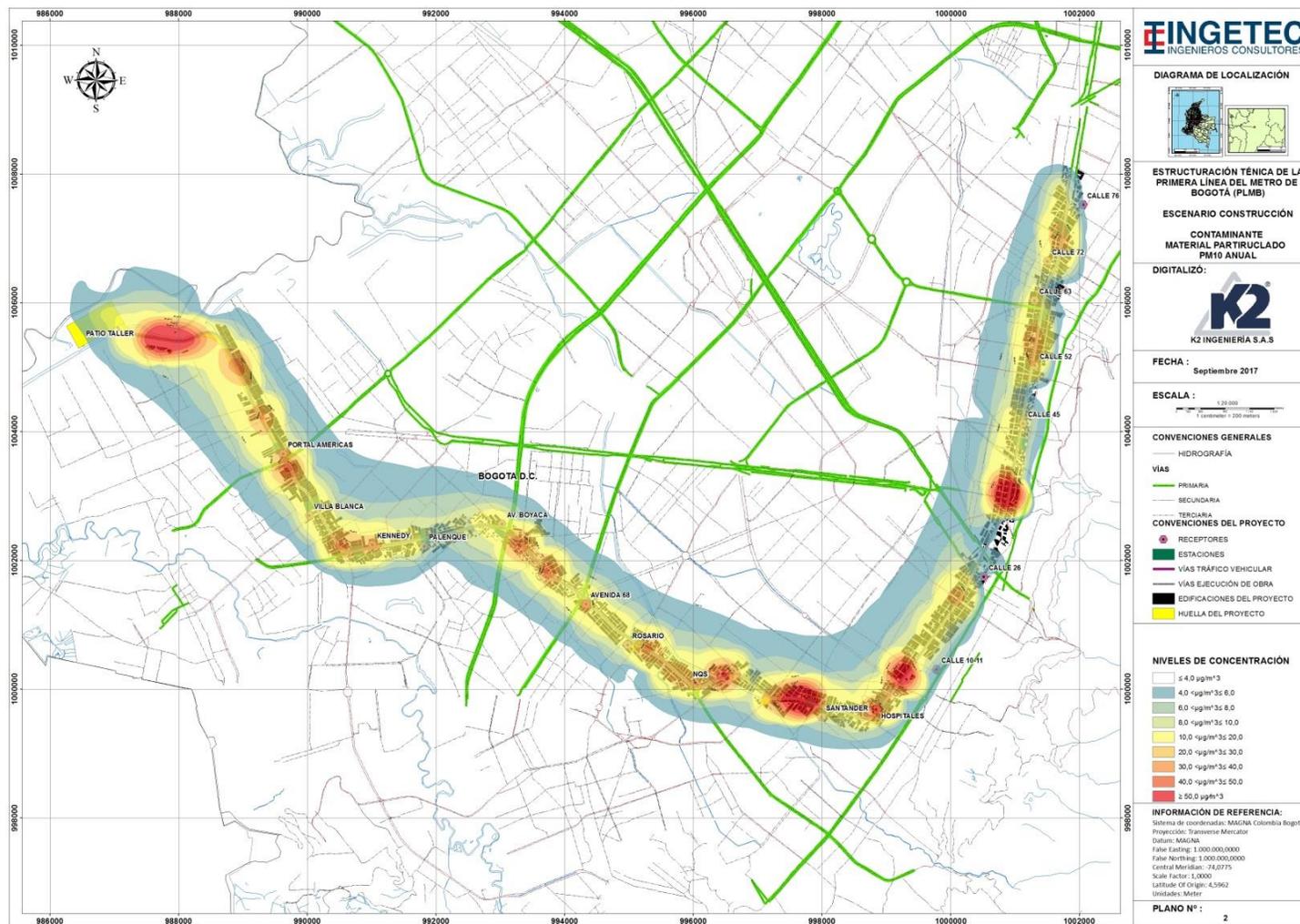


Figura 5.2.1-290 Isopleta anual PM₁₀ proyecto PLMB. – Escenario Construcción
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

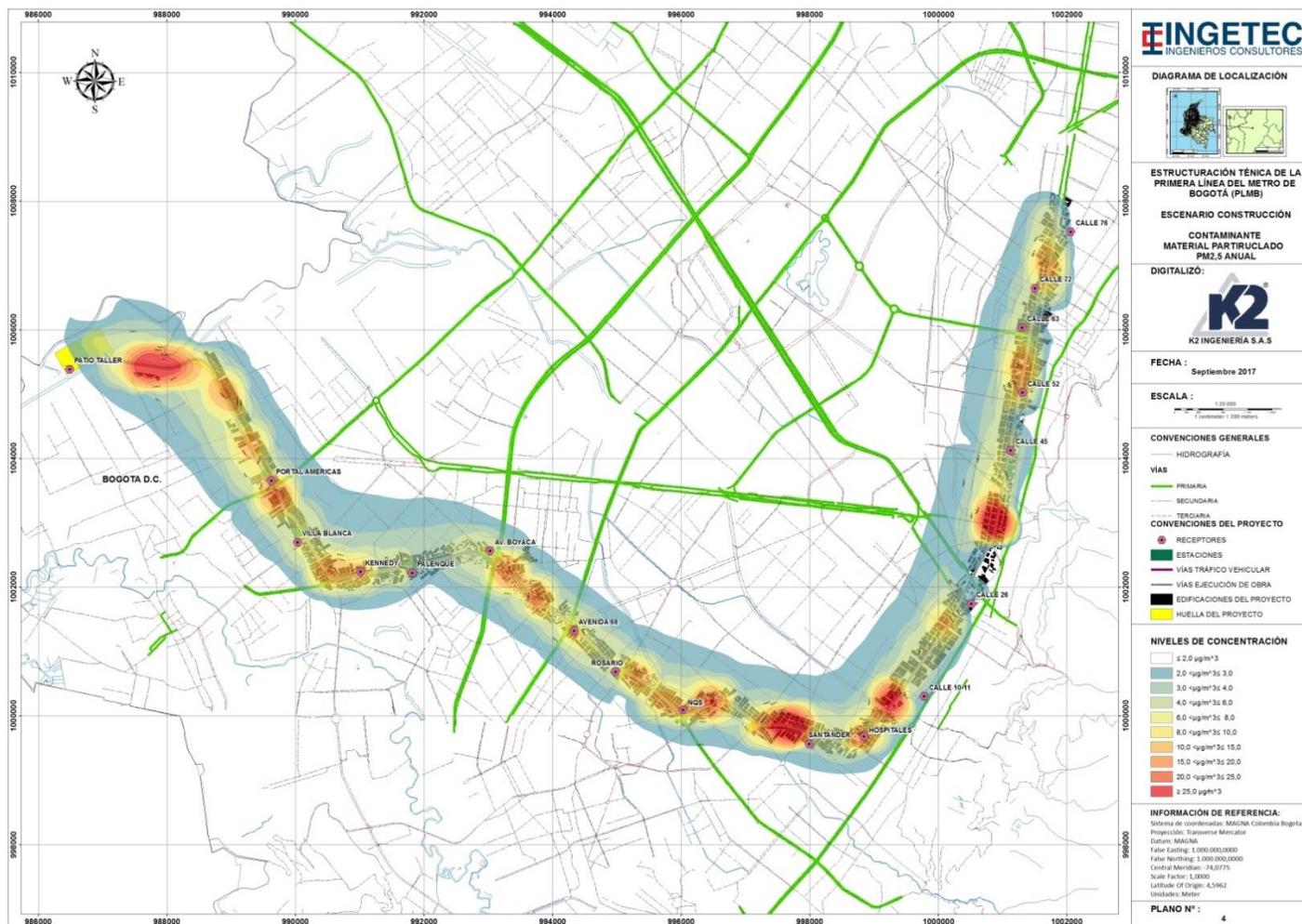


Figura 5.2.1-291 Isopleta anual PM_{2.5} proyecto PLMB.- Escenario Construcción

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

Como se observa anteriormente, la dispersión de material particulado se visualiza uniforme en el área de influencia del proyecto, en el cual se tuvo en cuenta edificaciones, topografía de la zona de estudio, factores meteorológicos, como campos de viento y alturas de mezcla que inciden directamente en la dispersión de la pluma gaussiana, con componentes predominantes provenientes del Sureste (SE).

Para PM₁₀, la isopleta presenta un rango de concentración de 4 - 50µg/m³. Se presentan las mayores concentraciones entre el sector Patio-Taller, entre NQS y Calle 10 – 11 y Calle 26 – Calle 45. Como puede apreciarse en las curvas de concentración de PM_{2.5}, los mayores aportes se presentan en los mismos sectores, con un rango de concentración de 2 a 25 µg/m³.

La dispersión de material particulado se visualiza uniforme en el área de influencia del proyecto, en el cual se tuvo en cuenta edificaciones, topografía de la zona de estudio, factores meteorológicos, como campos de viento y alturas de mezcla que inciden directamente en la dispersión de la pluma gaussiana, con componentes predominantes provenientes del Sureste (SE), tal como se observó en los mapas de dispersión (Figura 5.2.1-291 y Figura 5.2.1-290).

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los resultados del modelo de dispersión atmosférico para dióxido de nitrógeno (NO₂) es expuesto en la siguiente tabla; los periodos de tiempo utilizados en la modelación se tomaron con base a lo establecido en la Resolución 610 de 2010 para dióxido de nitrógeno (NO₂), 24 horas y anual. La Tabla presenta los resultados 24 horas y anuales del Dióxido de Nitrógeno.

Tabla 5.2.1-221 Resultados NO₂ 24 horas y anual. Escenario 2

Estación	NO ₂ (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	6,4	1,5
Portal Américas	67,3	12,0
Villa Blanca	20,0	5,6
Kennedy	40,3	14,0
Palenque	18,2	4,0
Avenida Boyacá	27,7	6,9
Avenida 68	45,4	13,3
Rosario	26,1	6,9
NQS	41,5	14,0
Santander	26,9	6,3
Hospitales	76,3	28,6
Calle 10-11	15,2	2,8
Calle 26	12,2	1,2
Calle 45	34,2	5,7
Calle 52	50,7	8,1
Calle 63	19,6	6,2
Calle 72	18,3	5,7
Calle 76	11,9	1,9

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Se puede apreciar que los valores anuales no superan los 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles de concentración diario (máximo) y anual (promedio), evaluados en el presente estudio producto del modelo de dispersión, resultan ser inferiores a los umbrales establecidos en la legislación de calidad del aire para NO_2 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por año). El receptor que potencialmente recibiría los mayores aportes es Hospitales, con valor de 28,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figura 5.2.1-292 presenta los aportes anuales de NO_2 , donde se observa que las estaciones con concentraciones más elevadas son NQS, Santander y Hospitales.

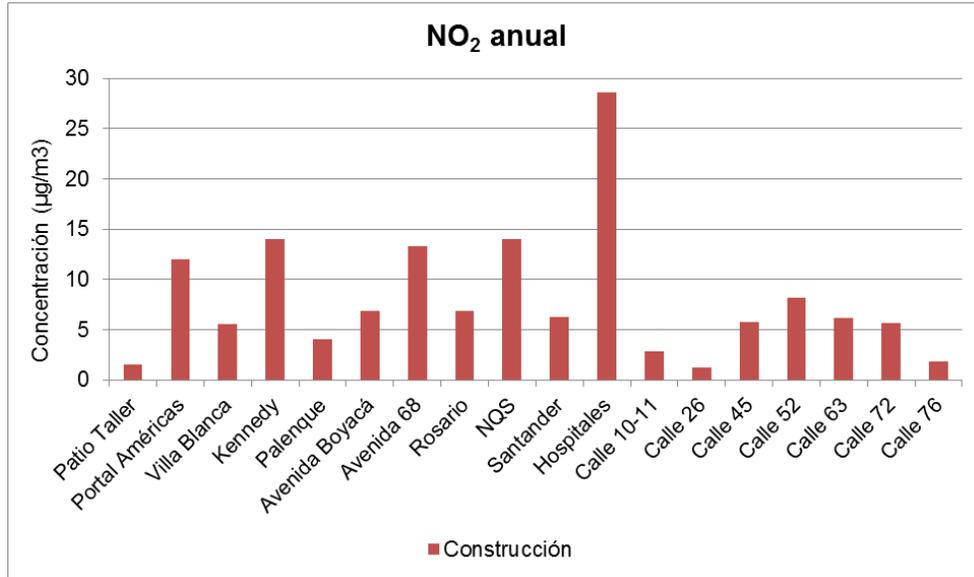


Figura 5.2.1-292 Aportes anuales NO_2 . Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-293 se observa la isopleta de concentración anual de NO_2 , se obtiene un rango de concentración anual de 2 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La isopleta no excede la norma anual de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan cerca de Patio-Taller, en NQS – Hospitales y en Calle 26 – Calle 45.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

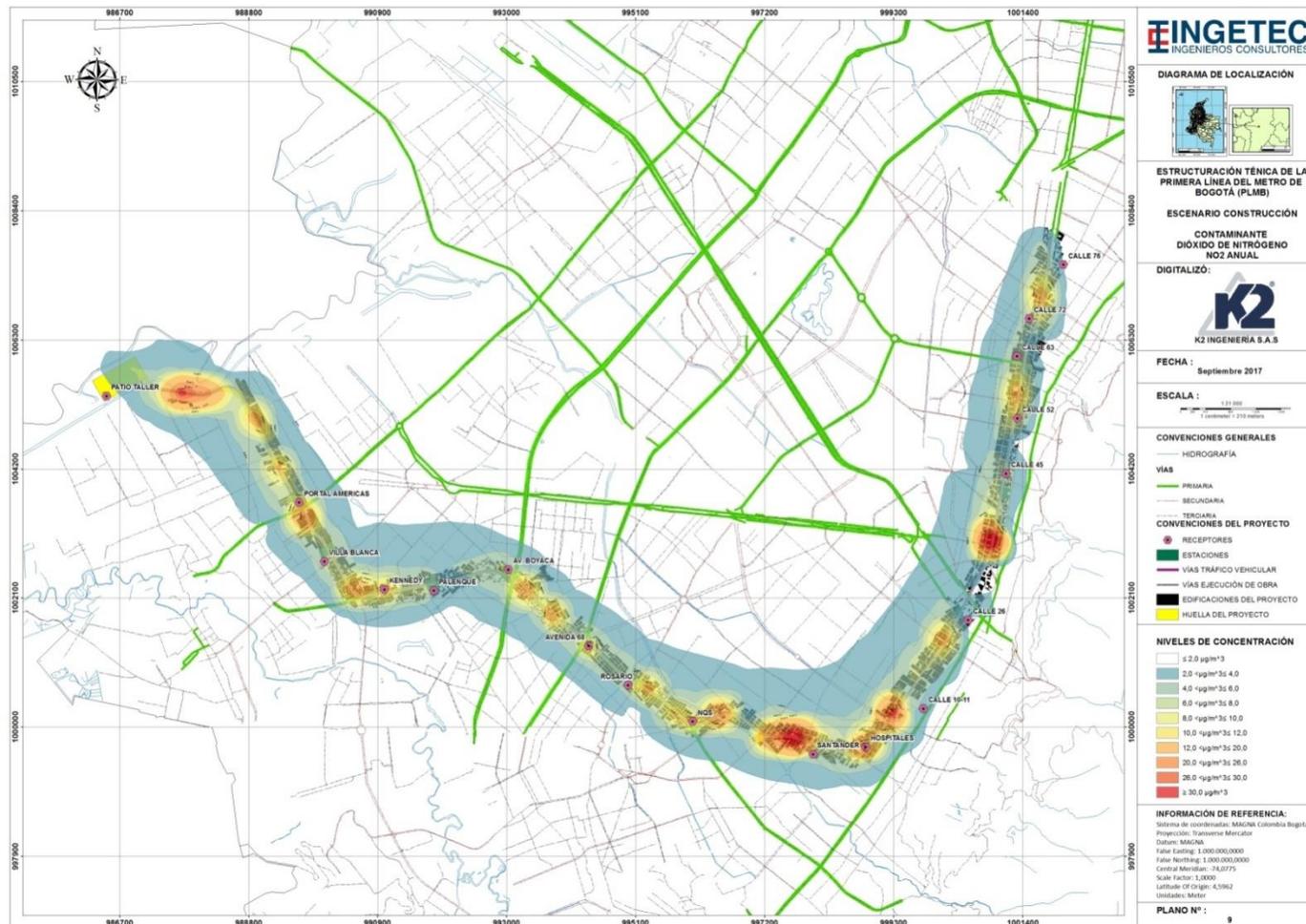


Figura 5.2.1-293 Isopleta anual NO₂ proyecto PLMB. Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Dióxido de azufre (SO₂)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los casos de estudio del dióxido de azufre. Los valores de inmisión de SO₂ en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla 5.2.1-222. La resolución temporal de modelación se tomó con base a lo aplicable en la Resolución 610 de 2010, esto es 24 h y anual.

Tabla 5.2.1-222 Resultados SO₂ 24 horas y anual. Escenario 2

Estación	SO ₂ (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,19	0,06
Portal Américas	1,80	0,44
Villa Blanca	0,50	0,17
Kennedy	1,75	0,63
Palenque	0,96	0,27
Avenida Boyacá	1,02	0,35
Avenida 68	1,26	0,45
Rosario	1,16	0,36
NQS	2,17	0,75
Santander	2,04	0,56
Hospitales	5,98	2,15
Calle 10-11	0,99	0,23
Calle 26	0,64	0,08
Calle 45	0,66	0,22
Calle 52	0,47	0,11
Calle 63	0,34	0,11
Calle 72	0,32	0,11
Calle 76	0,18	0,04

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anuales de SO₂ estimados sobre los receptores discretos no representan una concentración mayor a 3 µg/m³, al comparar el valor con los límites anuales establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (80 µg/m³, donde no se presentan excedencias de la normativa.

La Figura 5.2.1-294 es una representación de los datos anuales de la Tabla 5.2.1-222, donde se puede observar que el receptor con mayores aportes es Hospitales. Mientras que los que presentan las menores concentraciones son: Patio-Taller, Calle 26 y Calle 76.

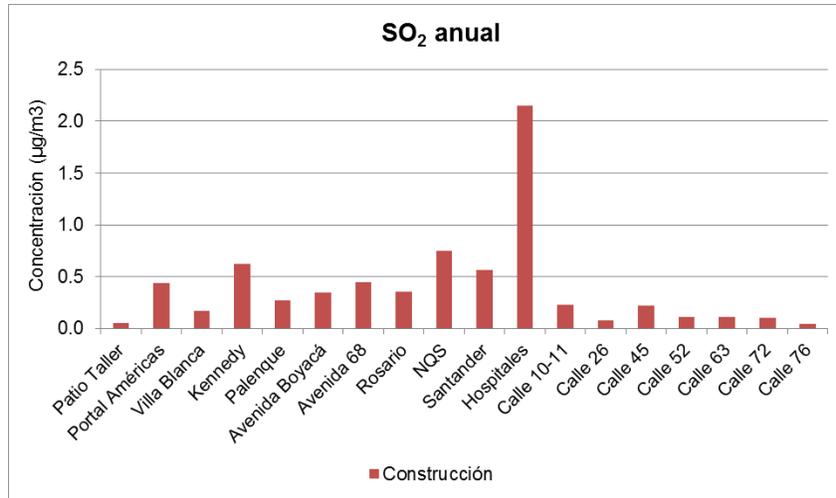


Figura 5.2.1-294 Aportes anuales SO₂. Escenario2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La Isoleta para SO₂ se presenta a continuación para el periodo anual, presenta un rango de concentración de 0,1– 1,8 µg/m³. No se excede la norma anual de 80 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se obtienen entre NQS y Hospitales y las menores desde la Calle 10 – 11, lo anterior obedece a la reducción del tráfico de vehículos de los carriles habilitados (26580 al día).

El Anexo 5.2.1.3 contiene los mapas de dispersión de SO₂ (mejorando el nivel de detalle) reportados para el periodo anual, 24 horas y de 3 horas

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

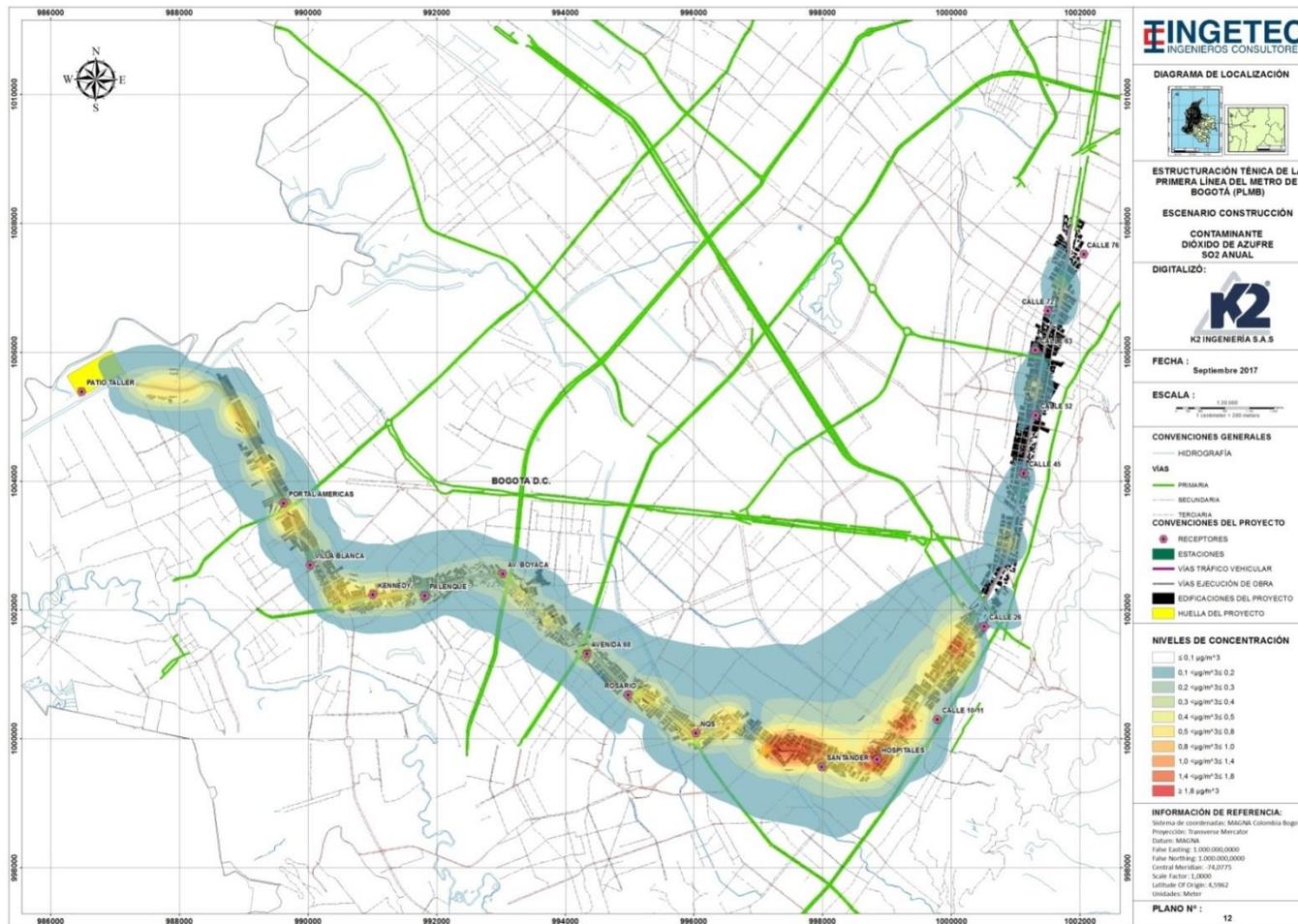


Figura 5.2.1-295 Isopleta anual SO₂ proyecto PLMB. Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Monóxido de carbono (CO)

En la Tabla 5.2.1-223 se presentan las concentraciones máximas obtenidas mediante simulación de dispersión de monóxido de carbono en los receptores discretos para periodos horario y octahorario.

Tabla 5.2.1-223 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 2

Estación	CO (µg/m ³) MD	
	1 hora*	8 horas*
Patio-Taller	55,4	15,1
Portal Américas	243,6	113,5
Villa Blanca	74,9	35,9
Kennedy	181,7	93,7
Palenque	96,1	53,5
Avenida Boyacá	144,1	54,1
Avenida 68	137,0	76,3
Rosario	117,7	62,1
NQS	194,7	114,6
Santander	177,6	98,5
Hospitales	399,2	277,5
Calle 10-11	113,7	49,3
Calle 26	107,9	40,7
Calle 45	182,5	56,0
Calle 52	160,9	58,3
Calle 63	75,4	30,8
Calle 72	103,8	28,6
Calle 76	59,0	18,1

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración 8 horas de CO estimados sobre los receptores discretos no superan los 300 µg/m³, al comparar el valor con los límites establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (10000 µ/m³) se observa que no se presentan excedencias de la normativa.

Los resultados de concentración 8 horas se pueden apreciar en la Figura 5.2.1-296, donde el receptor con mayores aportes fue Hospitales con 277,5 µg/m³, respectivamente

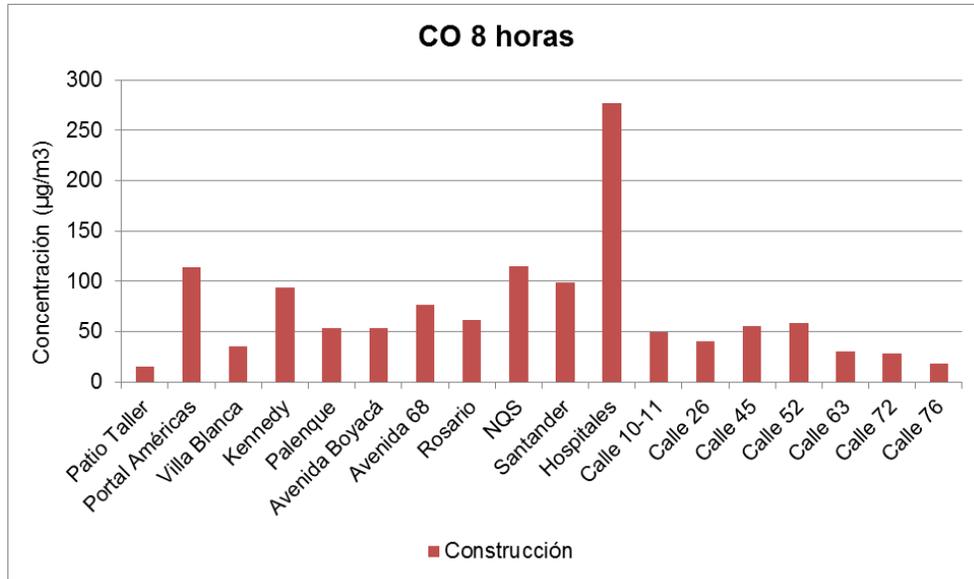


Figura 5.2.1-296 Aportes 8 horas CO. Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

En la Figura 5.2.1-297 se observa la isopleta de concentración octahoraria para el escenario modelado, el rango de concentración es de 20 – 190 µg/m³. No se excede la norma anual de 10000 µg/m³, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Calle 10-11.

En el Anexo 5.2.1.3 Modelo de Dispersión se incluyen los mapas de dispersión de CO con un mejor nivel de detalle, para los periodos horarios y octahorarias como resultado de la modelación.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

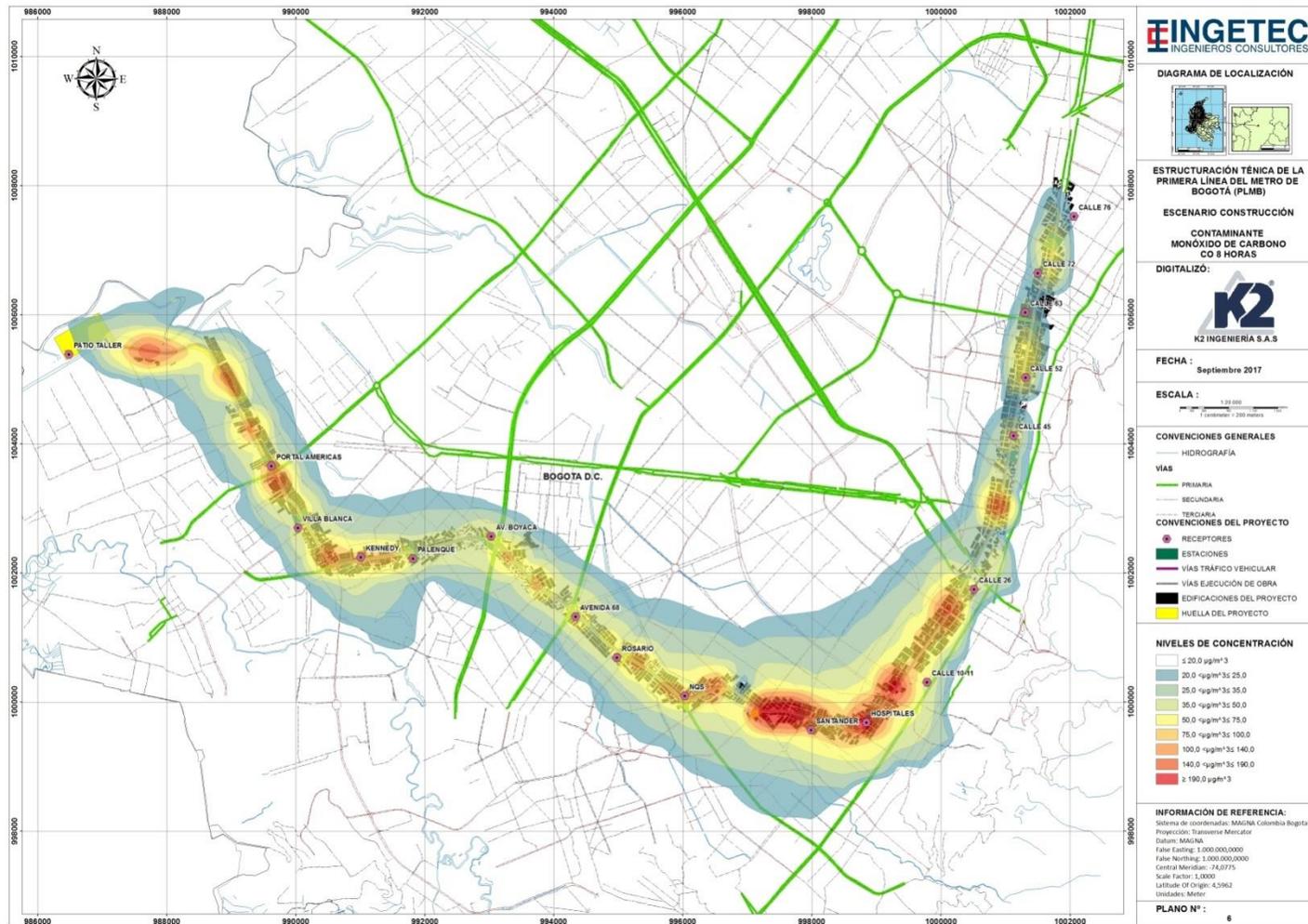


Figura 5.2.1-297 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB. Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso de estudio. Los valores de inmisión de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla.

Tabla 5.2.1-224 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 2

Estación	VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	1,5	0,4
Portal Américas	13,7	3,3
Villa Blanca	4,1	1,4
Kennedy	13,4	4,8
Palenque	7,3	2,0
Avenida Boyacá	7,6	2,6
Avenida 68	9,9	3,3
Rosario	8,8	2,7
NQS	16,1	5,6
Santander	12,8	3,5
Hospitales	37,2	13,4
Calle 10-11	6,3	1,4
Calle 26	4,2	0,5
Calle 45	5,3	1,7
Calle 52	4,9	1,0
Calle 63	2,6	0,9
Calle 72	2,5	0,8
Calle 76	1,6	0,3

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-298 se puede apreciar los aportes de los compuestos orgánicos volátiles en las estaciones de calidad del aire.

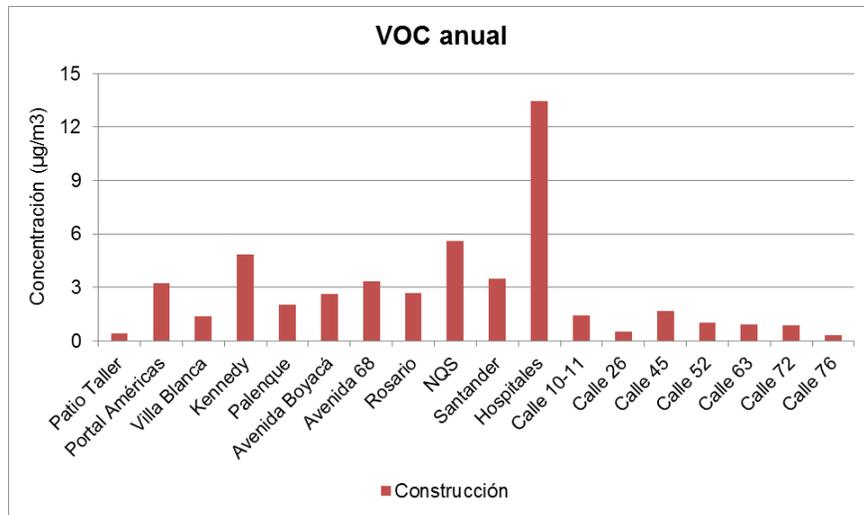


Figura 5.2.1-298 Aportes anuales VOC. Escenario 2
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anual de VOC estimados sobre los receptores discretos no representan valores superiores a 15 µg/m³. En el caso de los compuestos orgánicos volátiles no es posible comparar con la Resolución 610 de 2010, ya que no está regulado el nivel máximo permisible de concentración de VOC.

La isopleta anual para VOC se presenta a continuación, posee un rango de concentración de 0.7 – 8.8 µg/m³ de los compuestos orgánicos volátiles, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Calle 26.

Se recomienda en la etapa de construcción del proyecto continuar con un segundo modelo de dispersión y una campaña de monitoreo de calidad del aire; esto permitirá verificar la calidad del aire y la implementación de las medidas de control y mitigación de emisiones atmosféricas durante la etapa constructiva, como el cumplimiento normativo.

Escenario operación

Para el escenario de la etapa de operación, los resultados corresponden a la proyección del tráfico vehicular y las diferentes actividades identificadas en el numeral 5.2.1.20.9.12. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}):

En la Tabla 5.2.1-225 se presenta la contribución estimada de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en los receptores discretos.

Tabla 5.2.1-225 Resultados PM₁₀– PM_{2.5}24 horas y anual. Escenario 3 sin concentración de fondo con el 70% de reducción sobre la Av.Caracas

Estación	PM ₁₀ (µg/m ³) MD		PM _{2,5} (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual	24 horas*	Anual
Patio-Taller	9,76	3,80	0,4	0,1
Portal Américas	152,60	83,69	5,3	1,5
Villa Blanca	46,42	24,90	2,0	0,8
Kennedy	131,64	70,94	6,2	2,1
Palenque	61,10	32,25	5,2	1,5
Avenida Boyacá	106,07	57,14	8,1	2,9
Avenida 68	89,36	49,36	6,9	2,6
Rosario	60,03	32,87	8,7	2,7
NQS	81,34	44,01	11,4	3,8
Santander	52,79	27,54	9,9	2,7
Hospitales	160,25	86,81	10,4	3,2
Calle 10-11	23,67	8,39	3,3	0,7
Calle 26	26,41	13,10	2,0	0,3
Calle 45	27,04	14,68	2,0	0,7
Calle 52	40,86	22,16	1,9	0,6
Calle 63	16,90	9,11	2,2	0,7
Calle 72	16,19	8,70	2,1	0,7
Calle 76	5,49	2,79	0,9	0,3

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

De acuerdo a la Tabla 5.2.1-225, los resultados anuales arrojados mediante la simulación no superan los 15 µg/m³ de material particulado, siendo el valor más alto la estación NQS de 16,3 µg/m³ y 3,8 µg/m³ para PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente, mientras los valores más bajos se presentaron en Patio-Taller y Calle 26 con resultados menores a 1 µg/m³. Las concentraciones de material particulado- PM₁₀ y PM_{2.5} no presentan valores superiores a la norma anual de calidad del aire, 50 µg/m³ para PM₁₀ y de 25 µg/m³ para PM_{2.5}.

Tabla 5.2.1-226 Porcentaje de incremento PM₁₀ y PM_{2.5} anual. Escenario 3

Estación	PM ₁₀ anual MD			PM _{2.5} anual MD		
	Línea base (µg/m ³)	Operación (µg/m ³)	Línea base/Operación	Línea base (µg/m ³)	Operación (µg/m ³)	Línea base/Operación
Patio-Taller	0,19	0,40	53,86%	0,05	0,12	53,80%
Portal Américas	2,29	5,03	54,49%	0,68	1,49	54,49%
Villa Blanca	1,18	2,58	54,42%	0,35	0,76	54,41%
Kennedy	3,28	7,21	54,51%	0,95	2,09	54,51%
Palenque	2,39	5,24	54,49%	0,69	1,52	54,48%
Avenida Boyacá	4,61	10,13	54,52%	1,32	2,89	54,51%
Avenida 68	4,24	9,32	54,54%	1,17	2,58	54,53%
Rosario	4,46	9,82	54,57%	1,24	2,72	54,56%
NQS	6,18	13,63	54,67%	1,72	3,80	54,68%
Santander	3,70	8,49	56,47%	1,16	2,67	56,46%
Hospitales	4,28	10,62	59,67%	1,28	3,16	59,57%
Calle 10-11	1,02	2,50	59,30%	0,30	0,73	59,18%
Calle 26	0,42	0,94	55,16%	0,12	0,28	54,81%
Calle 45	2,17	2,13	-1,99%	0,67	0,65	-2,47%
Calle 52	1,65	1,88	12,28%	0,51	0,58	11,98%
Calle 63	1,91	2,30	16,82%	0,59	0,71	16,62%
Calle 72	1,80	2,16	16,67%	0,55	0,66	16,49%
Calle 76	0,66	0,83	20,95%	0,20	0,25	20,61%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Las estaciones que presentarán mayor incremento son Hospitales y Calle 10-11 con valores de 59,67% y 59,3% respectivamente, la estación Calle 45 en la operación del proyecto presentará una reducción del 2,5%, de acuerdo a los resultados de la simulación.

La Figura 5.2.1-300 y Figura 5.2.1-301 son una representación gráfica de los resultados anuales en los receptores discretos.

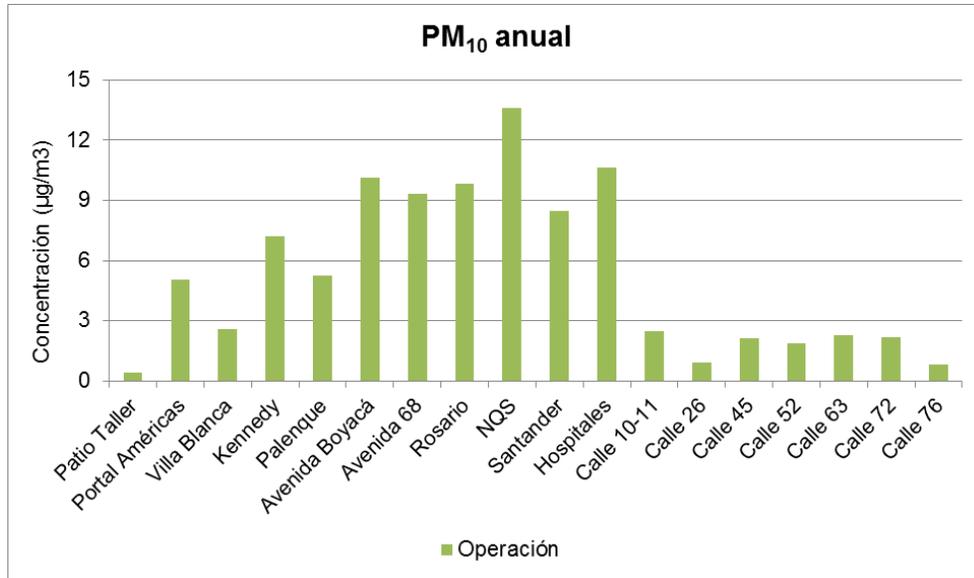


Figura 5.2.1-300 Aportes anuales PM₁₀. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

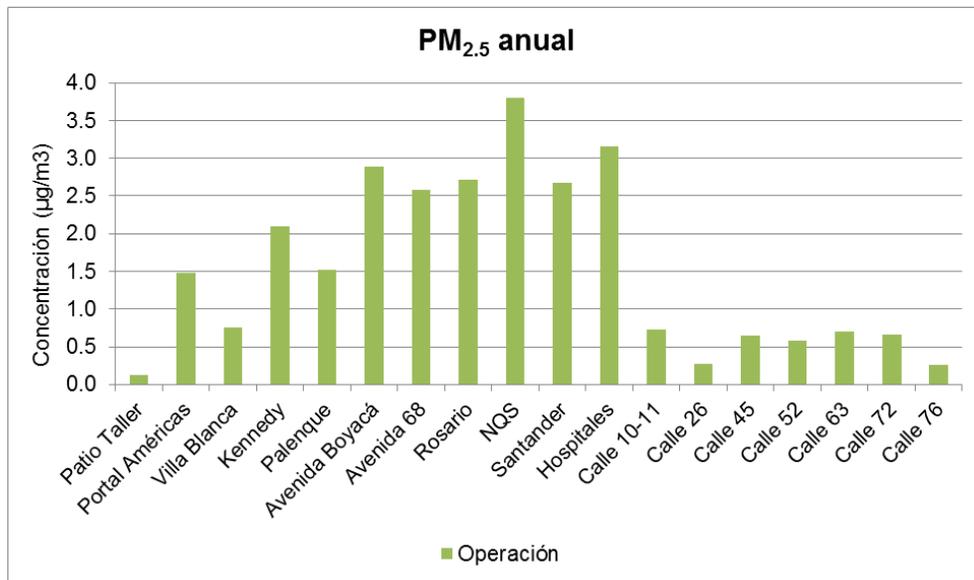


Figura 5.2.1-301 Aportes anuales PM_{2.5}. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

A continuación se muestra la distribución de curvas de concentración – Isopletas para PM₁₀ y PM_{2.5} estimadas para el escenario de línea base en el periodo anual, como resultado de la modelación.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

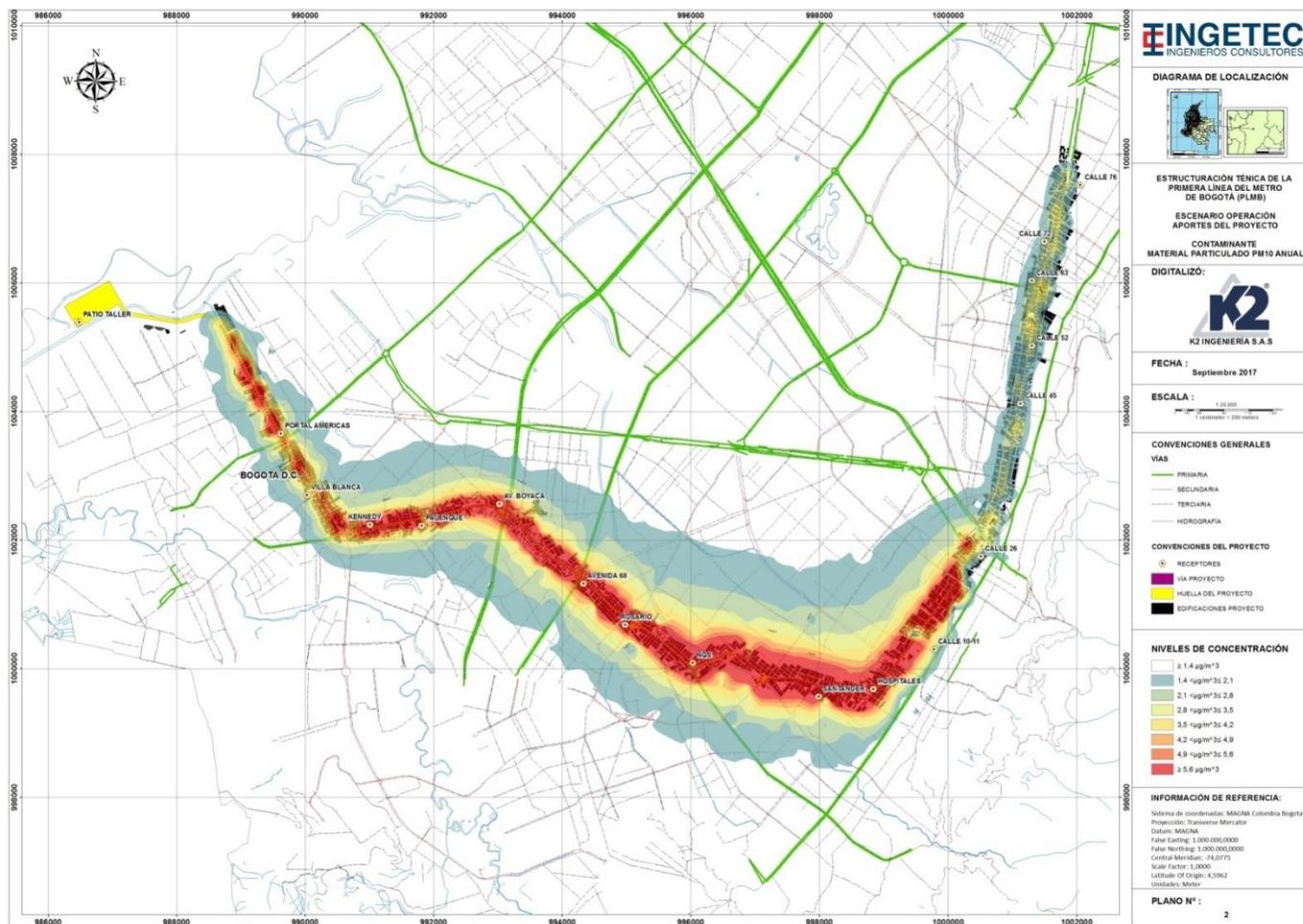


Figura 5.2.1-302 Isopleta anual PM₁₀ proyecto PLMB. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

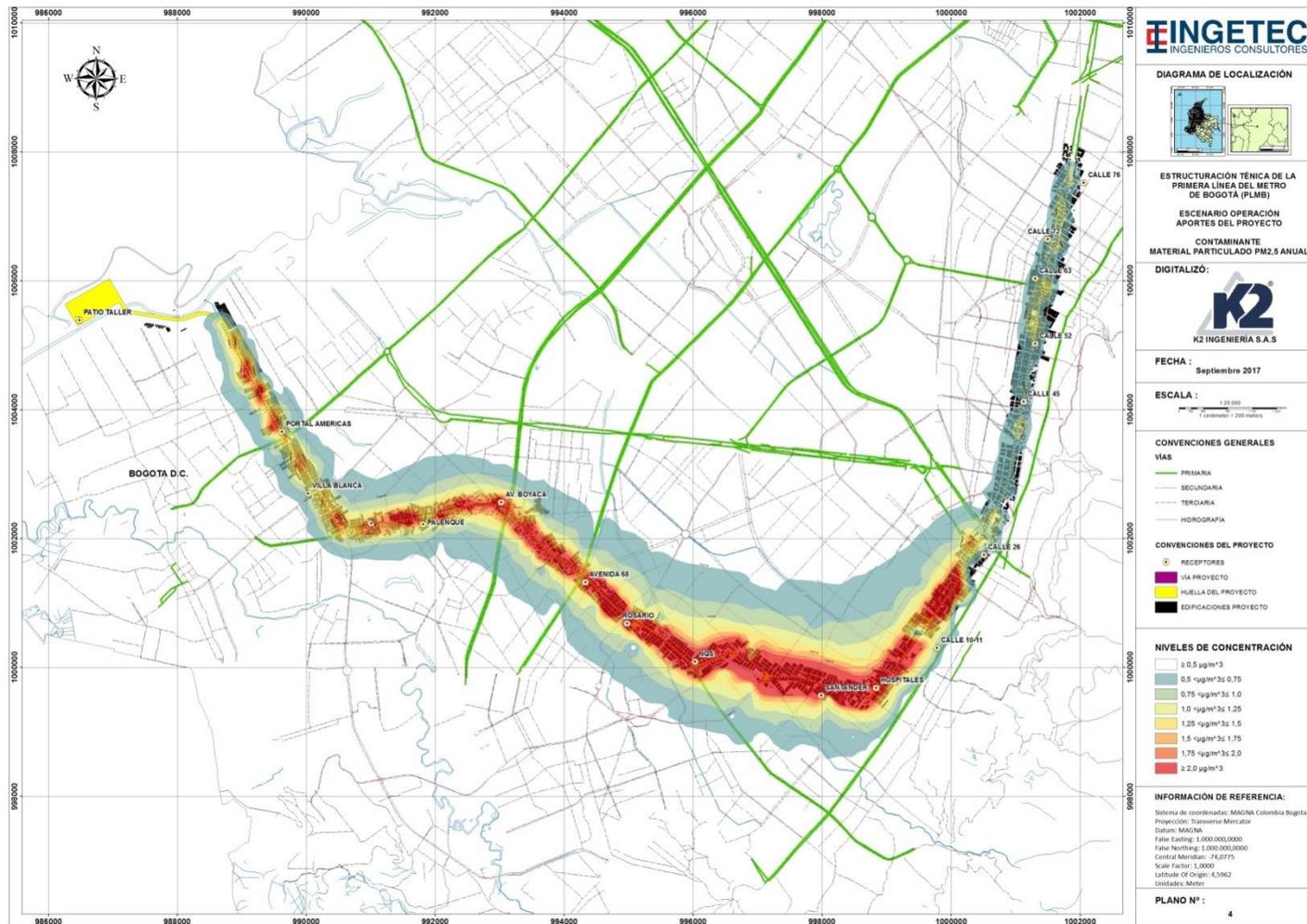


Figura 5.2.1-303 Isopleta anual PM_{2.5} proyecto PLMB. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para PM₁₀, el rango de concentración de la isopletras de 1,4 – 5,6 µg/m³, se presentan las mayores concentraciones entre el sector Patio-Taller y Calle 26 y las menores desde la Calle 26 hasta la Calle 76. Como puede apreciarse en las curvas de concentración de PM_{2.5}, los mayores aportes se presentan entre el sector Palenque hasta la Calle 26 y los menores desde la Calle 26 hasta la Calle 76, con un rango de concentración de 0,5 a 2 µg/m³.

La dispersión de material particulado se visualiza uniforme en el área de influencia del proyecto, en el cual se tuvo en cuenta edificaciones, topografía de la zona de estudio, factores meteorológicos, como campos de viento y alturas de mezcla que inciden directamente en la dispersión de la pluma gaussiana, con componentes predominantes provenientes del Sureste (SE), tal como se observó en los mapas de dispersión (Figura 5.2.1-302 a Figura 5.2.1-303).

Resultados de modelación – Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los resultados del modelo de dispersión atmosférico para dióxido de nitrógeno (NO₂) es expuesto en las siguientes tablas; los periodos de tiempo utilizados en la modelación se tomaron con base a lo establecido en la resolución 610 de 2010 para dióxido de nitrógeno (NO₂), 24 horas y anual. La Tabla presenta los resultados 24 horas y anuales del Dióxido de Nitrógeno.

Tabla 5.2.1-227 Resultados NO₂24 horas y anual. Escenario 3

Estación	NO ₂ (µg/m ³) MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	1,0	0,3
Portal Américas	13,0	3,7
Villa Blanca	5,1	2,0
Kennedy	18,4	6,3
Palenque	15,6	4,5
Avenida Boyacá	22,7	8,0
Avenida 68	15,3	5,7
Rosario	19,3	6,0
NQS	26,0	8,6
Santander	31,3	8,6
Hospitales	32,3	9,9
Calle 10-11	9,8	2,3
Calle 26	6,1	0,8
Calle 45	5,8	1,9
Calle 52	5,4	1,7
Calle 63	6,3	2,0
Calle 72	6,0	1,9
Calle 76	2,7	0,7

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Se puede apreciar que los valores anuales no superan los 10 µg/m³. Los niveles de concentración diario (máximo) y anual (promedio), evaluados en el presente estudio producto del modelo de

dispersión, resultan ser inferiores a los umbrales establecidos en la legislación de calidad del aire para NO₂ (100 µg/m³ por año). El receptor que potencialmente recibiría los mayores aportes es Hospitales, con valor de 9,9 µg/m³

En la Tabla 5.2.1-228 se puede observar los resultados del escenario 1 (línea base) y del escenario 3 (operación), así como el porcentaje de incremento.

Tabla 5.2.1-228 Porcentaje de incremento NO₂ anual. Escenario 3

Estación	NO ₂ anual MD		
	Línea base (µg/m ³)	Operación (µg/m ³)	Línea base/ Operación
Patio-Taller	0,14	0,31	53,77%
Portal Américas	1,67	3,67	54,48%
Villa Blanca	0,89	1,96	54,40%
Kennedy	2,86	6,28	54,51%
Palenque	2,06	4,52	54,49%
Avenida Boyacá	3,65	8,02	54,52%
Avenida 68	2,59	5,70	54,54%
Rosario	2,74	6,04	54,58%
NQS	3,89	8,60	54,75%
Santander	3,72	8,56	56,49%
Hospitales	4,01	9,91	59,58%
Calle 10-11	0,92	2,26	59,32%
Calle 26	0,38	0,85	55,21%
Calle 45	1,94	1,90	-2,22%
Calle 52	1,47	1,67	12,09%
Calle 63	1,70	2,04	16,66%
Calle 72	1,60	1,91	16,50%
Calle 76	0,58	0,73	20,62%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

El incremento de la operación con respecto a línea base presenta un rango de hasta 60%, donde las estaciones Hospitales y Calle 10-11 presentan los valores más altos de 59,58% y 59,32%, respectivamente. Mientras que el valor más bajo se presenta en Calle 45 con una disminución del 2,22%. La Figura 5.2.1-304 presenta los aportes anuales de NO₂, donde se aprecia que las estaciones con concentraciones más elevadas son NQS, Santander y Hospitales.

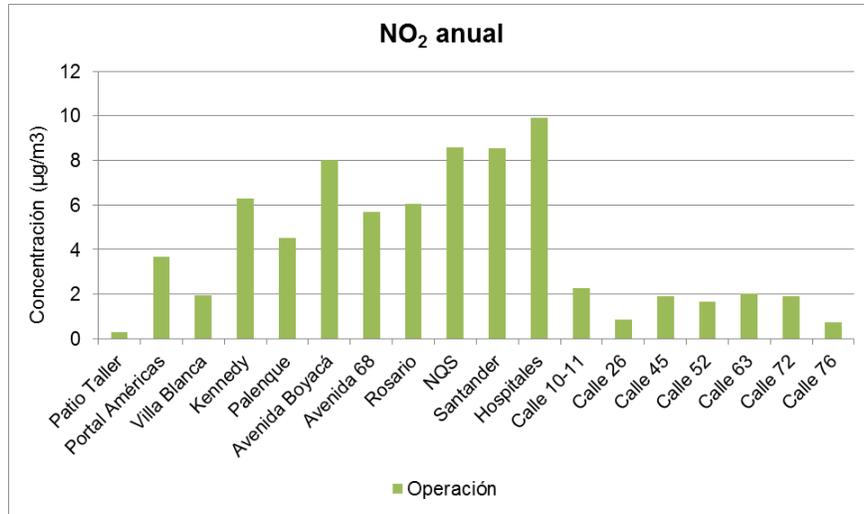


Figura 5.2.1-304 Aportes anuales NO₂. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

En la Figura 5.2.1-305 se observa la isopleta de concentración anual de NO₂, se obtiene un rango de concentración anual de 1,8 – 7,2 µg/m³. La isopleta excede la norma anual de 100 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan entre NQS y Calle 26.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

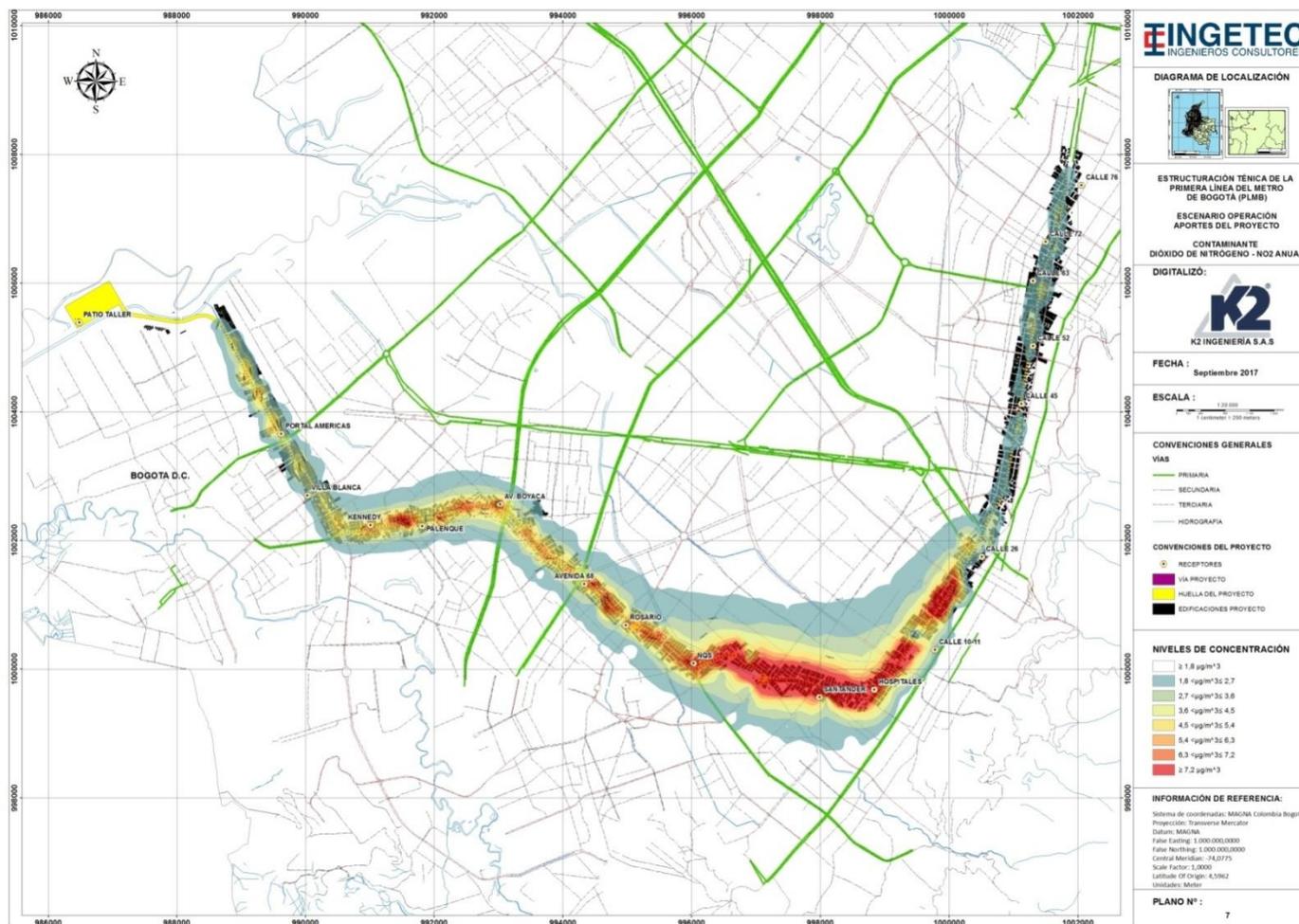


Figura 5.2.1-305 Isopleta anual NO₂ proyecto PLMB. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Resultados de modelación – Dióxido de azufre (SO₂)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los casos de estudio del dióxido de azufre. Los valores de inmisión de SO₂ en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla. La resolución temporal de modelación se tomó con base a lo aplicable en la Resolución 610 de 2010, esto es, 24 h y anual.

Tabla 5.2.1-229 Aportes SO₂ 24 horas y anual. Escenario 3

Estación	SO ₂ (µg/m ³)MD	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,12	0,04
Portal Américas	1,60	0,45
Villa Blanca	0,61	0,23
Kennedy	2,08	0,70
Palenque	1,75	0,51
Avenida Boyacá	2,54	0,90
Avenida 68	1,72	0,64
Rosario	2,17	0,68
NQS	2,94	0,97
Santander	3,83	1,05
Hospitales	3,73	1,14
Calle 10-11	1,12	0,26
Calle 26	0,69	0,10
Calle 45	0,71	0,23
Calle 52	0,67	0,21
Calle 63	0,78	0,25
Calle 72	0,74	0,24
Calle 76	0,33	0,09

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anual de SO₂ estimados sobre los receptores discretos no representan una concentración mayor de 2 µg/m³, al comparar el valor con los límites anuales establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (80 µg/m³) se observa que no se presentan excedencias de la normativa.

La Tabla 5.2.1-230 presenta el incremento del escenario operación con respecto a línea base, donde el porcentaje más alto es del sector Hospitales con 59,44% y el menor fue en Calle 45 con una disminución del 3% aproximadamente.

Tabla 5.2.1-230 Porcentaje incremento SO₂ 24 horas y anual. Escenario 3

Estación	SO ₂ anual MD		
	Línea base (µg/m ³)	Operación (µg/m ³)	Línea base/ Operación
Patio-Taller	0,02	0,04	53,70%
Portal Américas	0,21	0,45	54,47%
Villa Blanca	0,11	0,23	54,38%

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación	SO ₂ anual MD		
	Línea base (µg/m ³)	Operación (µg/m ³)	Línea base/ Operación
Kennedy	0,32	0,70	54,50%
Palenque	0,23	0,51	54,47%
Avenida Boyacá	0,41	0,90	54,51%
Avenida 68	0,29	0,64	54,53%
Rosario	0,31	0,68	54,57%
NQS	0,44	0,97	54,75%
Santander	0,46	1,05	56,46%
Hospitales	0,46	1,14	59,44%
Calle 10-11	0,10	0,26	59,12%
Calle 26	0,04	0,10	54,59%
Calle 45	0,24	0,23	-2,96%
Calle 52	0,18	0,21	11,64%
Calle 63	0,21	0,25	16,38%
Calle 72	0,20	0,24	16,26%
Calle 76	0,07	0,09	20,14%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La Figura 5.2.1-306 es una representación de los datos anuales de la Tabla 5.2.1-229, donde se puede observar que los receptores con mayores aportes son NQS, Santander y Hospitales. Mientras que los que presentan las menores concentraciones son: Patio-Taller, Calle 26 y Calle 76.

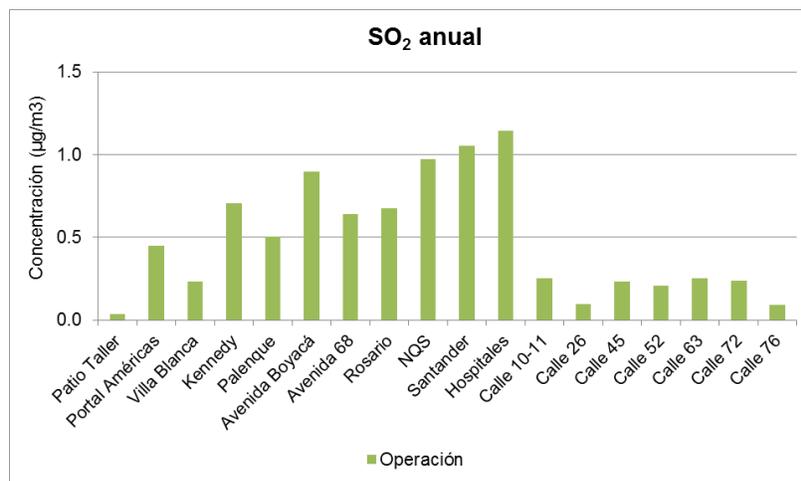


Figura 5.2.1-306 Aportes anuales SO₂. Escenario 3

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La isopleta para SO₂ se presenta a continuación la cual posee un rango de concentración de 0,22 – 0,88 µg/m³, No se excede la norma anual de 80 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan entre NQS y Calle 26.

El Anexo 5.2.1.3 contiene los mapas de dispersión de SO₂ (mejorando el nivel de detalle) reportados para el periodo anual, 24 horas y de 3 horas.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

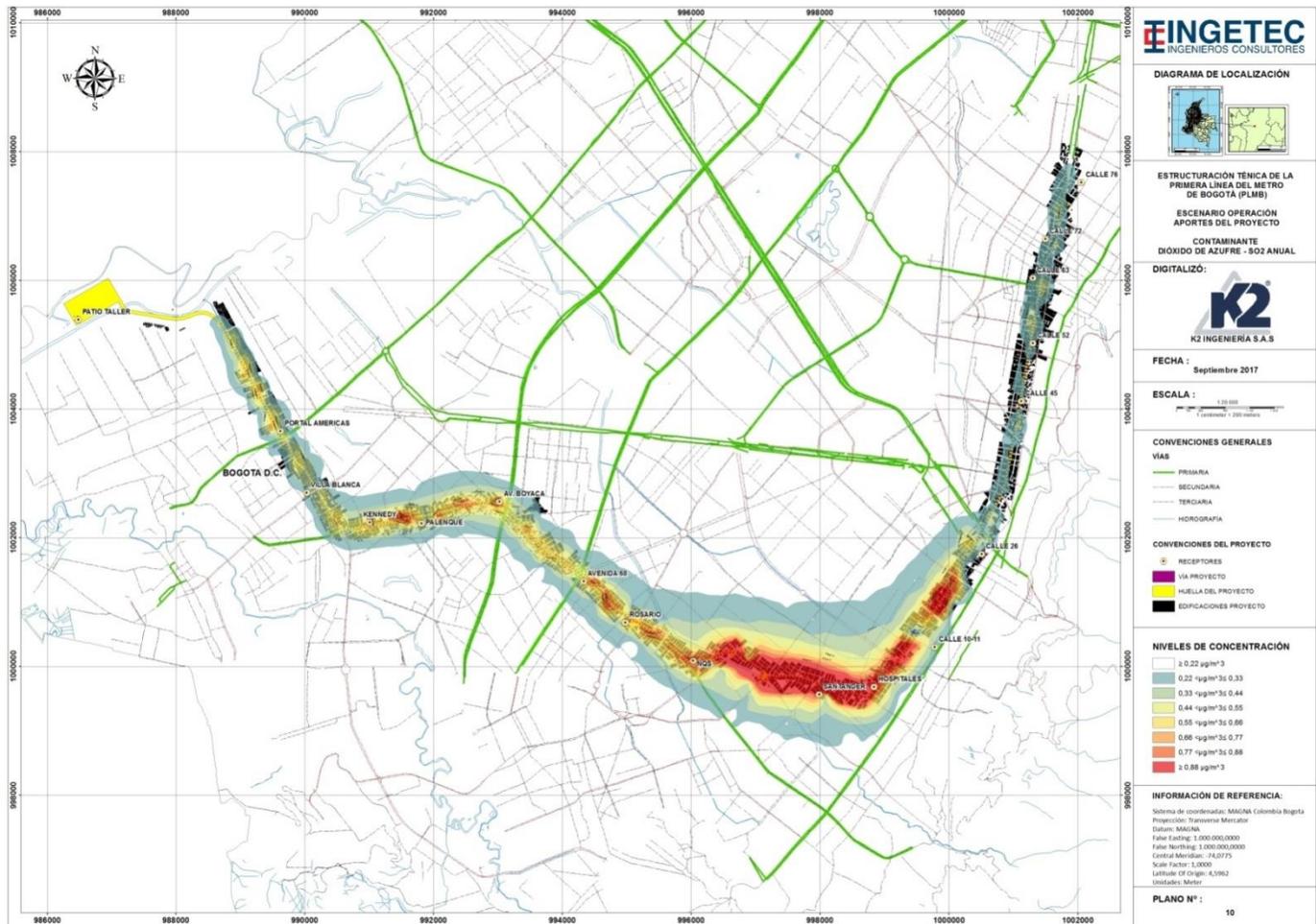


Figura 5.2.1-307 Isopleta anual SO₂ proyecto PLMB. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Resultados de modelación – Monóxido de carbono (CO)

En la Tabla 5.2.1-231 se presentan las concentraciones máximas obtenidas mediante simulación de dispersión de monóxido de carbono en los receptores discretos para periodos horario y octahorario.

Tabla 5.2.1-231 Resultados CO 1 hora y 8 horas. Escenario 3

Estación	CO (µg/m3) MD	
	1 hora*	8 horas*
Patio-Taller	16,4	6,9
Portal Américas	120,1	62,7
Villa Blanca	59,4	28,1
Kennedy	145,0	93,1
Palenque	113,4	76,8
Avenida Boyacá	150,9	109,1
Avenida 68	134,1	69,3
Rosario	145,1	93,7
NQS	198,3	130,5
Santander	294,5	169,7
Hospitales	251,6	162,1
Calle 10-11	133,6	50,2
Calle 26	79,7	35,0
Calle 45	86,1	35,3
Calle 52	68,0	30,8
Calle 63	56,9	35,1
Calle 72	56,3	33,9
Calle 76	27,5	14,6

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración 8 horas de CO estimados sobre los receptores discretos no superan los 170 µg/m³, al comparar el valor con los límites establecidos en la legislación vigente – Resolución 610 de 2010 (10000 µg/m³) se observa que no se presentan excedencias de la normativa. En la Tabla 5.2.1-232 se consolidan las concentraciones anuales de línea base y operación, así como la relación entre ellas.

Tabla 5.2.1-232 Porcentaje incremento CO8 Horas. Escenario 3

Estación	CO 8 horas* MD		
	Línea base (µg/m3)	Operación (µg/m3)	Línea base/ Operación
Patio-Taller	3,14	6,89	54,40%
Portal Américas	28,54	62,70	54,48%
Villa Blanca	12,85	28,14	54,36%
Kennedy	42,37	93,07	54,48%

Estación	CO 8 horas* MD		
	Línea base (µg/m3)	Operación (µg/m3)	Línea base/ Operación
Palenque	34,98	76,82	54,46%
Avenida Boyacá	49,68	109,08	54,45%
Avenida 68	31,56	69,30	54,47%
Rosario	42,59	93,69	54,54%
NQS	59,00	130,46	54,77%
Santander	73,99	169,65	56,39%
Hospitales	66,37	162,09	59,05%
Calle 10-11	21,68	50,18	56,78%
Calle 26	13,78	35,04	60,66%
Calle 45	35,90	35,31	-1,67%
Calle 52	27,13	30,79	11,88%
Calle 63	28,95	35,05	17,40%
Calle 72	28,15	33,94	17,05%
Calle 76	11,73	14,63	19,86%

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

El porcentaje más alto se presenta en la Calle 26 con 60.66%, mientras que el porcentaje más bajo representa una disminución del 1,67% en la estación Calle 45, en la operación del proyecto con respecto a la línea base.

Los resultados de concentración 8 horas se pueden apreciar en la Figura 5.2.1-308, donde los receptores con mayores aportes fueron Santander y Hospitales con 169,7 y 162,1 µg/m³, respectivamente

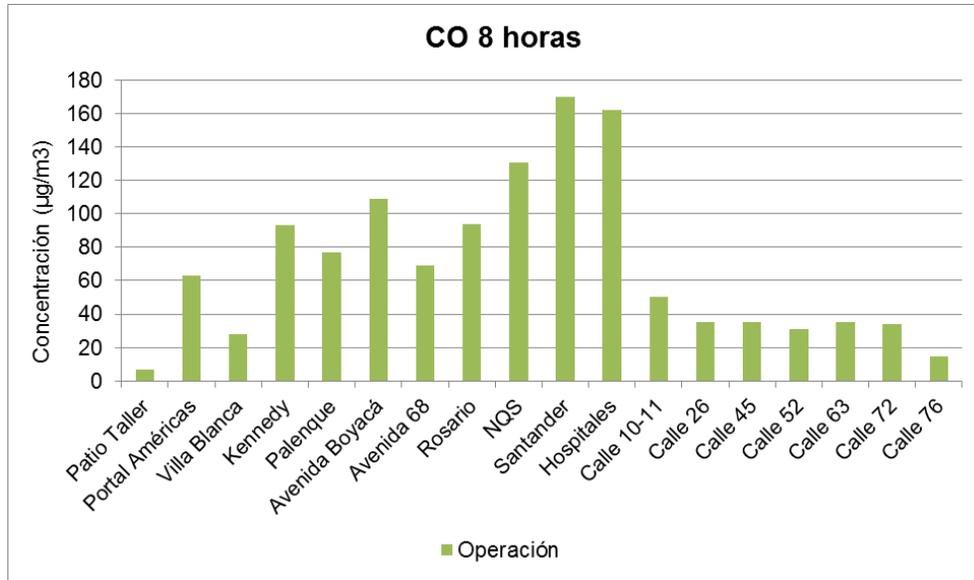


Figura 5.2.1-308. Aportes 8 horas CO. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

En la Figura 5.2.1-309 se observa la isopleta de concentración octahoraria para el escenario modelado, el rango de concentración es de 27,5 – 110 µg/m³. No se excede la norma anual de 10000 µg/m³, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Calle 26.

En el Anexo 5.2.1.3 Modelo de Dispersión se incluyen los mapas de dispersión de CO con un mejor nivel de detalle, para los periodos horarios y octahorarias como resultado de la modelación.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

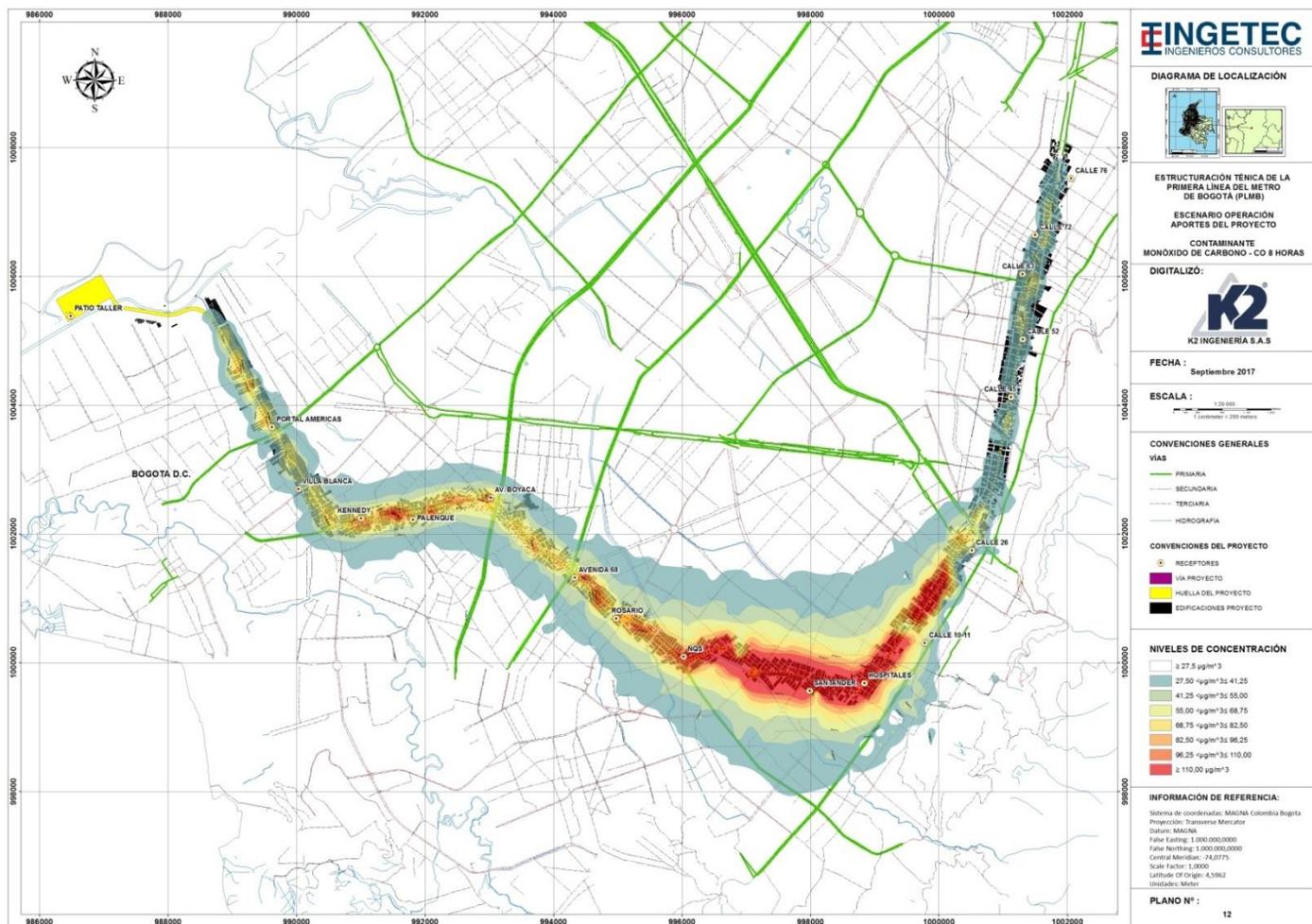


Figura 5.2.1-309 Isopleta CO 8 horas proyecto PLMB. Escenario 3

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Resultados de modelación – Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso de estudio, los valores de inmisión de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) en los receptores de calidad del aire calculados mediante la modelación se encuentran consolidados en la Tabla.

Tabla 5.2.1-233 Aportes VOC24 horas y anual. Escenario 3

Estación	VOC (µg/m3)	
	24 horas*	Anual
Patio-Taller	0,8	0,2
Portal Américas	9,7	2,8
Villa Blanca	3,9	1,5
Kennedy	14,7	5,0
Palenque	12,5	3,6
Avenida Boyacá	18,2	6,4
Avenida 68	12,3	4,6
Rosario	15,5	4,8
NQS	20,7	6,8
Santander	23,5	6,4
Hospitales	25,3	7,8
Calle 10-11	7,7	1,8
Calle 26	4,9	0,7
Calle 45	4,4	1,4
Calle 52	4,1	1,3
Calle 63	4,7	1,5
Calle 72	4,5	1,4
Calle 76	2,0	0,6

*Corresponde al valor máximo de concentración estimado mediante modelación para cada receptor
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Los niveles de concentración anual de VOC estimados sobre los receptores discretos no representan un incremento de más de 8 µg/m³. En el caso de los compuestos orgánicos volátiles no es posible comparar con la Resolución 610 de 2010, ya que no está regulado el nivel máximo permisible de concentración de VOC.

En la Tabla 5.2.1-234 se puede observar los resultados de la modelación de línea base y operación, así como el porcentaje de incremento de la operación respecto a línea base.

Tabla 5.2.1-234 Porcentaje incremento VOC24 anual. Escenario 3

Estación	VOC anual MD		
	Línea base (µg/m3)	Operación (µg/m3)	Línea base/ Operación
Patio-Taller	0,11	0,23	53,82%
Portal Américas	1,25	2,75	54,48%
Villa Blanca	0,68	1,50	54,41%
Kennedy	2,28	5,02	54,52%
Palenque	1,65	3,62	54,50%
Avenida Boyacá	2,92	6,43	54,52%

Estación	VOC anual MD		
	Línea base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Operación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Línea base/ Operación
Avenida 68	2,07	4,56	54,55%
Rosario	2,19	4,83	54,59%
NQS	3,09	6,84	54,75%
Santander	2,80	6,43	56,52%
Hospitales	3,14	7,78	59,67%
Calle 10-11	0,73	1,80	59,45%
Calle 26	0,30	0,67	55,60%
Calle 45	1,45	1,43	-1,67%
Calle 52	1,10	1,26	12,43%
Calle 63	1,27	1,53	16,87%
Calle 72	1,19	1,43	16,69%
Calle 76	0,43	0,55	20,97%

El porcentaje de incremento más alto se presenta en la estación Hospitales con un valor de 59.67% y el resultado más bajo fue una disminución del 1.67% en la Calle 45.

En la Figura 5.2.1-310 se puede apreciar los aportes de los compuestos orgánicos volátiles en las estaciones de calidad del aire.

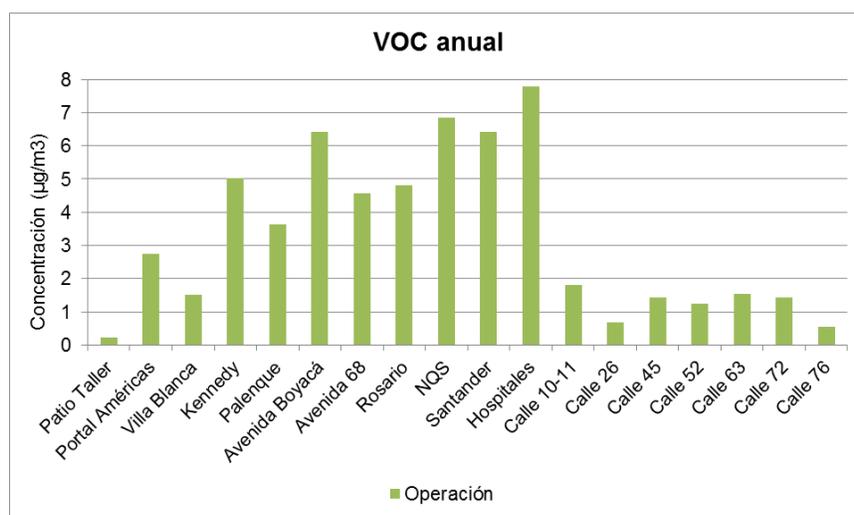


Figura 5.2.1-310 Aportes anuales VOC. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La isopleta anual para VOC se presenta a continuación, posee un rango de concentración de 1.30 – 5.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los compuestos orgánicos volátiles, las mayores concentraciones se observan entre el sector NQS y Calle 26.

Se recomienda en la etapa de construcción del proyecto continuar con un segundo modelo de dispersión y una campaña de monitoreo de calidad del aire; esto permitirá verificar la calidad del aire y la implementación de las medidas de control y mitigación de emisiones atmosféricas durante la etapa constructiva, como el cumplimiento normativo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

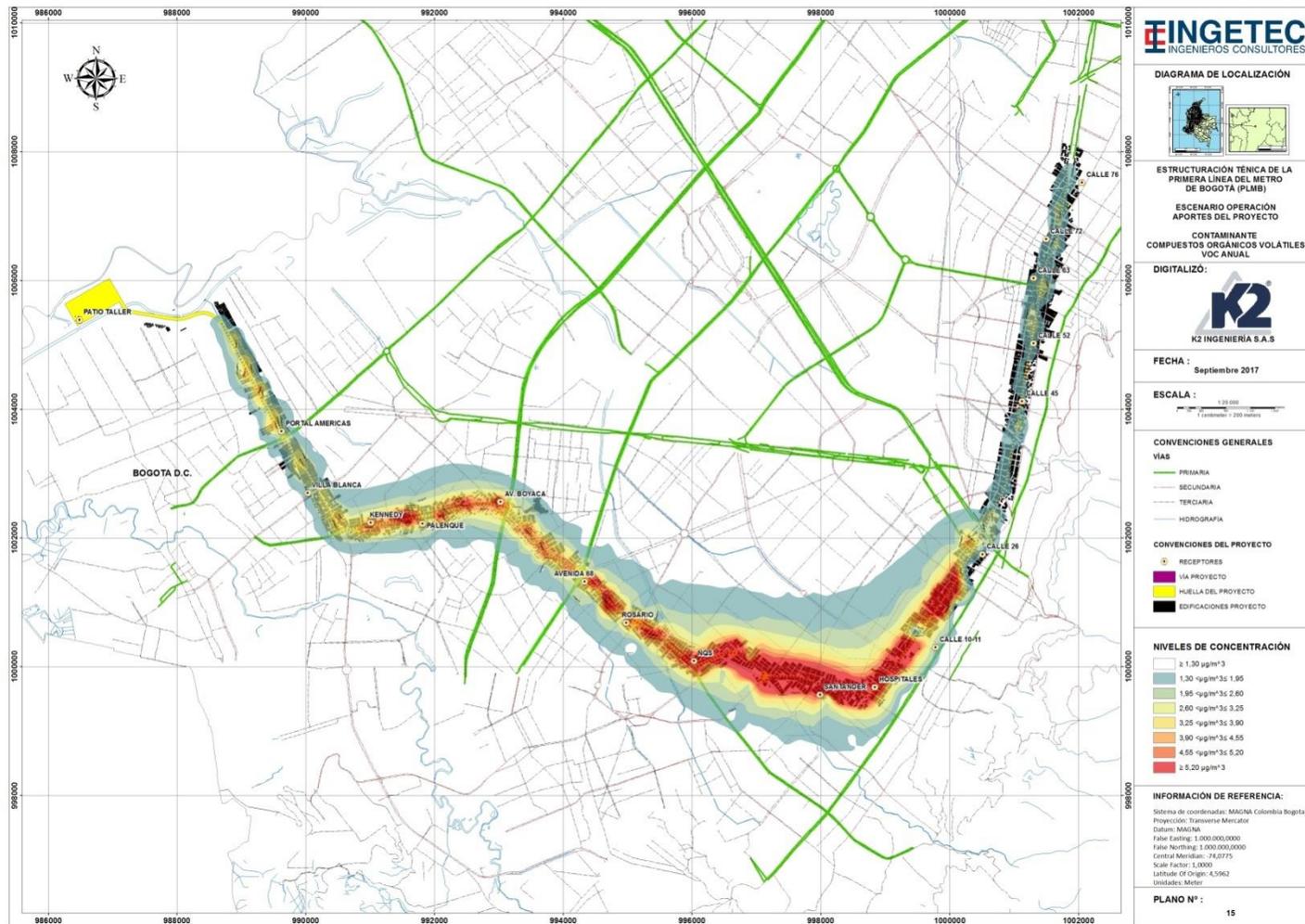


Figura 5.2.1-311 Isopleta anual VOC proyecto PLMB. Escenario 3

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

5.2.1.20.9.16 Emisiones resultantes para los escenarios con proyecto respecto con las concentraciones de fondo establecidas.

A continuación se presentan las emisiones en los escenarios de construcción y operación con las concentraciones de fondo para cada contaminante, para el periodo anual y 24 horas.

La estimación de la concentración de fondo se obtiene de la diferencia entre el promedio del valor medido directamente y los resultados de la modelación, en el caso de 24 horas se tomará el valor mayor registrado en los 18 días; En la Tabla 5.2.1-235 se pueden apreciar los fondos estimados 24 horas para los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y SO₂.

Las isopletras presentadas con concentración de fondo se realizaron a una distancia de 500 metros a cada lado del viaducto de acuerdo a la representatividad que tienen las estaciones de medición de calidad del aire.

De acuerdo al protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible (Minambiente), el cual establece que dependiendo de la altura de la toma muestras, la distancia a la vía y el tráfico promedio diario, se pueden clasificar en escala media, vecindario y escala urbana, dicho lo anterior para el presente estudio corresponde a la clasificación de escala media o micro escala con representatividad de las mediciones de 300 a 500 metros.

Se considera como concentración de fondo diario (24 horas), al promedio del valor medido en la campaña de monitoreo realizada por el Laboratorio K2 INGENIERÍA en el mes de agosto. En la Tabla 5.2.1-235 se presentan las concentraciones de fondo estimadas para un periodo de 24 horas de los parámetros PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y SO₂.

Tabla 5.2.1-235 Concentraciones de fondo 24 Hr.

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	
	24 Hr (µg/m ³)				
1	Patio-Taller	51.3	30.9	15.3	20.15
2	Portal Américas	76.0	37.4	14.2	17.06
3	Villa Blanca	57.6	22.2	18.7	17.09
4	Kennedy	42.7	27.7	15.8	16.94
5	Palenque	43.0	23.2	15.1	17.80
6	Avenida Boyacá	54.8	27.7	23.9	17.52
7	Avenida 68	35.4	18.4	18.5	14.89
8	Rosario	31.4	18.5	13.4	16.50
9	NQS	42.6	26.4	19.8	17.14
10	Santander	30.8	17.8	10.2	17.39
11	Hospitales	49.0	33.1	40.1	16.93
12	Calle 10-11	41.1	24.1	14.0	18.58
13	Calle 26	37.3	16.3	15.1	19.32
14	Calle 45	41.3	22.2	16.3	17.73
15	Calle 52	44.0	22.4	17.6	17.36
16	Calle 63	41.1	23.2	13.3	16.25
17	Calle 72	43.6	22.2	14.9	16.53
18	Calle 76	44.7	19.6	14.0	15.47

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S., 2017

A continuación se presenta el cuadro resumen de los aportes resultantes entre los valores obtenidos en la modelación para los escenarios de construcción y operación con las concentraciones de fondo respectivas para 24 horas, así mismo se presenta su representatividad respecto los estándares normativos de Resolución 610 del 2006.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-236 Aportes resultantes escenario de construcción y operación - PM₁₀ 24 Horas

RECEPTOR		Concentración de fondo 24 HR	Resultados Aermod PM10 24 HR		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo 24HR		Res, 610/2006	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m³)		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación
		µg/m³	Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación			Esc 2 Construcción		
CA1	Patio-Taller	51,3	68,3	9,76	25%	-426%	100	68%	10%
CA2	Portal Américas	76	217	152,60	65%	50%	100	217%	153%
CA3	Villa Blanca	57,6	106,4	46,42	46%	-24%	100	106%	46%
CA4	Kennedy	42,7	131,2	131,64	67%	68%	100	131%	132%
CA5	Palenque	43	79,7	61,10	46%	30%	100	80%	61%
CA6	Av Boyacá	54,8	119,8	106,07	54%	48%	100	120%	106%
CA7	Avenida 68	35,4	141,6	89,36	75%	60%	100	142%	89%
CA8	Rosario	31,4	94,7	60,03	67%	48%	100	95%	60%
CA9	NQS	42,6	136,6	81,34	69%	48%	100	137%	81%
CA10	Santander	30,8	80,6	52,79	62%	42%	100	81%	53%
CA11	Hospitales	49	207,7	160,25	76%	69%	100	208%	160%
CA12	Calle 10-11	41,1	72,6	23,67	43%	-74%	100	73%	24%
CA13	Calle 26	37,3	66,7	26,41	44%	-41%	100	67%	26%
CA14	Calle 45	41,3	117,5	27,04	65%	-53%	100	118%	27%
CA15	Calle 52	44	158	40,86	72%	-8%	100	158%	41%
CA16	Calle 63	41,1	83,8	16,90	51%	-143%	100	84%	17%
CA17	Calle 72	43,6	83,6	16,19	48%	-169%	100	84%	16%
CA18	Calle 76	44,7	70,6	5,49	37%	-714%	100	71%	5%

Es de resaltar que el escenario de Operación contemplo la reducción del tráfico vehicular sobre la Avenida Caracas, modelándose la Avenida Caracas únicamente con el tránsito de buses y el 30% de los vehículos mixtos proyectados, presentados en el numeral de Variables Operativas Aplicadas. A partir de lo anterior, se obtiene reducción en las emisiones de material particulado respecto las concentraciones medidas.

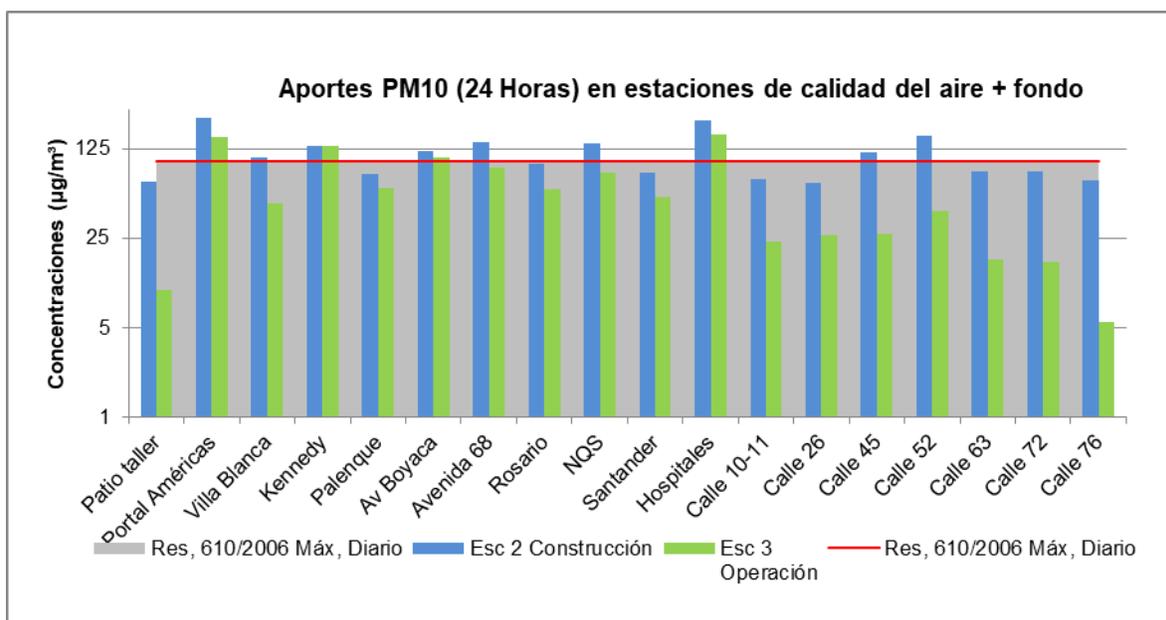


Figura 5.2.1-312 Aportes de PM10 Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-237 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – PM_{2,5} 24 Horas

Receptor		Concentración de fondo 24 HR µg/m³	Resultados Aermod PM2,5 24 HR		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo 24HR		Res, 610/2006 Máx, Diario	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m³)		Esc 1 Construcción	Esc 2 Operación		Esc 1	Esc 2
			Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación					
CA1	Patio-Taller	30,9	38,9	31,3	21%	1%	50	78%	63%
CA2	Portal Américas	37,4	103,9	42,7	64%	12%	50	208%	85%
CA3	Villa Blanca	22,2	46,7	24,2	52%	8%	50	93%	48%
CA4	Kennedy	27,7	70,6	33,9	61%	18%	50	141%	68%
CA5	Palenque	23,2	40,1	28,4	42%	18%	50	80%	57%
CA6	Av Boyacá	27,7	59,4	35,8	53%	23%	50	119%	72%
CA7	Avenida 68	18,4	70,1	25,3	74%	27%	50	140%	51%
CA8	Rosario	18,5	48,4	27,2	62%	32%	50	97%	54%
CA9	NQS	26,4	68,3	37,8	61%	30%	50	137%	76%
CA10	Santander	17,8	40,4	27,7	56%	36%	50	81%	55%
CA11	Hospitales	33,1	108	43,5	69%	24%	50	216%	87%
CA12	Calle 10-11	24,1	39	27,4	38%	12%	50	78%	55%
CA13	Calle 26	16,3	30,6	18,3	47%	11%	50	61%	37%
CA14	Calle 45	22,2	61,1	24,2	64%	8%	50	122%	48%
CA15	Calle 52	22,4	81,7	24,3	73%	8%	50	163%	49%
CA16	Calle 63	23,2	45,2	25,4	49%	9%	50	90%	51%
CA17	Calle 72	22,2	42,9	24,3	48%	9%	50	86%	49%
CA18	Calle 76	19,6	32,9	20,5	40%	4%	50	66%	41%

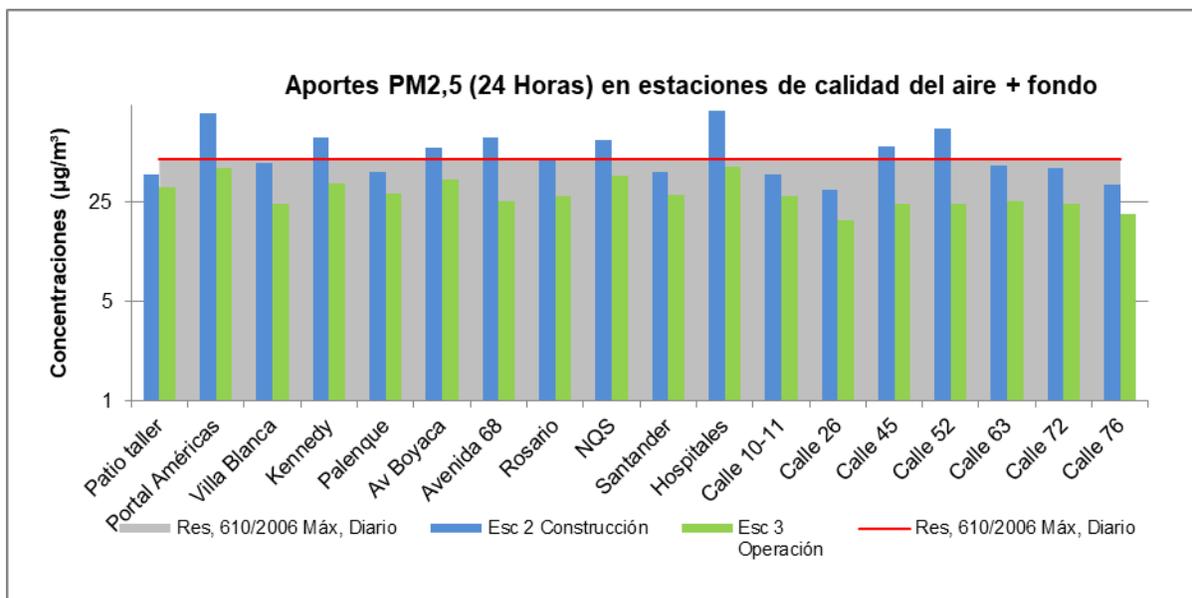


Figura 5.2.1-313 Aportes de PM10 Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-238 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – SO₂ Horas

Receptor		Concentración de fondo 24 HR µg/m³	Resultados Aermod SO ₂ 24 HR		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo 24HR		Res. 610/2006 Máx, Diario	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m³)		Esc 1 Construcción	Esc 2 Operación		Esc 1	Esc 2
			Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación					
CA1	Patio-Taller	20,15	20,34	20,27	1%	1%	50	41%	41%
CA2	Portal Américas	17,06	18,86	18,66	10%	9%	50	38%	37%
CA3	Villa Blanca	17,09	17,59	17,7	3%	3%	50	35%	35%
CA4	Kennedy	16,94	18,69	19,02	9%	11%	50	37%	38%
CA5	Palenque	17,8	18,76	19,55	5%	9%	50	38%	39%
CA6	Av Boyacá	17,52	18,54	20,06	6%	13%	50	37%	40%
CA7	Avenida 68	14,89	16,15	16,61	8%	10%	50	32%	33%
CA8	Rosario	16,5	17,66	18,67	7%	12%	50	35%	37%
CA9	NQS	17,14	19,31	20,08	11%	15%	50	39%	40%
CA10	Santander	17,39	19,43	21,22	10%	18%	50	39%	42%
CA11	Hospitales	16,93	22,91	20,66	26%	18%	50	46%	41%
CA12	Calle 10-11	18,58	19,57	19,7	5%	6%	50	39%	39%
CA13	Calle 26	19,32	19,96	20,01	3%	3%	50	40%	40%
CA14	Calle 45	17,73	18,39	18,44	4%	4%	50	37%	37%
CA15	Calle 52	17,36	17,83	18,03	3%	4%	50	36%	36%
CA16	Calle 63	16,25	16,59	17,03	2%	5%	50	33%	34%
CA17	Calle 72	16,53	16,85	17,27	2%	4%	50	34%	35%
CA18	Calle 76	15,47	15,65	15,8	1%	2%	50	31%	32%

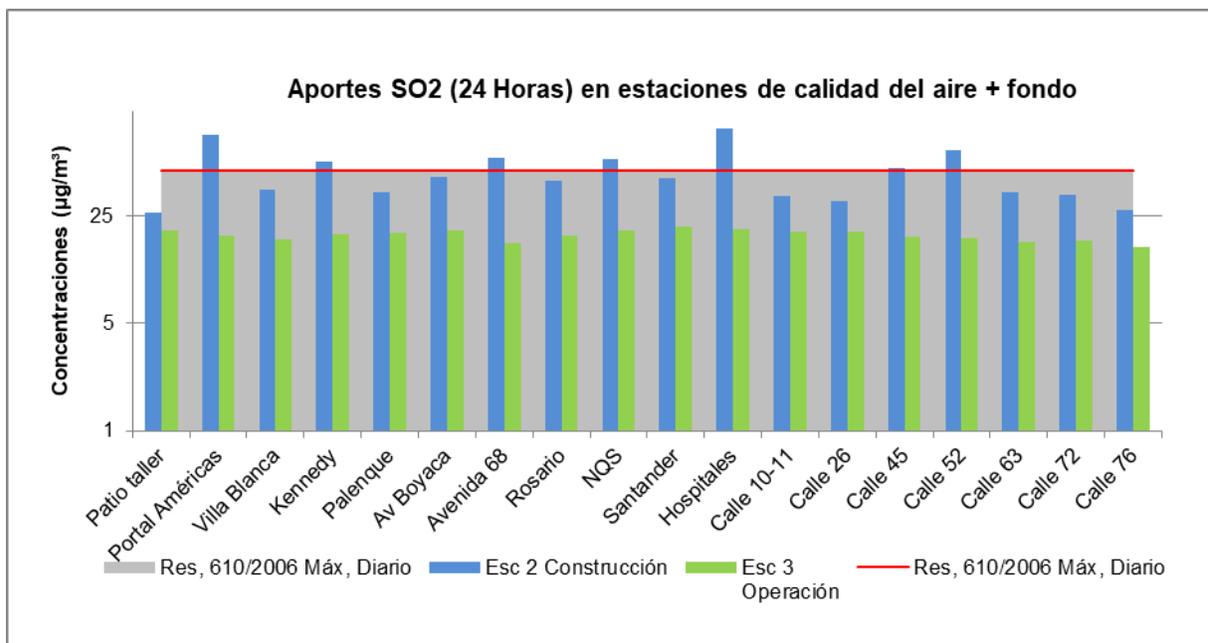


Figura 5.2.1-314 Aportes de SO₂ Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-239 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – NO₂ 24 Horas

Receptor	Concentración de fondo 24 HR µg/m ³	Resultados Aermod NO ₂ 24 HR		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo 24HR		Res, 610/2006 Máx, Diario	Porcentaje respecto a la norma		
		Aportes totales PLMB (µg/m ³)		Esc 1 Construcción	Esc 2 Operación		Esc 1	Esc 2	
		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación						
CA1	Patio-Taller	15,3	15,49	16,3	1%	6%	150	10%	11%
CA2	Portal Américas	14,2	16	27,2	11%	48%	150	11%	18%
CA3	Villa Blanca	18,7	19,2	23,8	3%	21%	150	13%	16%
CA4	Kennedy	15,8	17,55	34,2	10%	54%	150	12%	23%
CA5	Palenque	15,1	16,06	30,7	6%	51%	150	11%	20%
CA6	Av Boyacá	23,9	24,92	46,6	4%	49%	150	17%	31%
CA7	Avenida 68	18,5	19,76	33,8	6%	45%	150	13%	23%
CA8	Rosario	13,4	14,56	32,7	8%	59%	150	10%	22%
CA9	NQS	19,8	21,97	45,8	10%	57%	150	15%	31%
CA10	Santander	10,2	12,24	41,5	17%	75%	150	8%	28%
CA11	Hospitales	40,1	46,08	72,4	13%	45%	150	31%	48%
CA12	Calle 10-11	14	14,99	23,8	7%	41%	150	10%	16%
CA13	Calle 26	15,1	15,74	21,2	4%	29%	150	10%	14%
CA14	Calle 45	16,3	16,96	22,1	4%	26%	150	11%	15%
CA15	Calle 52	17,6	18,07	23	3%	23%	150	12%	15%
CA16	Calle 63	13,3	13,64	19,6	2%	32%	150	9%	13%
CA17	Calle 72	14,9	15,22	20,9	2%	29%	150	10%	14%
CA18	Calle 76	14	14,18	16,7	1%	16%	150	9%	11%

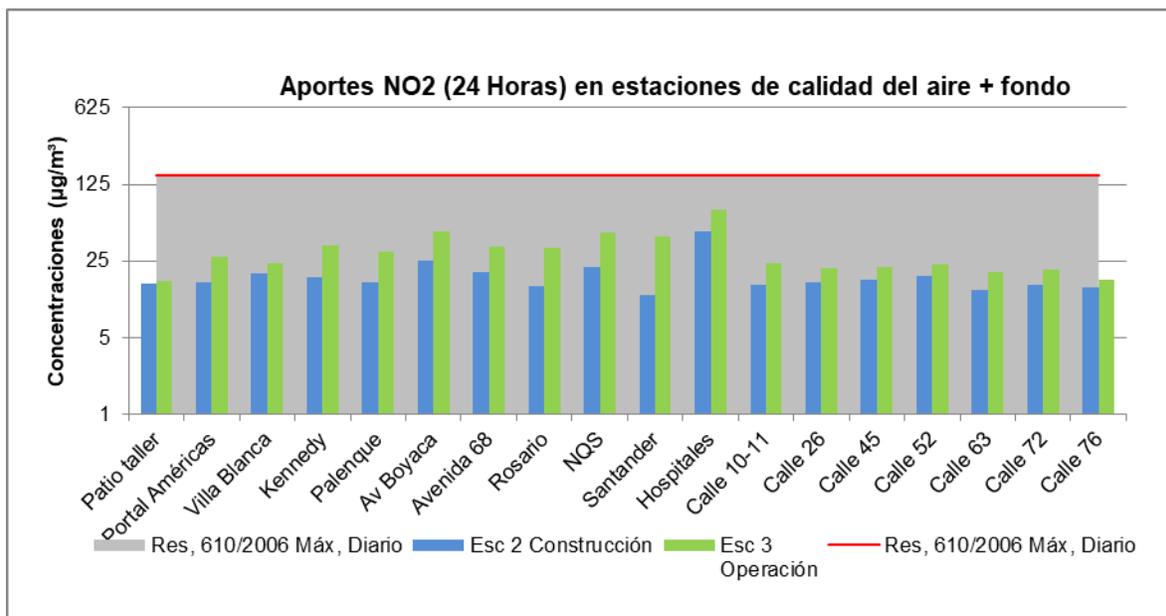


Figura 5.2.1-315 Aportes de NO₂ 24 horas Escenarios de construcción y operación respecto a la norma

Se considera como concentración de fondo anual, al promedio del valor medido en la campaña de monitoreo realizada por el Laboratorio K2 INGENIERÍA en el mes de agosto. En la Tabla 5.2.1-240 se presentan las concentraciones de fondo estimadas para un periodo anual de los parámetros PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ y SO₂.

Tabla 5.2.1-240 Concentraciones de fondo anual

Estación		PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂
		Anual (µg/m ³)			
1	Patio-Taller	51,3	30,9	15,3	20,15
2	Portal Américas	76	37,4	14,2	17,06
3	Villa Blanca	57,6	22,2	18,7	17,09
4	Kennedy	42,7	27,7	15,8	16,94
5	Palenque	43	23,2	15,1	17,8
6	Avenida Boyacá	54,8	27,7	23,9	17,52
7	Avenida 68	35,4	18,4	18,5	14,89
8	Rosario	31,4	18,5	13,4	16,5
9	NQS	42,6	26,4	19,8	17,14
10	Santander	30,8	17,8	10,2	17,39
11	Hospitales	49	33,1	40,1	16,93
12	Calle 10-11	41,1	24,1	14	18,58
13	Calle 26	37,3	16,3	15,1	19,32

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Estación		PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂
		Anual (µg/m ³)			
14	Calle 45	41,3	22,2	16,3	17,73
15	Calle 52	44	22,4	17,6	17,36
16	Calle 63	41,1	23,2	13,3	16,25
17	Calle 72	43,6	22,2	14,9	16,53
18	Calle 76	44,7	19,6	14	15,47

A continuación se presenta el cuadro resumen de los aportes resultantes entre los valores obtenidos en la modelación para los escenarios de construcción y operación con las concentraciones de fondo respectivas para un periodo anual, así mismo se presenta su representatividad respecto los estándares normativos de Resolución 610 del 2006.

Tabla 5.2.1-241 Aportes resultantes escenario de construcción y operación - PM₁₀ Anual

RECEPTOR		Concentración de fondo 24 HR	Resultados Aermod PM10 ANUAL		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo Anual		Res, 610/2006	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m ³)		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación		Máx. Anual	Esc 2
		µg/m ³	Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación			Esc 2 Construcción		
CA1	Patio-Taller	51,3	54,7	3,80	6%	-1249%	50	109%	8%
CA2	Portal Américas	76	101,8	83,69	25%	9%	50	204%	167%
CA3	Villa Blanca	57,6	70,8	24,90	19%	-131%	50	142%	50%
CA4	Kennedy	42,7	72,7	70,94	41%	40%	50	145%	142%
CA5	Palenque	43	50,4	32,25	15%	-33%	50	101%	64%
CA6	Av Boyacá	54,8	69,7	57,14	21%	4%	50	139%	114%
CA7	Avenida 68	35,4	63,9	49,36	45%	28%	50	128%	99%
CA8	Rosario	31,4	47,5	32,87	34%	4%	50	95%	66%
CA9	NQS	42,6	74,4	44,01	43%	3%	50	149%	88%
CA10	Santander	30,8	41,1	27,54	25%	-12%	50	82%	55%
CA11	Hospitales	49	104	86,81	53%	44%	50	208%	174%
CA12	Calle 10-11	41,1	46,2	8,39	11%	-390%	50	92%	17%
CA13	Calle 26	37,3	39,9	13,10	7%	-185%	50	80%	26%
CA14	Calle 45	41,3	52,3	14,68	21%	-181%	50	105%	29%
CA15	Calle 52	44	62	22,16	29%	-99%	50	124%	44%
CA16	Calle 63	41,1	54,3	9,11	24%	-351%	50	109%	18%
CA17	Calle 72	43,6	55,8	8,70	22%	-401%	50	112%	17%
CA18	Calle 76	44,7	48,6	2,79	8%	-1502%	50	97%	6%

Es necesario mencionar que el escenario de Operación contemplo la reducción del tráfico vehicular sobre la Avenida Caracas, modelándose la Avenida Caracas únicamente con el tránsito de buses y el 30% de los vehículos mixtos proyectados, presentados en el numeral de Variables Operativas Aplicadas. A partir de lo anterior, se obtiene reducción en las emisiones de material particulado respecto las concentraciones medidas.

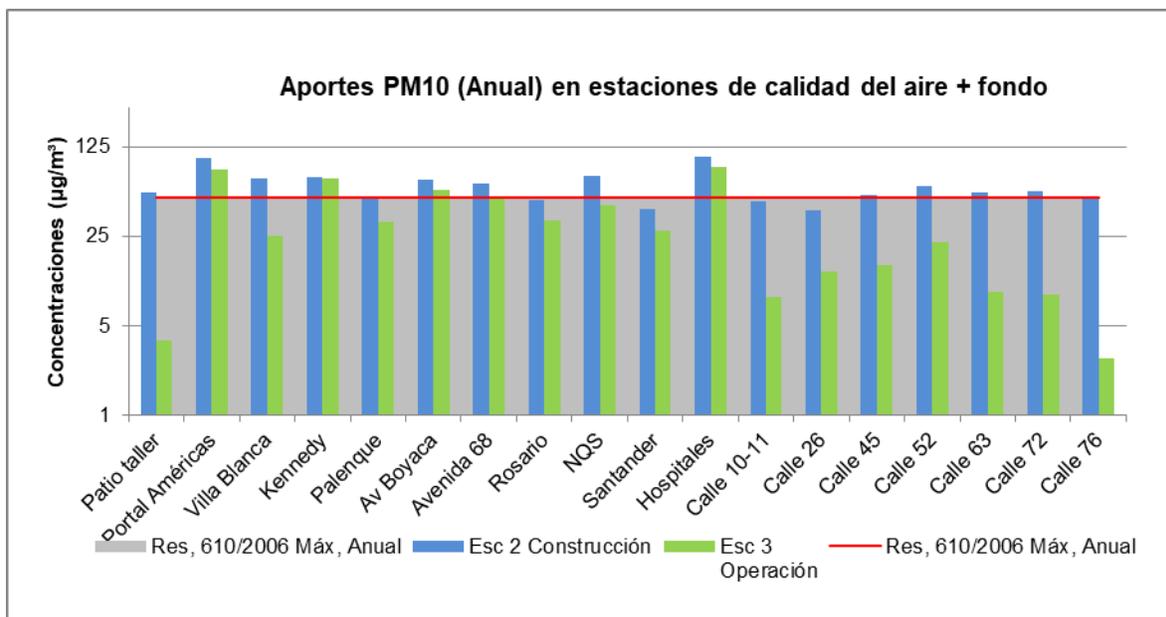


Figura 5.2.1-316 Aportes de PM₁₀ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-242 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – PM_{2,5} Anual

RECEPTOR		Concentración de fondo	Resultados Aermod PM _{2,5} anual		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo		Res, 610/2006	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m ³)		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación		Máx, Anual	Esc 2
		µg/m ³	Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación					
CA1	Patio-Taller	30,9	32,5	31	5%	0%	25	130%	124%
CA2	Portal Américas	37,4	49,4	38,9	24%	4%	25	198%	156%
CA3	Villa Blanca	22,2	28,7	23	23%	3%	25	115%	92%
CA4	Kennedy	27,7	42	29,8	34%	7%	25	168%	119%
CA5	Palenque	23,2	26,4	24,7	12%	6%	25	106%	99%
CA6	Av Boyacá	27,7	34,6	30,6	20%	9%	25	138%	122%
CA7	Avenida 68	18,4	31,9	21	42%	12%	25	128%	84%
CA8	Rosario	18,5	25,7	21,2	28%	13%	25	103%	85%
CA9	NQS	26,4	40,5	30,2	35%	13%	25	162%	121%
CA10	Santander	17,8	22,3	20,5	20%	13%	25	89%	82%
CA11	Hospitales	33,1	58,4	36,3	43%	9%	25	234%	145%
CA12	Calle 10-11	24,1	26,4	24,8	9%	3%	25	106%	99%
CA13	Calle 26	16,3	17,5	16,6	7%	2%	25	70%	66%
CA14	Calle 45	22,2	27,5	22,9	19%	3%	25	110%	92%
CA15	Calle 52	22,4	31,7	23	29%	3%	25	127%	92%
CA16	Calle 63	23,2	30	23,9	23%	3%	25	120%	96%
CA17	Calle 72	22,2	28,4	22,9	22%	3%	25	114%	92%
CA18	Calle 76	19,6	21,6	19,9	9%	2%	25	86%	80%

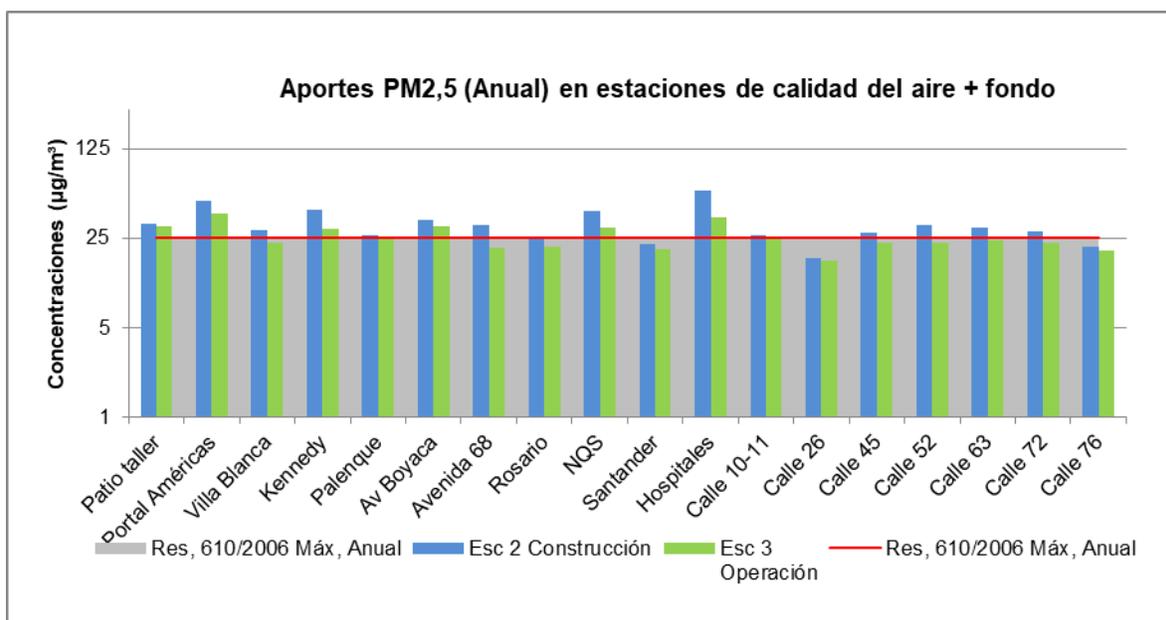


Figura 5.2.1-317 Aportes de PM_{2,5} Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-243 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – SO₂ Anual

RECEPTOR		Concentración de fondo µg/m ³	Resultados Aermod SO ₂ anual		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo		Res, 610/2006 Máx, Anual	Porcentaje respecto a la norma	
			Aportes totales PLMB (µg/m ³)		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación
			Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación					
CA1	Patio-Taller	20,15	20,21	20,19	0%	0%	25	81%	81%
CA2	Portal Américas	17,06	17,5	17,51	3%	3%	25	70%	70%
CA3	Villa Blanca	17,09	17,26	17,32	1%	1%	25	69%	69%
CA4	Kennedy	16,94	17,57	17,64	4%	4%	25	70%	71%
CA5	Palenque	17,8	18,07	18,31	1%	3%	25	72%	73%
CA6	Av Boyacá	17,52	17,87	18,42	2%	5%	25	71%	74%
CA7	Avenida 68	14,89	15,34	15,53	3%	4%	25	61%	62%
CA8	Rosario	16,5	16,86	17,18	2%	4%	25	67%	69%
CA9	NQS	17,14	17,89	18,11	4%	5%	25	72%	72%
CA10	Santander	17,39	17,95	18,44	3%	6%	25	72%	74%
CA11	Hospitales	16,93	19,08	18,07	11%	6%	25	76%	72%
CA12	Calle 10-11	18,58	18,81	18,84	1%	1%	25	75%	75%
CA13	Calle 26	19,32	19,4	19,42	0%	1%	25	78%	78%
CA14	Calle 45	17,73	17,95	17,96	1%	1%	25	72%	72%
CA15	Calle 52	17,36	17,47	17,57	1%	1%	25	70%	70%
CA16	Calle 63	16,25	16,36	16,5	1%	2%	25	65%	66%
CA17	Calle 72	16,53	16,64	16,77	1%	1%	25	67%	67%
CA18	Calle 76	15,47	15,51	15,56	0%	1%	25	62%	62%

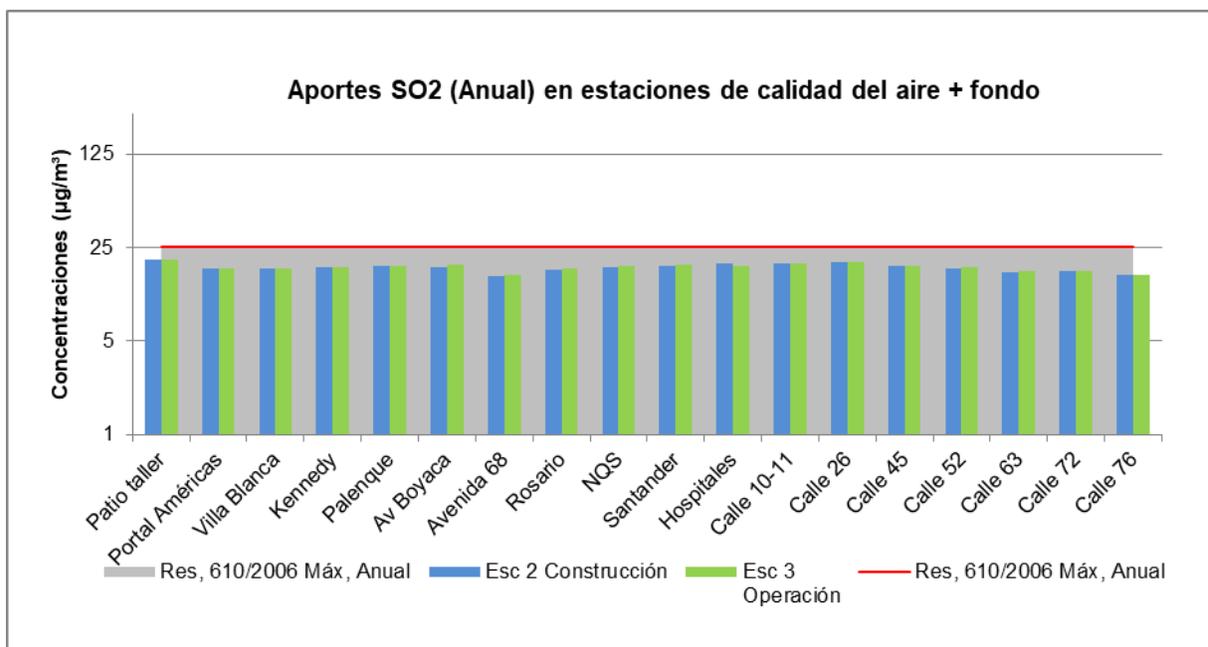


Figura 5.2.1-318 Aportes de SO₂ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Tabla 5.2.1-244 Aportes resultantes escenario de construcción y operación – NO₂ Anual

RECEPTOR	Concentración de fondo µg/m ³	Resultados Aermod NO ₂ anual		Porcentaje de incremento respecto la concentración de fondo		Res, 610/2006 Máx, Anual	Porcentaje respecto a la norma		
		Aportes totales PLMB (µg/m ³)		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación		Esc 2	Esc 3	
		Esc 2 Construcción	Esc 3 Operación						
CA1	Patio-Taller	15,3	16,8	15,6	9%	2%	100	17%	16%
CA2	Portal Américas	14,2	26,2	17,9	46%	21%	100	26%	18%
CA3	Villa Blanca	18,7	24,3	20,7	23%	10%	100	24%	21%
CA4	Kennedy	15,8	29,8	22,1	47%	29%	100	30%	22%
CA5	Palenque	15,1	19,1	19,6	21%	23%	100	19%	20%
CA6	Av Boyacá	23,9	30,8	31,9	22%	25%	100	31%	32%
CA7	Avenida 68	18,5	31,8	24,2	42%	24%	100	32%	24%
CA8	Rosario	13,4	20,3	19,4	34%	31%	100	20%	19%
CA9	NQS	19,8	33,8	28,4	41%	30%	100	34%	28%
CA10	Santander	10,2	16,5	18,8	38%	46%	100	17%	19%
CA11	Hospitales	40,1	68,7	50	42%	20%	100	69%	50%
CA12	Calle 10-11	14	16,8	16,3	17%	14%	100	17%	16%
CA13	Calle 26	15,1	16,3	15,9	7%	5%	100	16%	16%
CA14	Calle 45	16,3	22	18,2	26%	10%	100	22%	18%
CA15	Calle 52	17,6	25,7	19,3	32%	9%	100	26%	19%
CA16	Calle 63	13,3	19,5	15,3	32%	13%	100	20%	15%
CA17	Calle 72	14,9	20,6	16,8	28%	11%	100	21%	17%
CA18	Calle 76	14	15,9	14,7	12%	5%	100	16%	15%

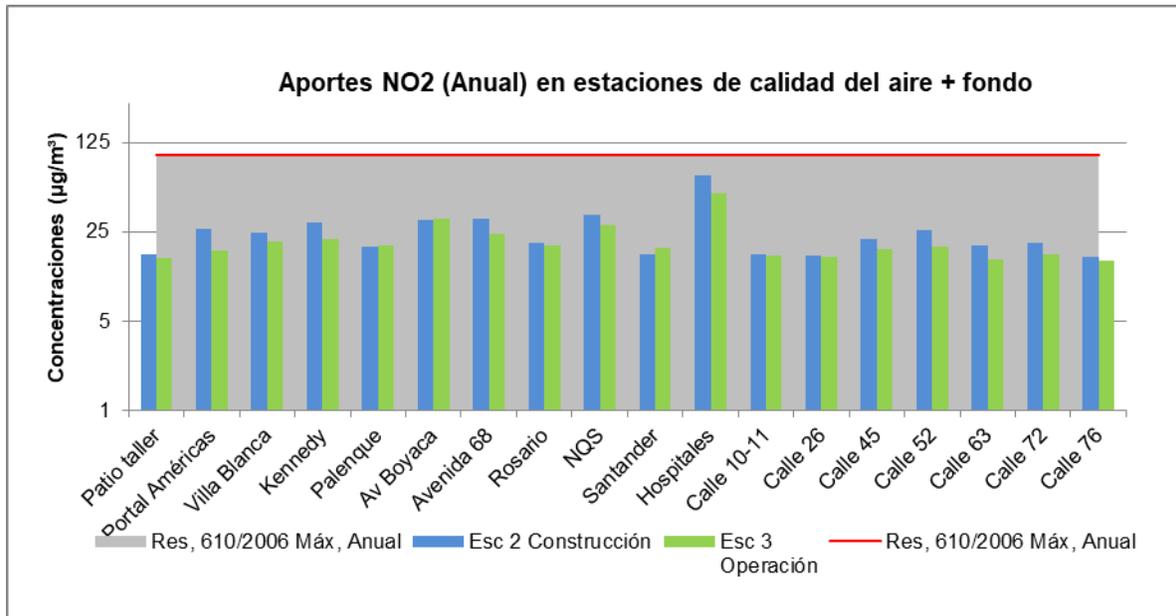


Figura 5.2.1-319 Aportes de NO₂ Anual Escenarios de construcción y operación respecto la norma

Escenario construcción

Para el escenario de la etapa de construcción, los resultados corresponden a la proyección del tráfico vehicular y los diferentes procesos involucrados en este escenario como la construcción de las fuentes: columnas, estaciones y vías.

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}):

A continuación se muestra la distribución de curvas de concentración – Isopletas para PM₁₀ y PM_{2.5} estimadas para el escenario de línea base en el periodo 24 horas y anual, como resultado de la modelación más la inclusión de la concentración fondo.

Para PM₁₀ 24 horas, el rango de concentración de la isopleta es de 60 – 300 µg/m³, donde se presentaron los valores más altos entre el sector Patio-Taller y Portal Américas, Santander, Hospitales y entre Calle 26 a Calle 45. La isopleta anual de PM₁₀ posee un rango de 30 a 110 µg/m³ y las mayores concentraciones se observan en los mismos sectores que la isopleta 24 horas.

Como puede apreciarse en las curvas de concentración de PM_{2.5}, los mayores aportes se presentan entre el sector Patio-Taller hasta el Portal Américas y los menores se observan en la zona de la Avenida 68 y Rosario y desde la Calle 10-11 hasta la Calle 26, con un rango de concentración de 30 a 150 µg/m³ y de 15 – 60 µg/m³ para la isopleta 24 horas y anual, respectivamente.

Las concentraciones de material particulado- PM₁₀ y PM_{2.5} presentan valores superiores a la norma anual de calidad del aire, 50 µg/m³ para PM₁₀ y de 25 µg/m³ para PM_{2.5}, así como hubo valores que superaron las normas de 24 horas para ambos casos.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

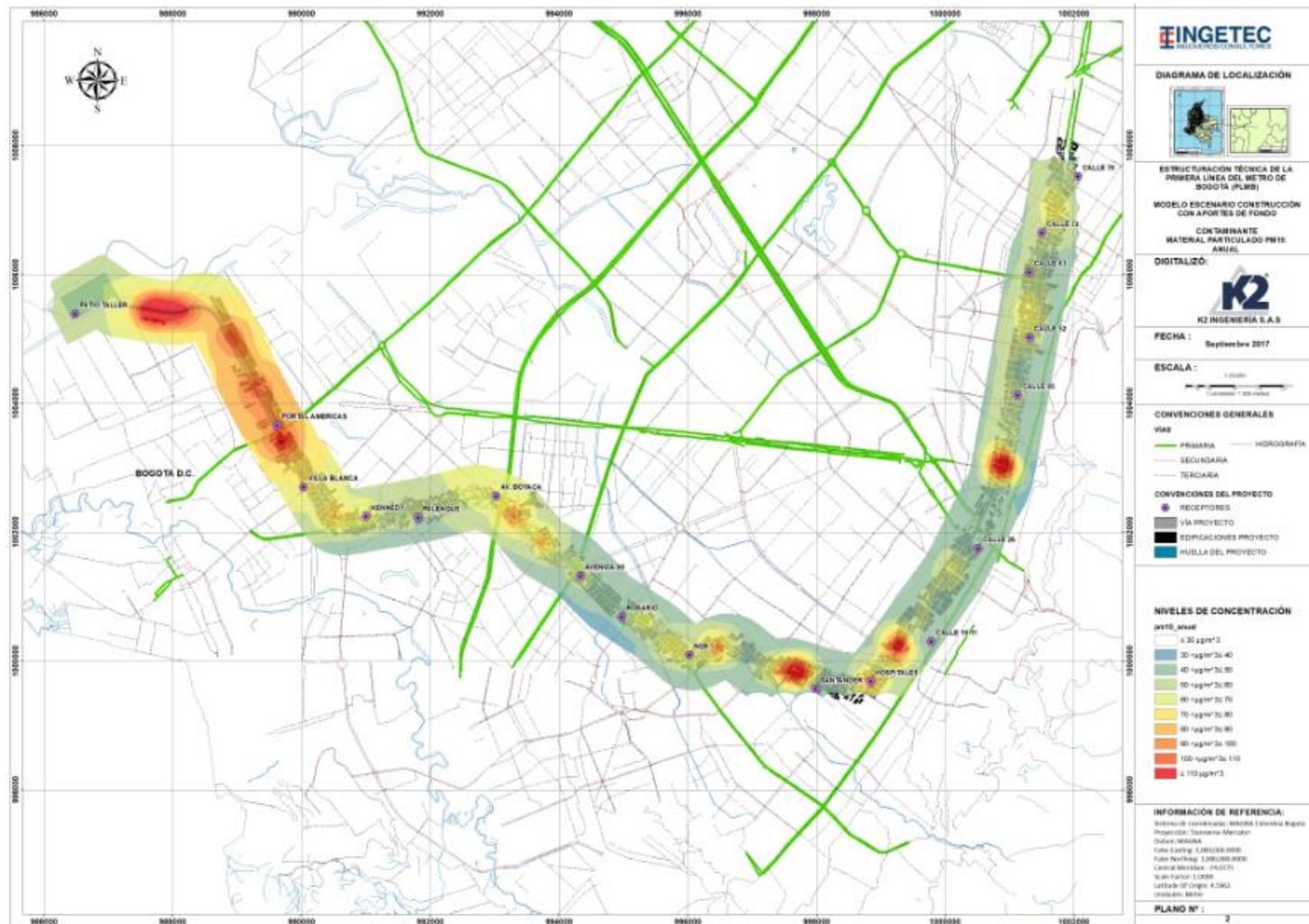


Figura 5.2.1-320 Isopleta anual PM₁₀ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

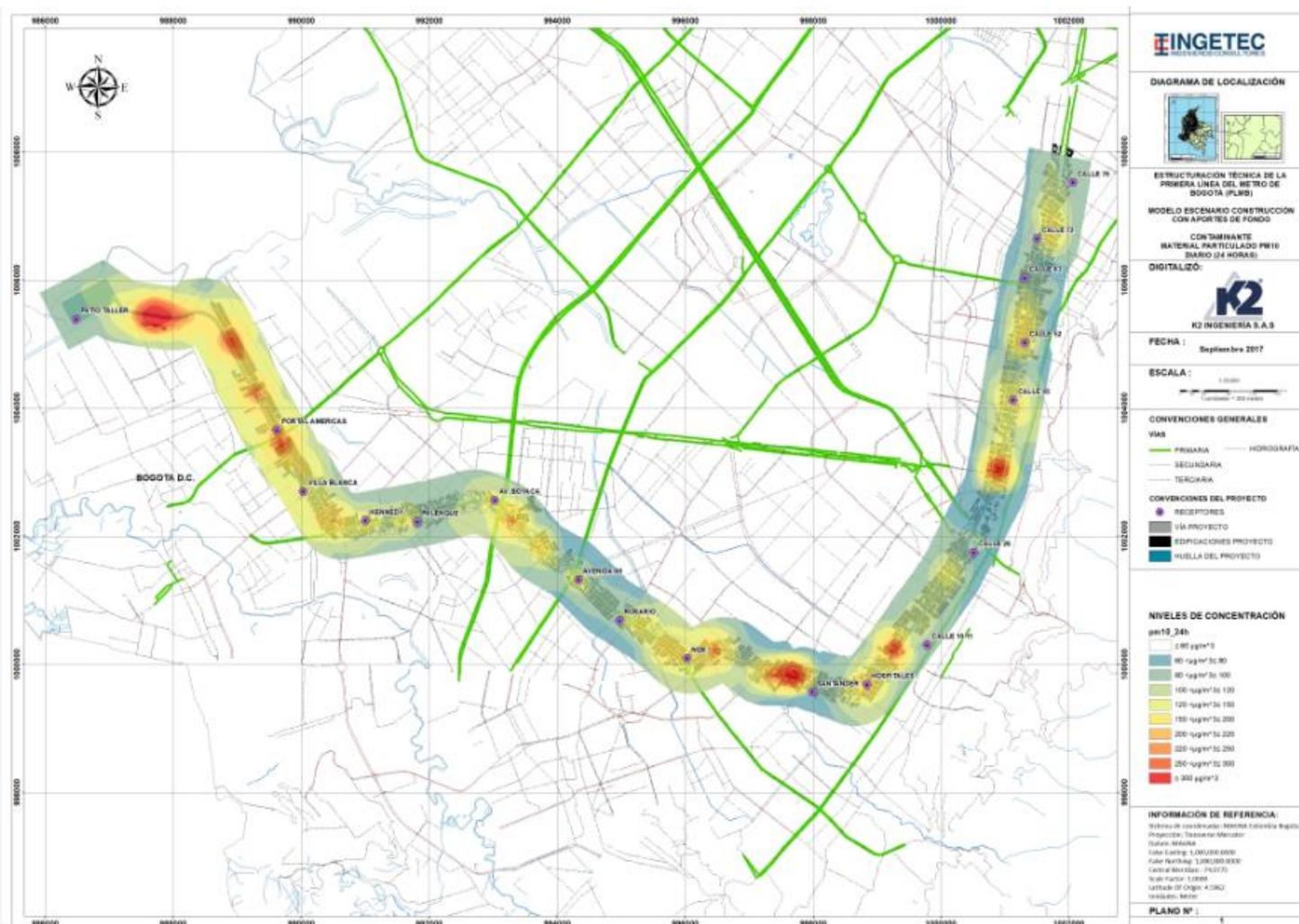


Figura 5.2.1-321 Isopleta 24Horas PM₁₀ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

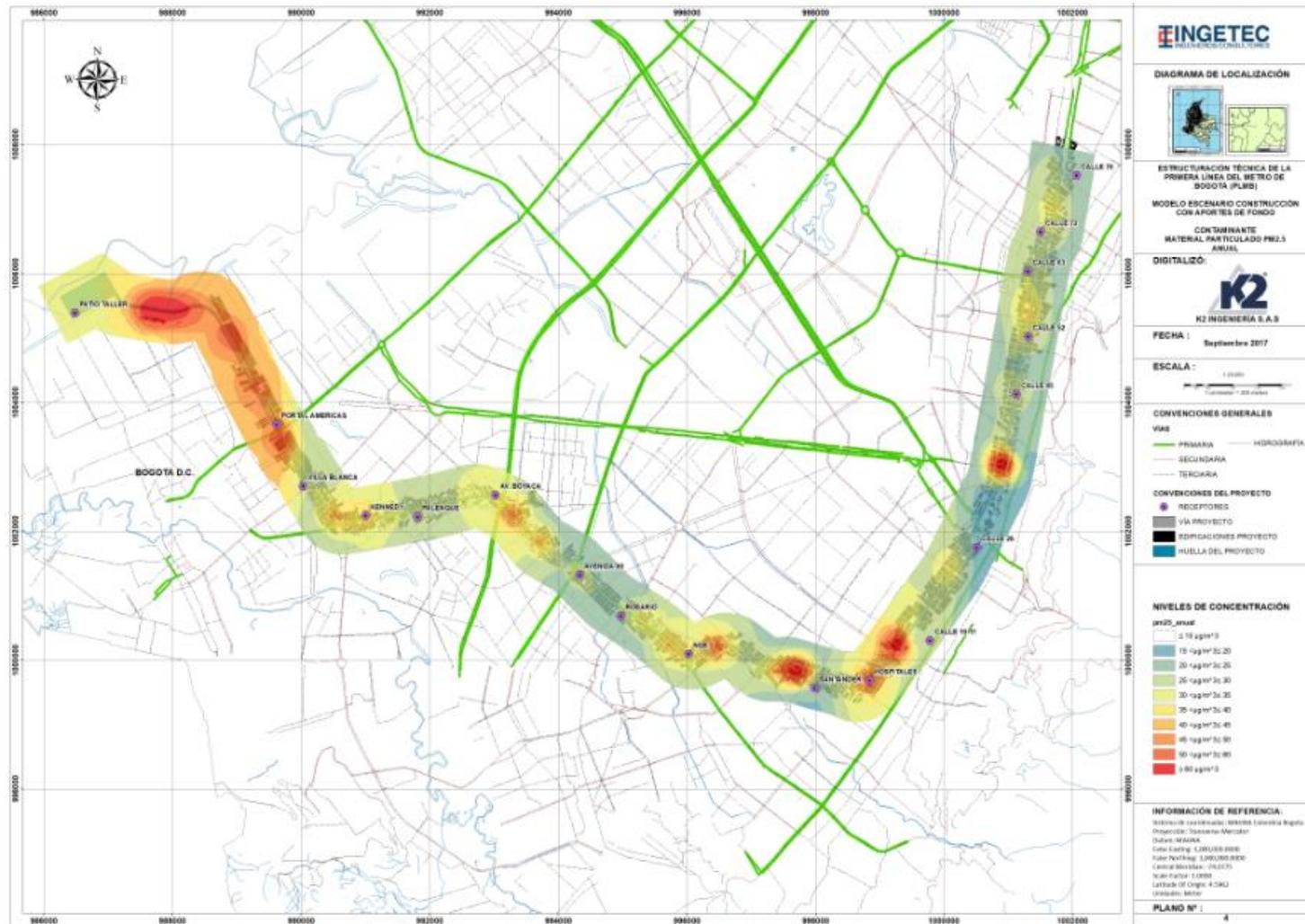


Figura 5.2.1-322 Isopleta anual PM_{2.5} proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

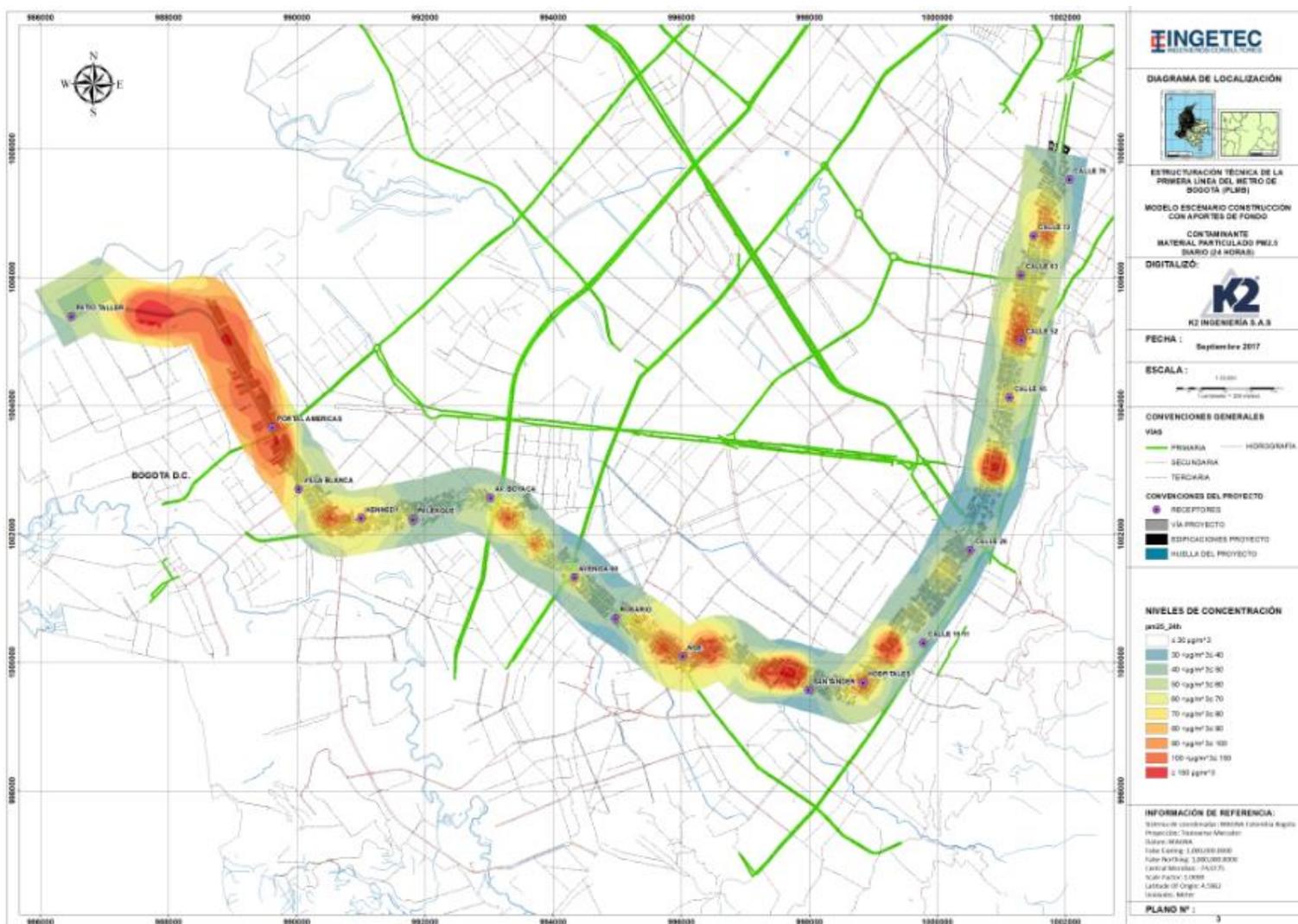


Figura 5.2.1-323 Isopleta 24 horas PM_{2.5} proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Dióxido de Nitrógeno (NO₂):

A continuación se observan las isopletras de concentración 24 horas y anual de NO₂, se obtiene un rango de concentración de 20 – 120 µg/m³.y de 10 a 45 µg/m³ para 24 horas y anual, respectivamente. Las isopletras no exceden la norma anual de 100 µg/m³ ni la norma de 24 horas de 150 µg/m³. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan en Patio-Taller, entre Santander y Hospitales, y entre Calle 26 a Calle 45.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

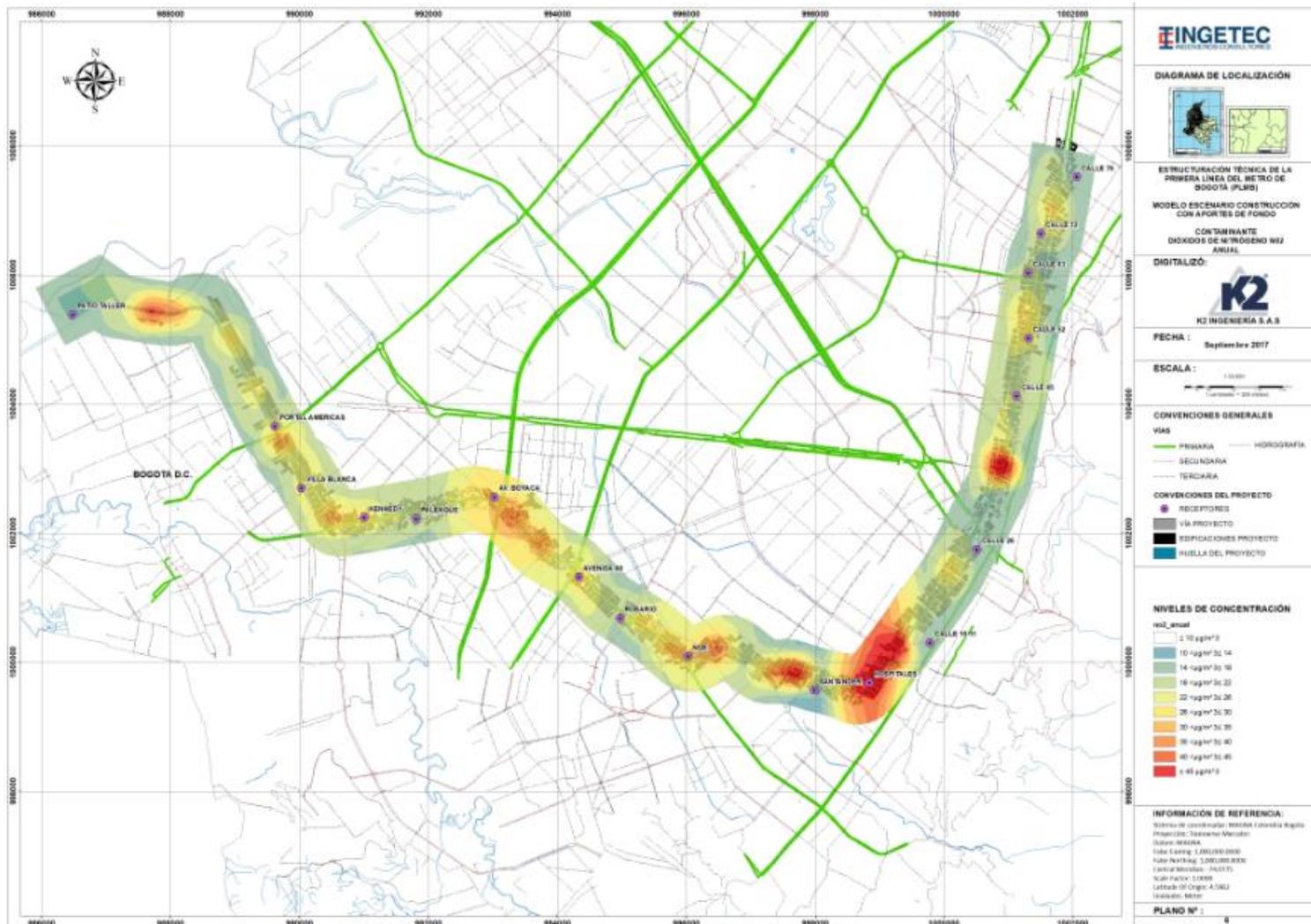


Figura 5.2.1-324 Isopleta anual NO_2 proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos

LINEA BASE
 REV.4,04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

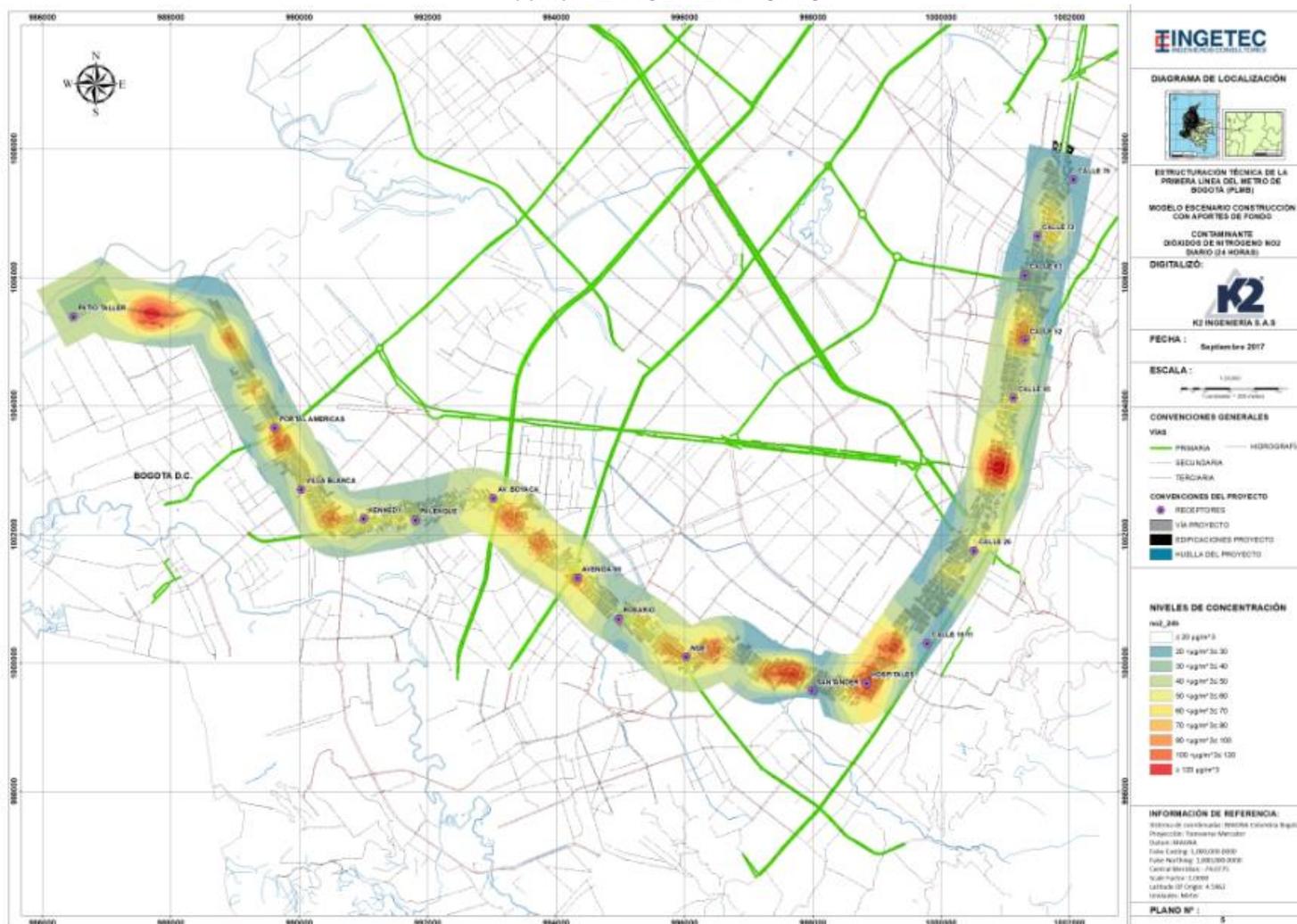


Figura 5.2.1-325 Isopleta 24horas NO₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Dióxido de Azufre (SO₂):

El periodo 24 horas presenta un rango entre 13 y 50 µg/m³, mientras que la isopleta anual posee un rango de 14.5 a 19.5 µg/m³, no se exceden las normas 24 horas y anual de 250 y 80 µg/m³, respectivamente. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan en Patio-Taller y entre los sectores Calle 10-11 hasta la Calle 45.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

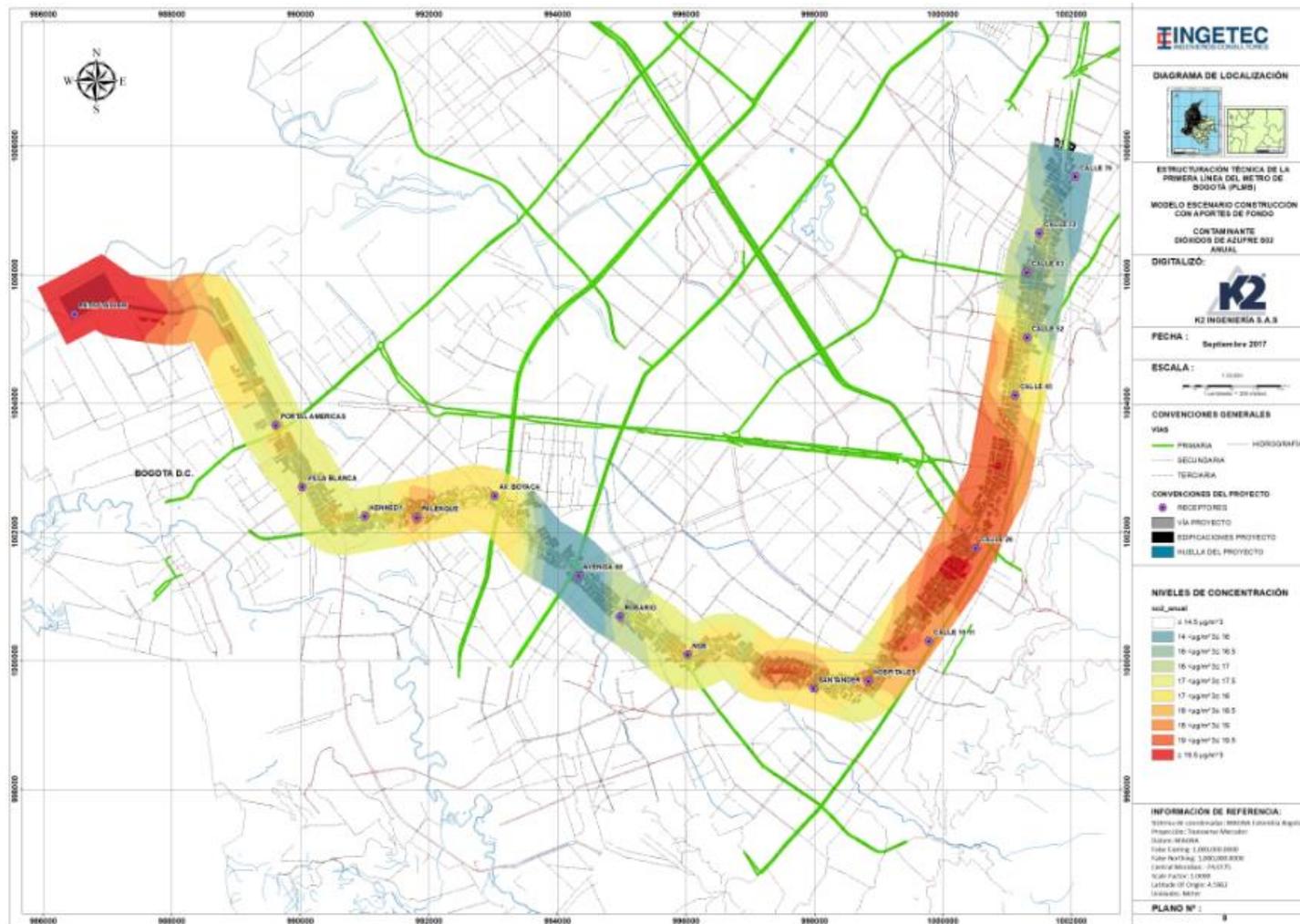


Figura 5.2.1-326 Isopleta anual SO₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

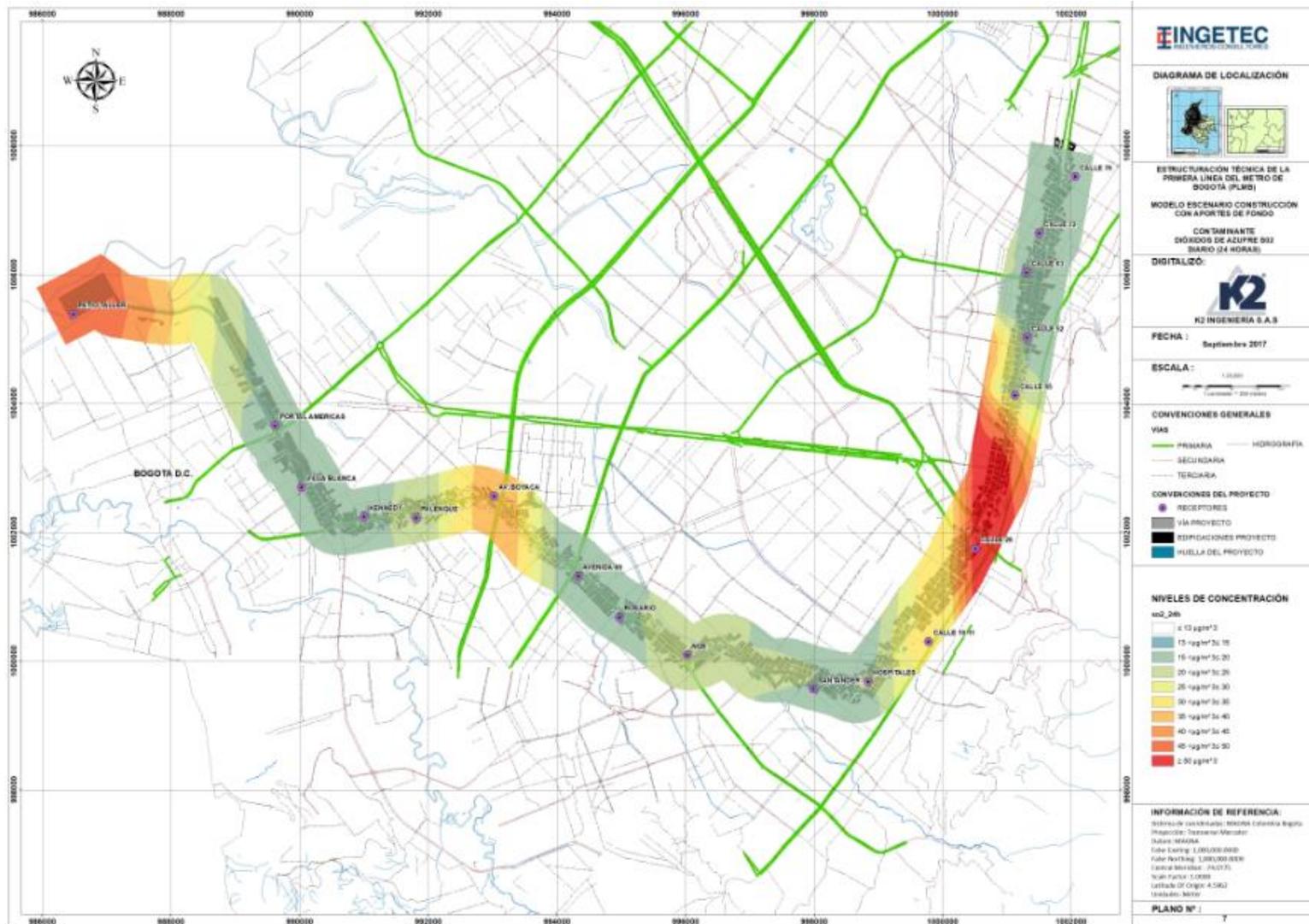
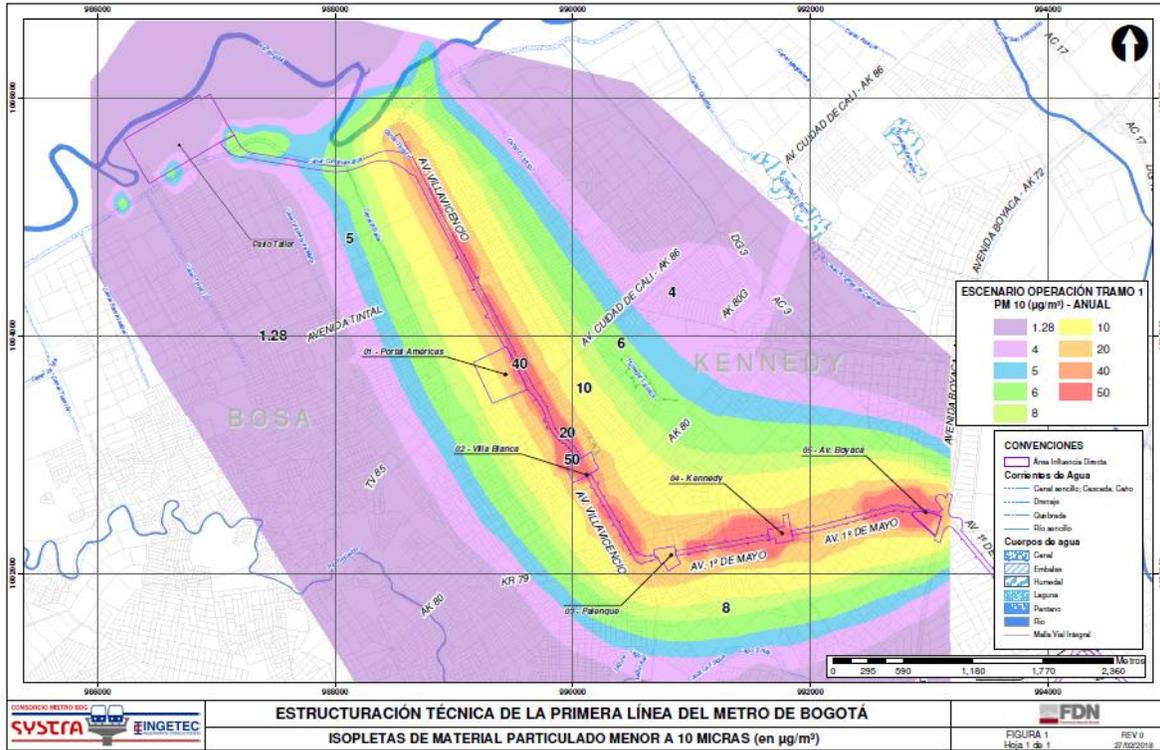


Figura 5.2.1-327 Isopleta 24 horas SO₂ proyecto PLMB. Escenario Construcción más Fondos
 Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

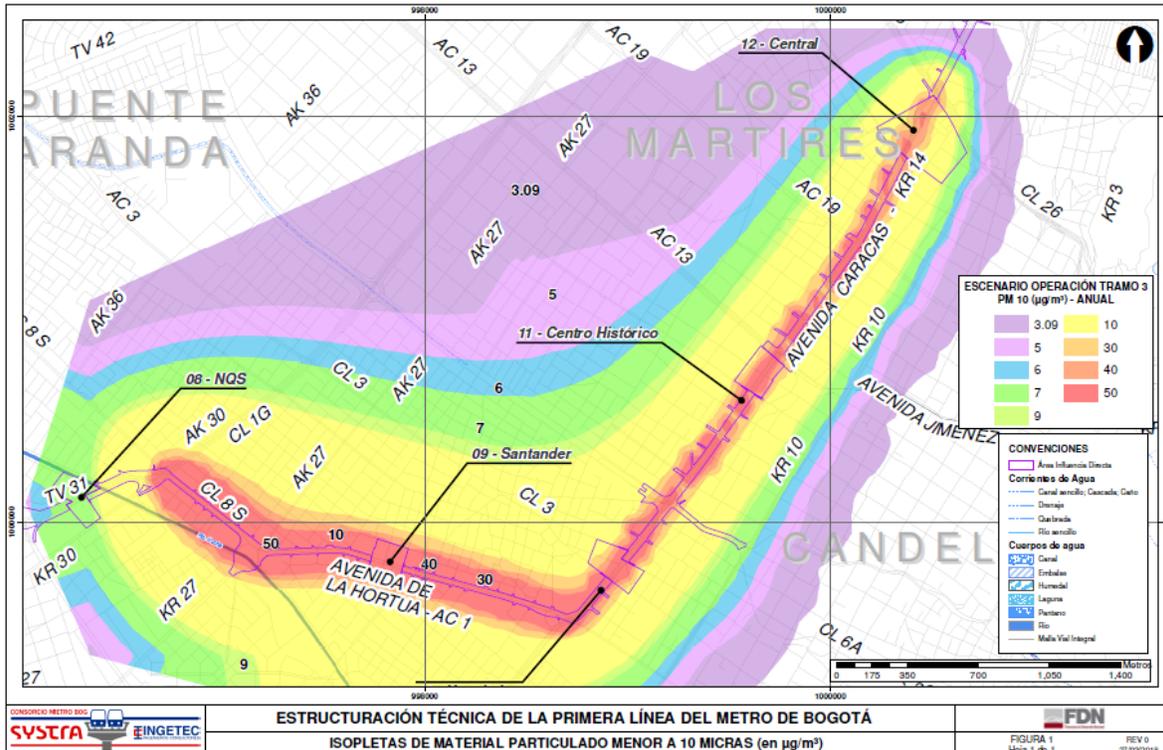
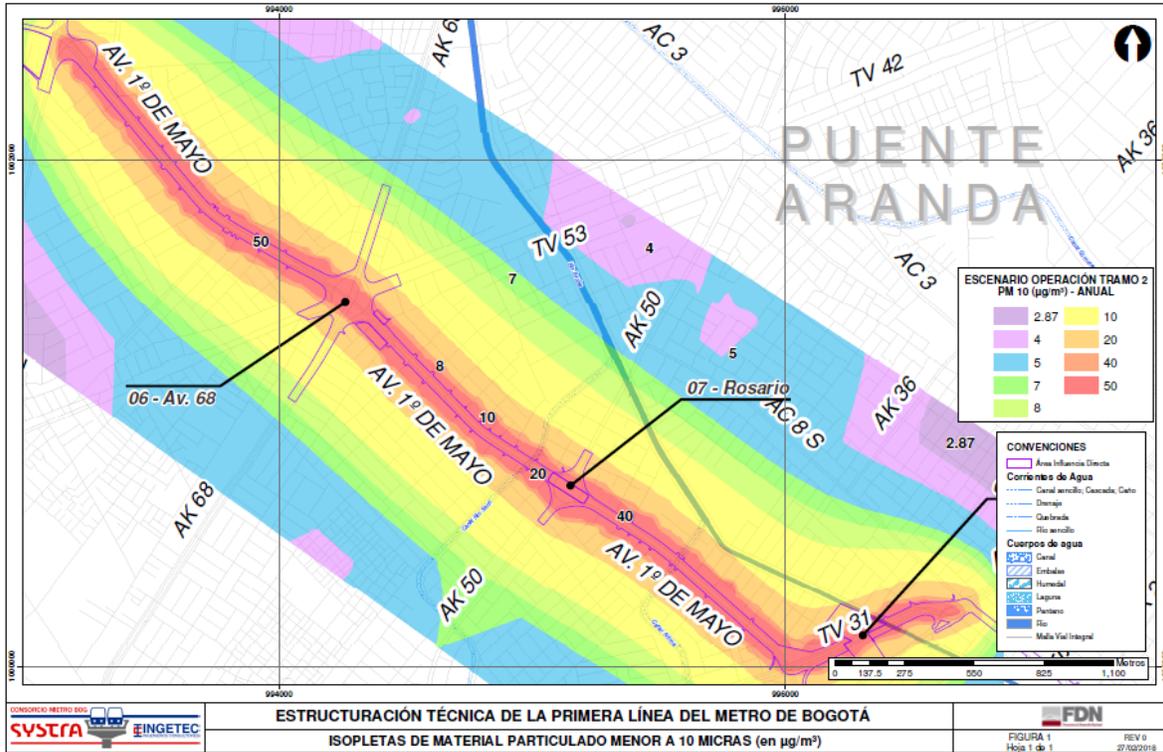
Escenario operación

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}):

A continuación se muestra la distribución de curvas de concentración – Isopletas para PM₁₀ estimadas para el escenario de operación en el periodo 24 horas y anual, como resultado de la modelación con concentraciones de fondo, se presentan por tramos del trazado.



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

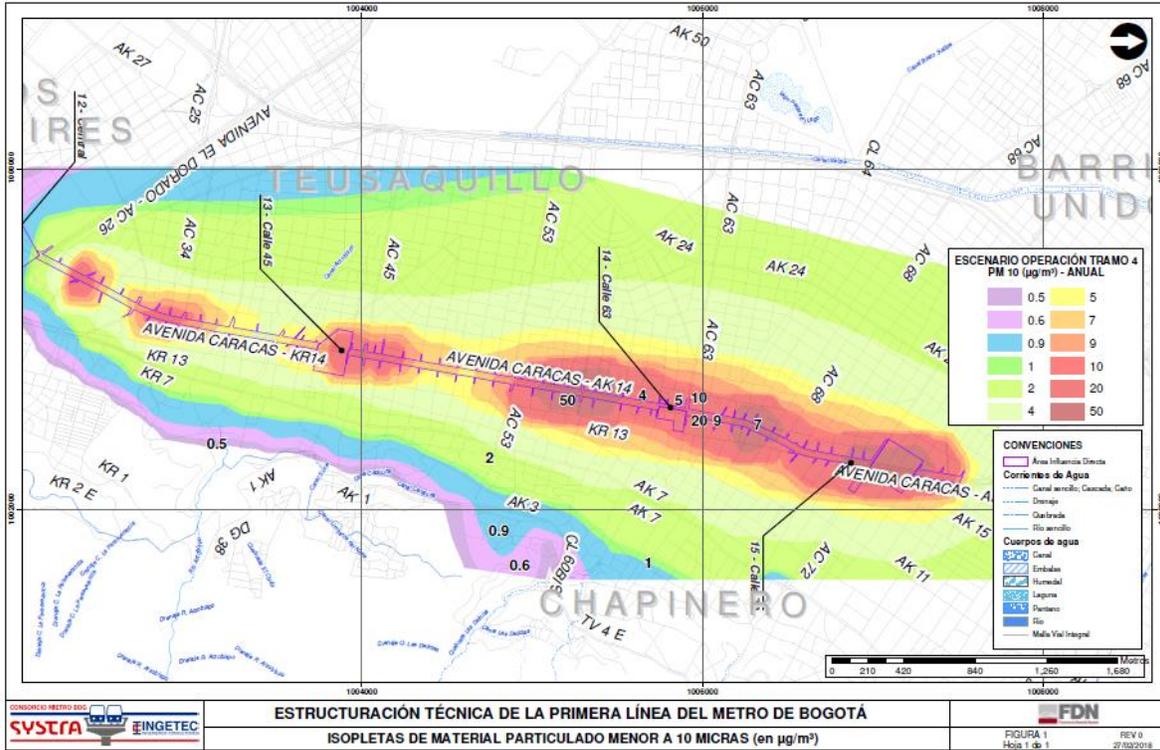
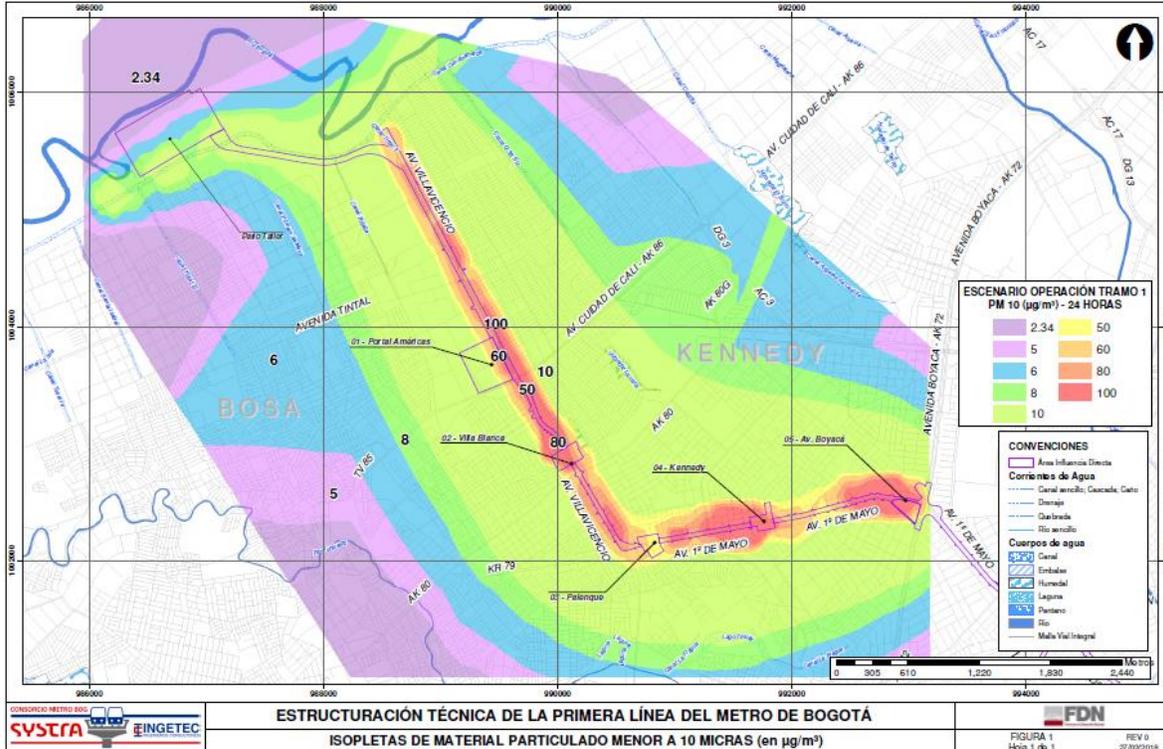
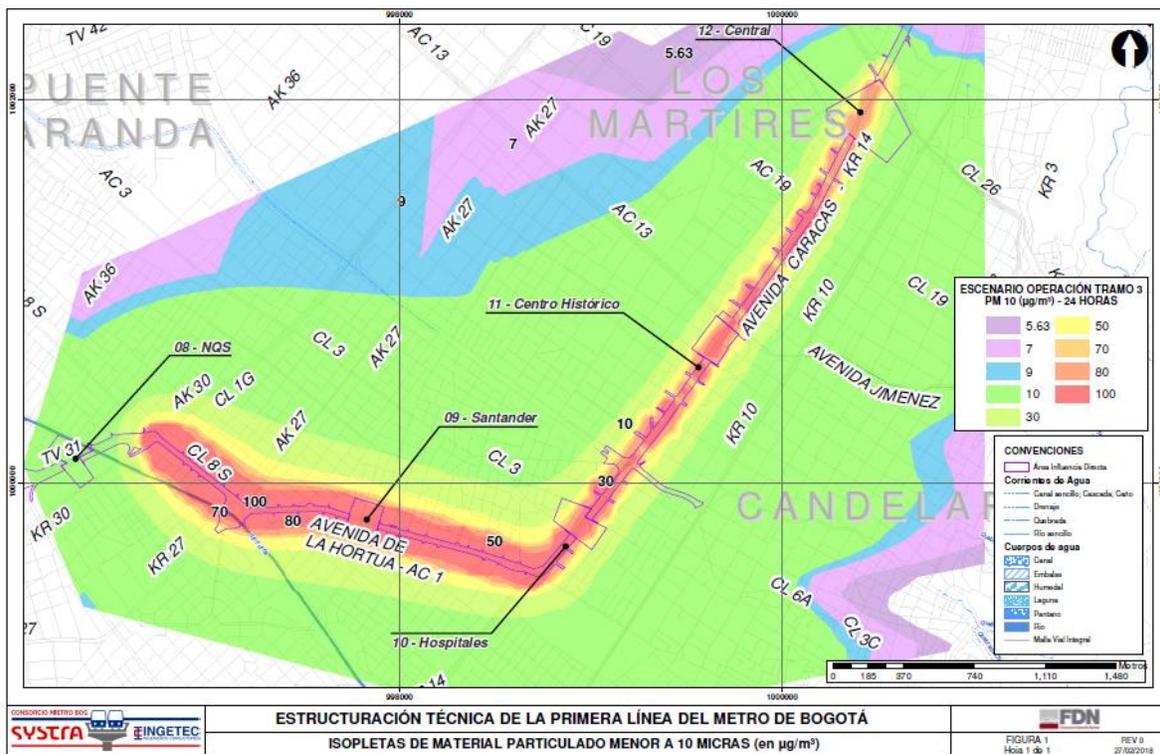
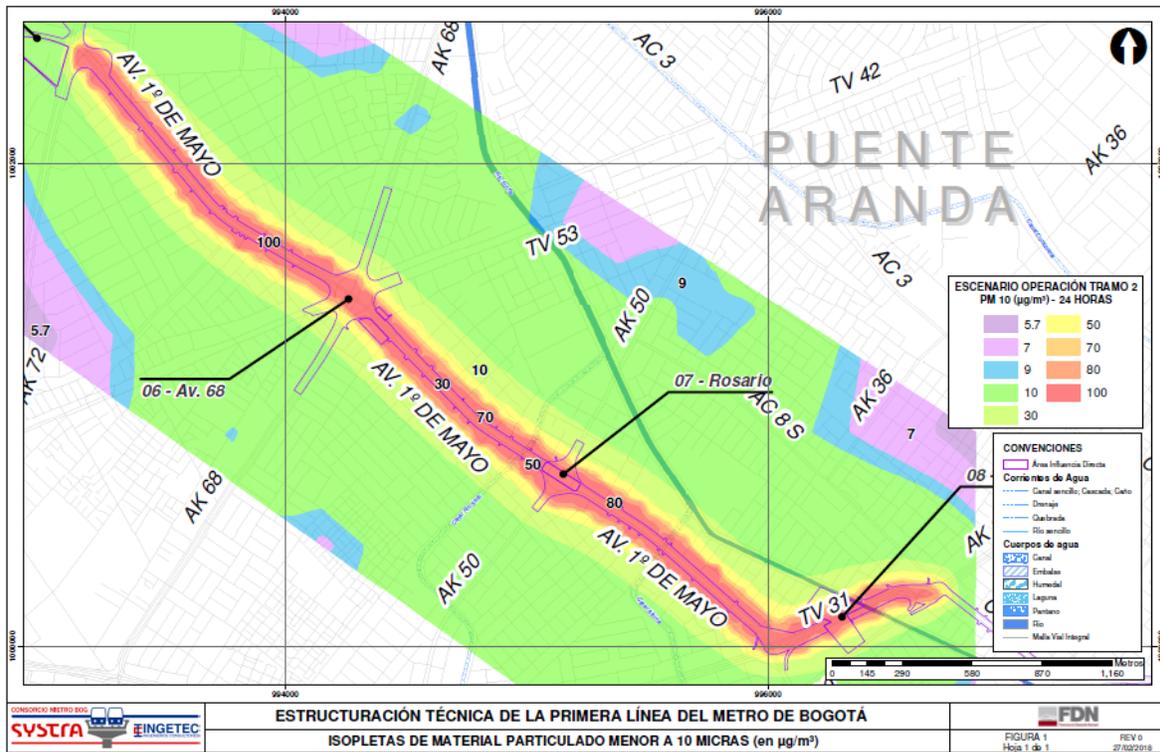


Figura 5.2.1-328 Isopletas PM₁₀ anual por tramos Escenario Operación



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

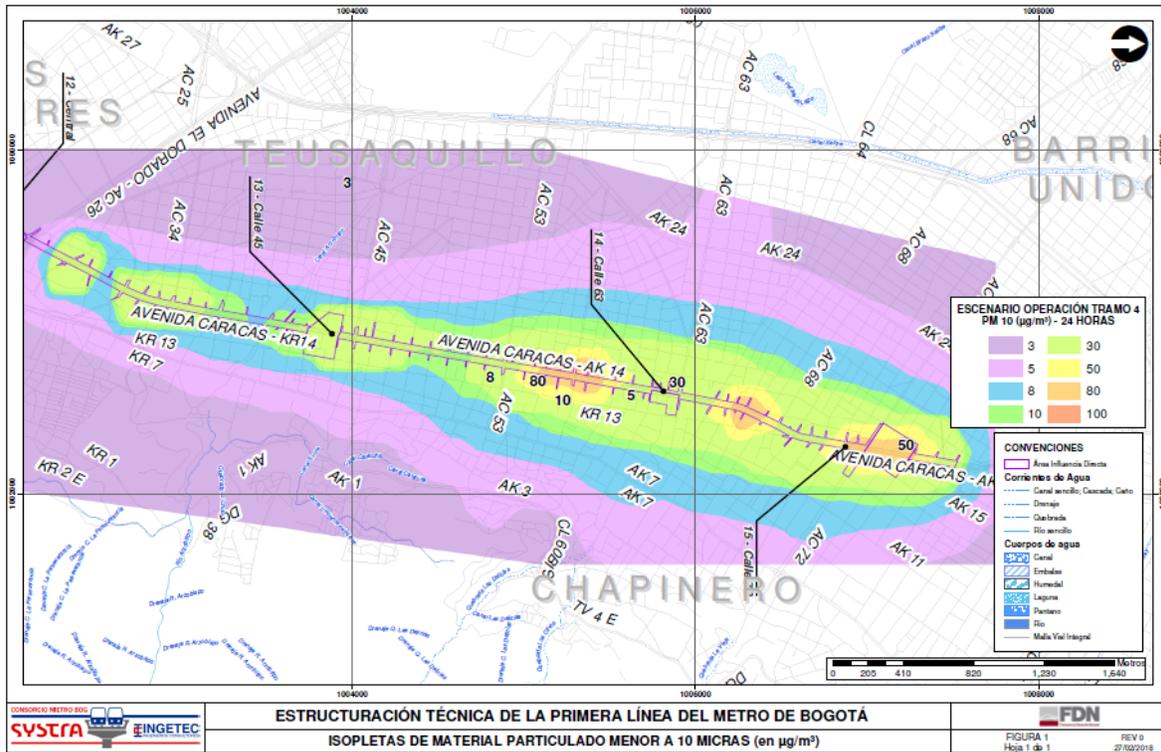


Figura 5.2.1-329 Isopleas PM₁₀ 24Horas por tramos Escenario Operación

A continuación se presenta las isopleas de PM_{2.5} Anuales y 24 Horas estimadas para el escenario de operación, como resultado de la modelación al cual se le incluyeron las concentraciones de fondo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

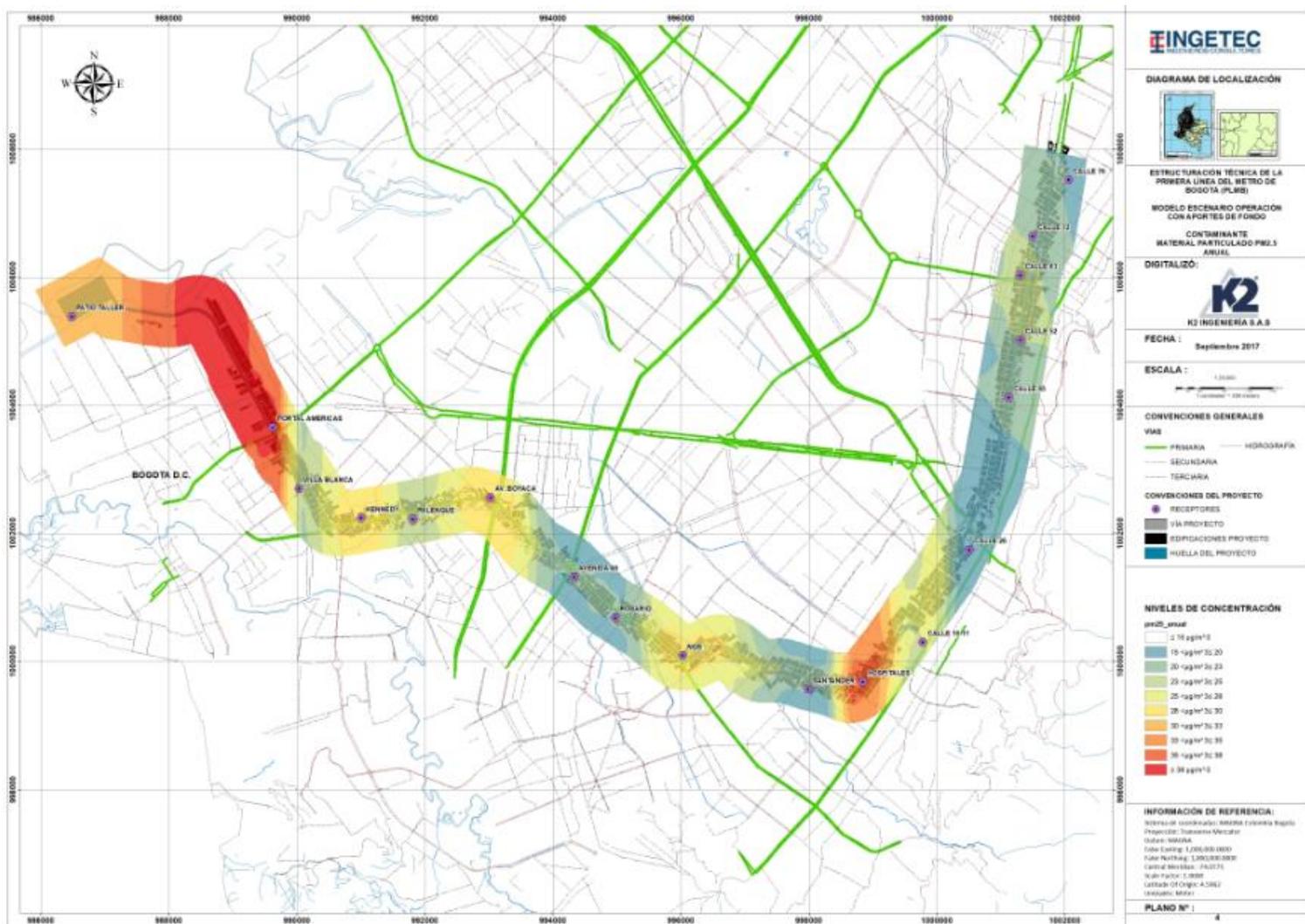


Figura 5.2.1-330 Isopletras PM_{2.5} Anual Escenario Operación en todo el trazado

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



Figura 5.2.1-331 Isopletas PM_{2,5} 24Horas Escenario Operación en todo el trazado

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

En la Figura 5.2.1-332 y Figura 5.2.1-333 se observan las isopletras de concentración 24 horas y anual de NO₂, se obtiene un rango de concentración de 5 – 55 µg/m³.y de 10 a 40 µg/m³ para 24 horas y anual, respectivamente. Las isopletras exceden la norma anual de 100 µg/m³ ni la norma de 24 horas de 150 µg/m³.

Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan entre Avenida 68 y hospitales para la isopletra 24 horas, por otro lado para la isopletra anual se obtienen las mayores concentraciones entre el sector Santander y Hospitales.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

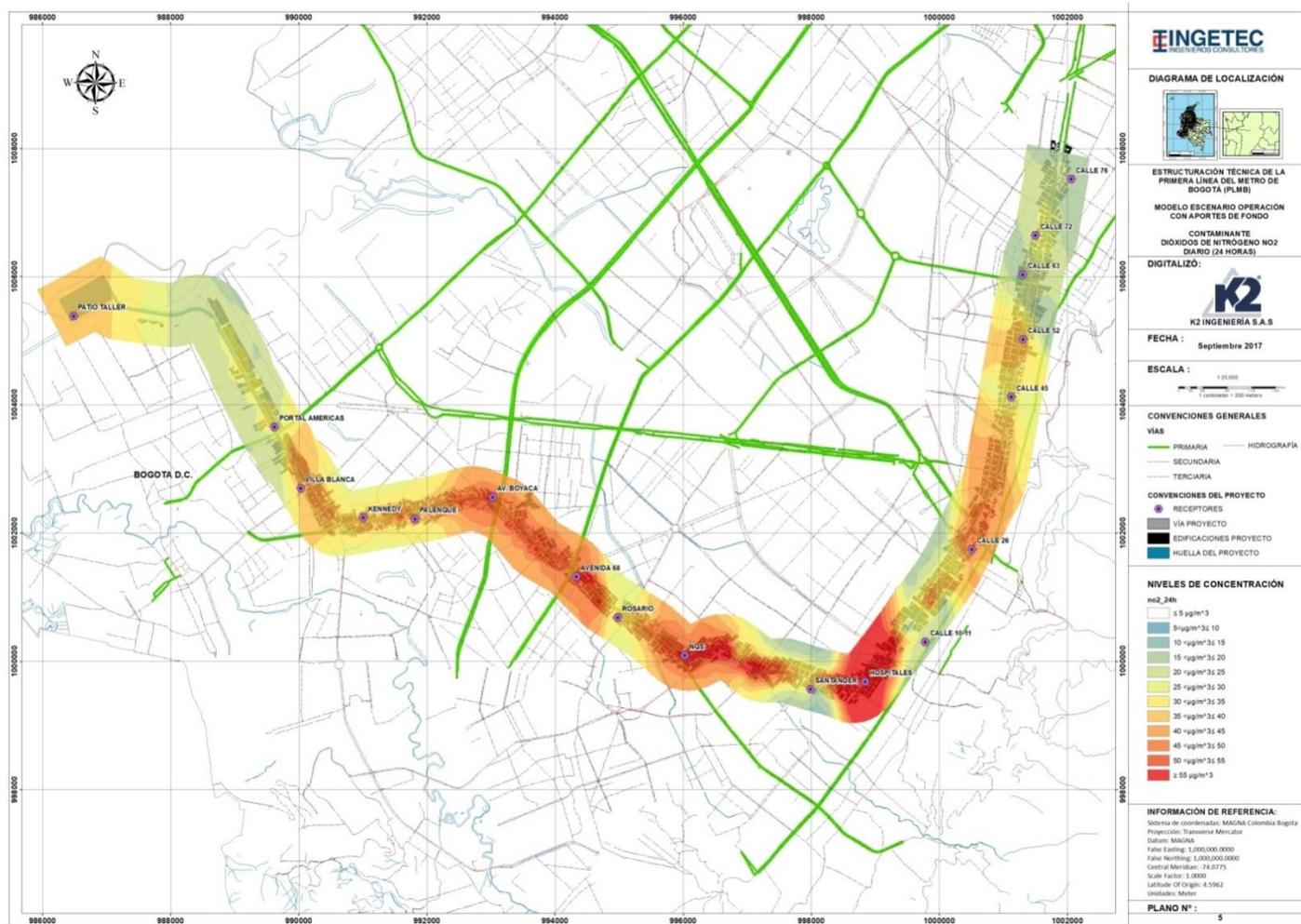


Figura 5.2.1-332 Isopleta 24 horas NO₂ proyecto PLMB Escenario operación más Fondos. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

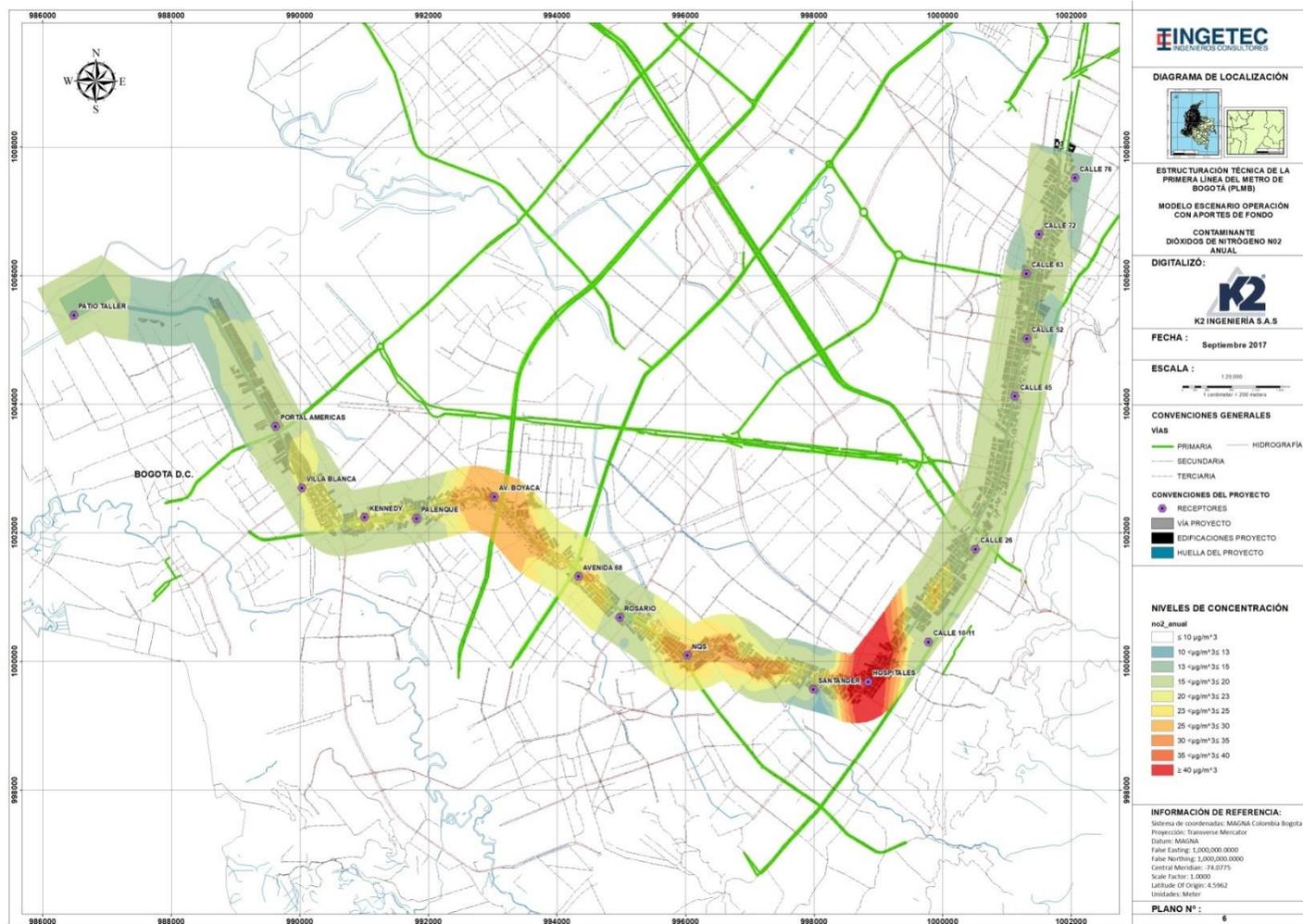


Figura 5.2.1-333 Isopleta anual NO₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Dióxido de azufre (SO₂)

El periodo 24 horas presenta un rango entre 15 y 50 µg/m³, mientras que la isopleta anual posee un rango de 14 a 20 µg/m³. No se exceden las normas 24 horas y anual de 250 y 80 µg/m³, respectivamente. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentan en Patio-Taller y entre los sectores Calle 26 y Calle 45.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

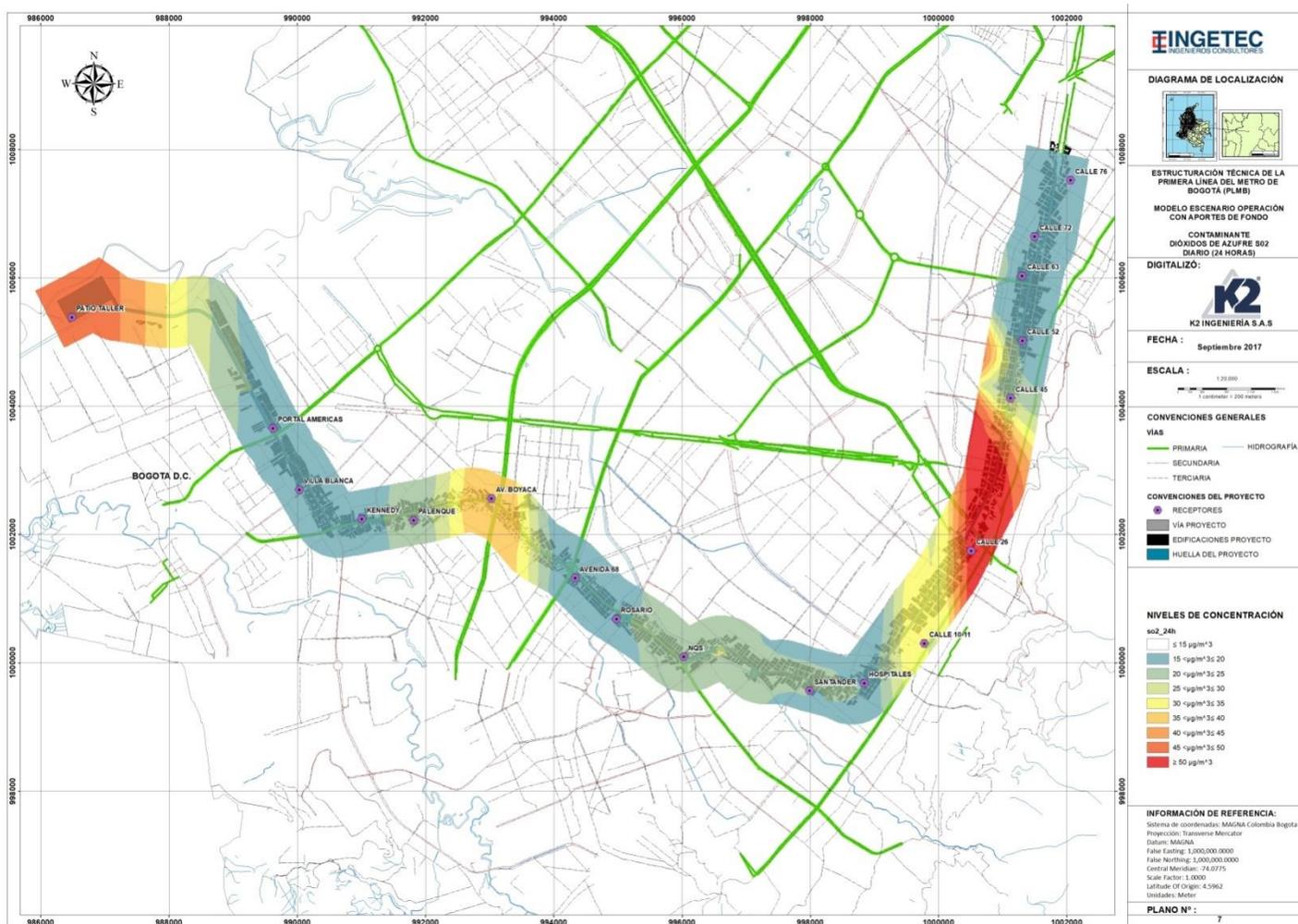


Figura 5.2.1-334 Isopleta 24 horas SO₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

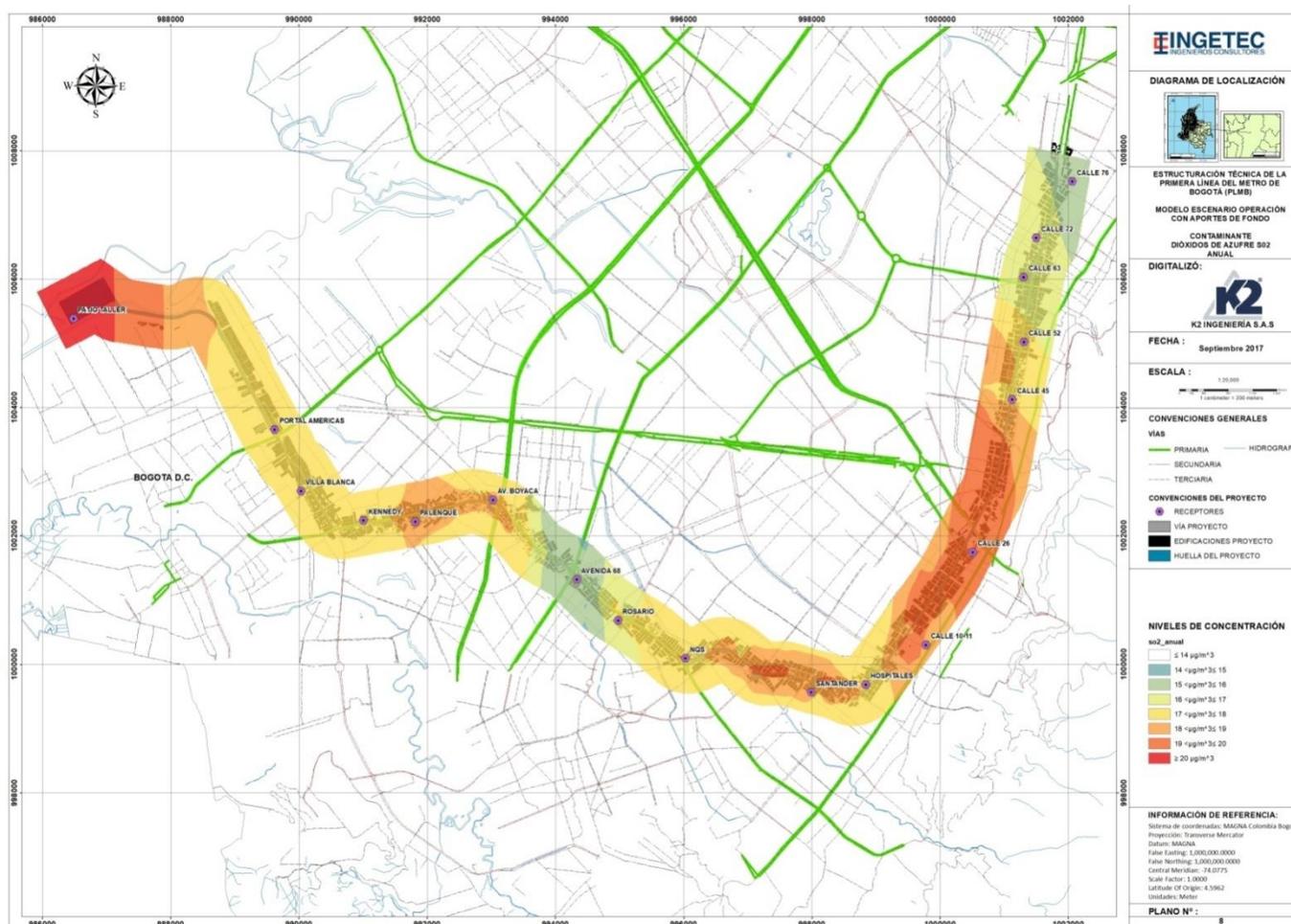


Figura 5.2.1-335 Isopleta anual SO₂ proyecto PLMB más Fondos. Escenario 3
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2.1.20.9.17 Aporte del proyecto en cuanto a las emisiones de PM₁₀ Anual y 24 Horas

Con el fin de estimar el aporte del proyecto en cuanto a las emisiones de material particulado PM₁₀ en su fase de operación respecto a la línea base, a continuación se presentan los resultados de las modelaciones para el escenario de Operación (año 2042) con el 70% de reducción del tráfico sobre la Av. Caracas y el 100% del tráfico rodado.

Tabla 5.2.1-245 Resultado de modelación – Aporte de PM₁₀ Escenario Operación ANUAL

Receptor		Concentración de fondo µg/m³	Resultados Aermod PM10 ANUAL			
			Aportes totales PLMB (µg/m³)			
			Esc 3 Operación Con Proyecto	Esc 3 Operación Sin Proyecto	Esc 3 Emisiones del proyecto	Emisiones totales Esc Operación respecto Línea Base
CA1	Patio taller	51,3	3,80	3,82	0,01	51,31
CA2	Portal Américas	76	83,69	83,90	0,21	76,21
CA3	Villa Blanca	57,6	24,90	24,98	0,08	57,68
CA4	Kennedy	42,7	70,94	71,14	0,20	42,90
CA5	Palenque	43	32,25	32,35	0,11	43,11
CA6	Av Boyaca	54,8	57,14	57,30	0,16	54,96
CA7	Avenida 68	35,4	49,36	49,40	0,03	35,43
CA8	Rosario	31,4	32,87	32,93	0,06	31,46
CA9	NQS	42,6	44,01	44,13	0,12	42,72
CA10	Santander	30,8	27,54	29,03	1,49	32,29
CA11	Hospitales	49	86,81	101,98	15,17	64,17
CA12	Calle 10-11	41,1	8,39	15,02	6,63	47,73
CA13	Calle 26	37,3	13,10	24,78	11,69	48,99
CA14	Calle 45	41,3	14,68	17,79	3,11	44,41
CA15	Calle 52	44	22,16	28,14	5,98	49,98
CA16	Calle 63	41,1	9,11	11,56	2,46	43,56
CA17	Calle 72	43,6	8,70	11,05	2,35	45,95
CA18	Calle 76	44,7	2,79	3,59	0,80	45,50
			Escenario modelado sin concentración de fondo, con el tráfico del año 2042, asumiendo la reducción del 70% del tráfico sobre la Caracas	Escenario modelado sin concentración de fondo, con el tráfico del año 2042, asumiendo el 100% del tráfico sobre la Caracas	Diferencia entre el escenario con proyecto y sin proyecto (Sin concentración de fondo) esta concentración sería el incremento a la línea base	Sumatoria Línea base + emisiones del proyecto (sin tráfico del 2042 y sin fondo)

Fuente: METROBOG, 2018.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

De acuerdo con la tabla anterior los aportes del proyecto estimados para el año 2042 respecto a la tendencia del tráfico vehicular de la zona, considerando que el cambio significativo se presentaría únicamente sobre la Avenida Caracas por la reducción del 70% de tráfico mixto y el 100% de buses a causa de la eliminación del carril mixto, se determina que los aportes en términos de emisión de material particulado PM₁₀ presentarían concentraciones entre el 0,80 y 15,17 µg/m³. Obteniéndose mayor aporte en el sector de Hospitales, Calle 10-11, Calle 26 y Calle 52

En Cuanto los aportes de emisiones de PM₁₀ 24 horas, se observa que los aportes sobre la Avenida Caracas presenta concentraciones entre 1,54 y 28,63 µg/m³, obteniendo el mayor aporte en el sector de Hospitales, Calle 10-11, Calle 26 y Calle 52. Estos aportes se asocian al cambio en el tráfico vehicular que se realizará sobre la Av. Caracas de acuerdo con los requerimientos de diseño y constructivos del proyecto.

Tabla 5.2.1-246 Resultado de modelación – Aporte de PM₁₀ Escenario Operación 24 HORAS

Receptor		Concentración de fondo 24 HR µg/m ³	Resultados Aermod PM10 24 HR			
			Aportes totales PLMB (µg/m ³)			
			Esc 3 Operación Con Proyecto	Esc 3 Operación Sin Proyecto	Esc 3 Emisiones del proyecto	Emisiones totales Esc Operación respecto Línea Base
CA1	Patio taller	51,30	9,76	9,78	0,03	51,33
CA2	Portal Américas	76,00	152,60	152,65	0,04	76,04
CA3	Villa Blanca	57,60	46,42	46,48	0,05	57,65
CA4	Kennedy	42,70	131,64	131,68	0,03	42,73
CA5	Palenque	43,00	61,10	61,12	0,02	43,02
CA6	Av Boyaca	54,80	106,07	106,10	0,03	54,83
CA7	Avenida 68	35,40	89,36	88,90	0,46	35,86
CA8	Rosario	31,40	60,03	60,08	0,05	31,45
CA9	NQS	42,60	81,34	81,38	0,04	42,64
CA10	Santander	30,80	52,79	55,82	3,03	33,83
CA11	Hospitales	49,00	160,25	188,88	28,63	77,63
CA12	Calle 10-11	41,10	23,67	37,64	13,97	55,07
CA13	Calle 26	37,30	26,41	49,22	22,81	60,11
CA14	Calle 45	41,30	27,04	32,72	5,67	46,97
CA15	Calle 52	44,00	40,86	51,75	10,89	54,89
CA16	Calle 63	41,10	16,90	21,42	4,51	45,61
CA17	Calle 72	43,60	16,19	20,52	4,33	47,93
CA18	Calle 76	44,70	5,49	7,03	1,54	46,24

Receptor	Concentración de fondo 24 HR	Resultados Aermod PM10 24 HR			
		Aportes totales PLMB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Esc 3 Operación Con Proyecto	Esc 3 Operación Sin Proyecto	Esc 3 Emisiones del proyecto	Emisiones totales Esc Operación respecto Línea Base
		Escenario modelado sin concentración de fondo, con el tráfico del año 2042, asumiendo la reducción del 70% del tráfico sobre la Caracas	Escenario modelado sin concentración de fondo, con el tráfico del año 2042, asumiendo el 100% del tráfico sobre la Caracas	Diferencia entre el escenario con proyecto y sin proyecto (Sin concentración de fondo) esta concentración sería el incremento a la línea base	Sumatoria Línea base + emisiones del proyecto (sin tráfico del 2042 y sin fondo)

Fuente: METROBOG, 2018.

5.2.1.20.9.18 Conclusiones

- En todos los escenarios simulados los valores de concentración predichos sobre los receptores discretos mediante el modelo de dispersión de las actividades que tendrían lugar en el proyecto, muestran el cumplimiento de las normas de calidad del aire establecidas para dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO) en los diferentes periodos de exposición aplicables; la información de mediciones de calidad del aire permitió considerar concentraciones anuales de fondo (indicativo) para los contaminantes PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , SO_2 y CO .
- Las emisiones de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), en los escenarios de Operación y Construcción presentaron excedencias del estándar normativo Anual y 24 Horas en las estaciones Portal Américas, Kennedy, Av. Boyacá y Hospitales, los incrementos obtuvieron equivalencias entre el 14% y 74%.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, las concentraciones máximas simuladas en el Escenario Línea Base respecto a las concentraciones obtenidas en la campaña de monitoreo para un tiempo de exposición igual a 24 horas representan una desviación menor e igual al 22% para PM_{10} , 58% para $\text{PM}_{2.5}$, por lo cual representa confiabilidad entre el 50 – 78%.
- Las emisiones de gases en la línea base obtienen las mayores concentraciones en los sectores NQS, Santander y Hospitales mientras que el aporte de la modelación con respecto a calidad del aire es diferente para cada contaminante, en el caso de NO_2 el mayor aporte se da en Santander con 26,8%, para el SO_2 en Hospitales con 2,66%, el CO presenta un 94,2% en la estación Avenida 68 y por último el VOC no es posible comparar con la calidad del aire debido a que está expresada como BTX.
- El escenario 3 (operación) presenta los resultados de modelación en donde los aportes más altos se presenta en la estación NQS para material particulado, gases (NO_2 , SO_2 y VOC) en la estación Hospitales y CO en Santander.

- Las emisiones atmosféricas obtenidas en los modelos de los tres escenarios se atribuyen principalmente a fuentes externas, es decir al tráfico vehicular en la zona de estudio.
- Para los gases (NO₂ y SO₂) los resultados con la inclusión de concentración de fondo no presentan excedencias en las normas establecidas en la resolución 610 del 2010.
- Las emisiones de material particulado y gases generados por el tráfico vehicular y las actividades del proyecto tienen mayor influencia sobre las estaciones Kennedy, Avenida 68, Hospitales y Calle 52.
- Se recomienda en la etapa de construcción del proyecto continuar con un segundo modelo de dispersión y una campaña de monitoreo de calidad del aire; esto permitirá verificar la calidad del aire y la implementación de las medidas de control y mitigación de emisiones atmosféricas durante la etapa constructiva, como el cumplimiento normativo.

5.2.1.21 Ruido

Con el fin de realizar un diagnóstico actual de las condiciones de ruido ambiental para el área de influencia del proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB). Por medio del laboratorio K2 INGENIERIA S.A.S., acreditado ante el IDEAM, se realizó una campaña de monitoreo de ruido ambiental en horario diurno y nocturno para un día ordinario y un día dominical en 18 puntos de monitoreo seleccionados, las mediciones se llevaron a cabo entre 13 y 19 de agosto del año 2017. Entre las acciones específicas a desarrollar se encontraron:

- ✓ Identificar las fuentes de emisión de ruido y puntos de monitoreo, que sean significativos a lo largo del trazado del proyecto.
- ✓ Realizar a través de un laboratorio certificado la cuantificación de los niveles de ruido ambiental en decibeles (dBA) que se presentan en el área de influencia del proyecto.
- ✓ Realizar la comparación de los resultados obtenidos con la normatividad colombiana, la Resolución 627 de 2006 del antiguo MAVDT ahora MADS.

5.2.1.21.1 *Criterios de selección de los puntos de muestreo*

El criterio técnico tomado para la ubicación de los puntos de muestreo obedece a la identificación de las áreas sensibles (áreas habitadas) y la clasificación de los usos del suelo para la PLMB. Cabe anotar, que la determinación de los mismos tiene en cuenta los límites permisibles por la Resolución 627 del 2006 donde se establece los niveles máximos y mínimos de emisiones de ruido ambiental en horario día y noche para el territorio nacional.

La Figura 5.2.1-336 identifica los sectores de acuerdo a los niveles de ruido definidos en la Resolución 627 de 2006.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

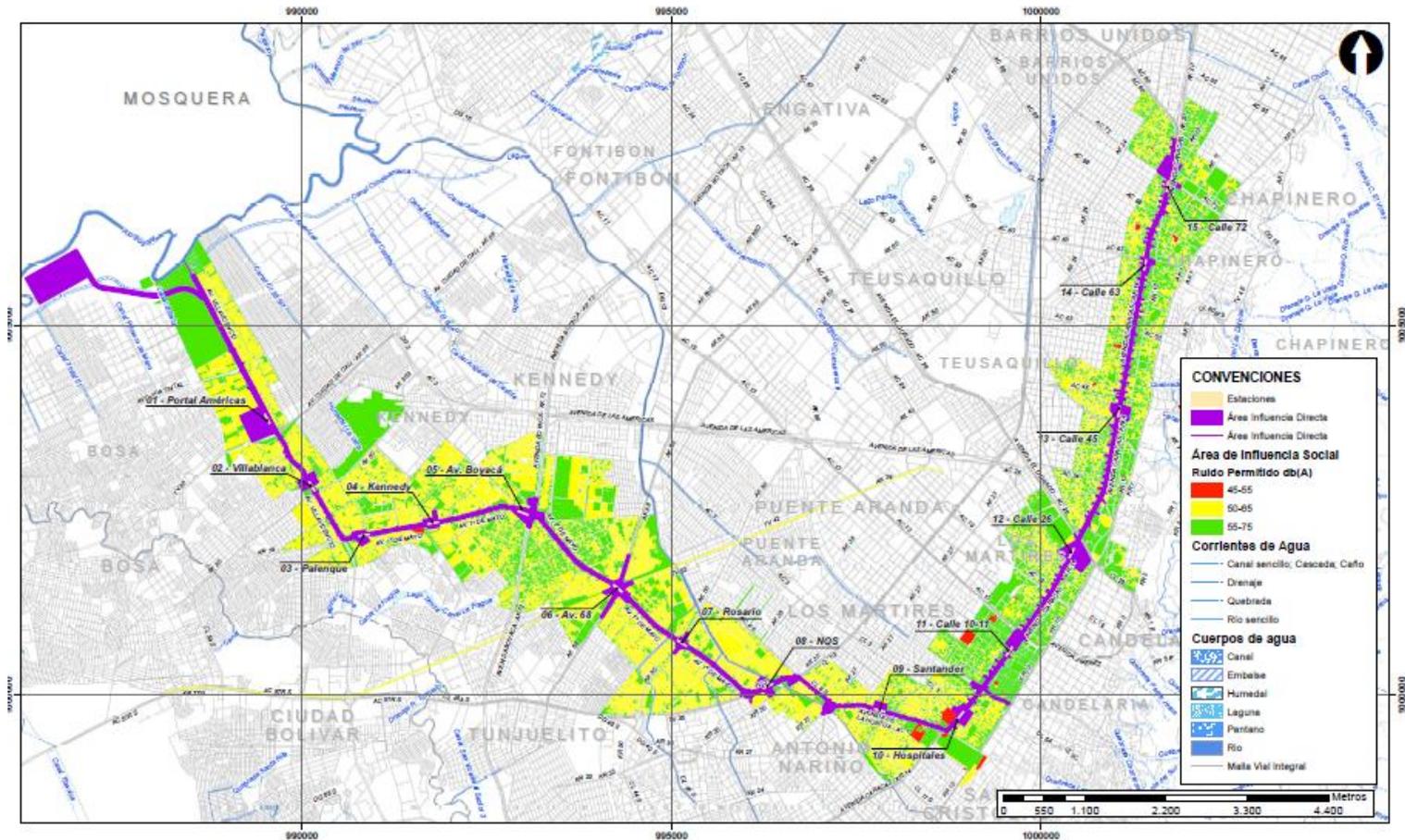


Figura 5.2.1-336 Sectores por nivel de presión sonora permitido – Trazado PLMB

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

En total se eligieron 18 puntos de monitoreo los cuales se distribuyeron a lo largo del trazado teniendo en cuenta los grupos de receptores anteriormente identificados, a continuación se presenta la descripción de cada uno de los puntos identificados.

Como se describe en el 5.2.1.19.1, En el área se identificaron dos sectores de mayor sensibilidad (Sector A. Tranquilidad y Silencio), correspondientes a la zona adyacente a la estación Hospitales y Kennedy, por la presencia de centros de atención a la salud especializada.

5.2.1.21.2 Puntos de Monitoreo

La Tabla 5.2.1-247 describe cada uno de los puntos definidos para el monitoreo de ruido ambiental, ubicados y puestos en operación, especificando su georeferenciación en coordenadas planas MAGNA Colombia Bogotá, un registro fotográfico, descripción de la ubicación y equipos utilizados:

Tabla 5.2.1-247 Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental

Punto No. 1:	Nombre:	Patio-Taller	
	Ubicación:	Punto ubicado en el sector Corzo, cerca de la entrada de la finca Cañaveralejo	
	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Bogotá:	X = 986516,59	Y = 1005372,91
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Residencial suburbana.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 55	Noche: 45
Punto No. 2:	Nombre:	Portal Las Américas	
	Ubicación:	Punto ubicado en un lavadero de carros en la dirección calle 43 sur con carrera 86ª.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá:	X = 989635,47	Y = 1003636,92
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55

Punto No. 3:	Nombre:	Villa Blanca	
	Ubicación:	Punto ubicado en la esquina izquierda de la carrera 80 con 43 sur.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 990066,89	Y = 1002884,3
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55
Punto No. 4:	Nombre:	Kennedy	
	Ubicación:	Punto ubicado en la esquina del parque con dirección transversal 78h sur con calle 41 ^b sur.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 991127,1	Y = 1002285,19
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 5:	Nombre:	Palenque	
	Ubicación:	Punto ubicado en la plazoleta de un parque con dirección calle 39ª sur con calle 73ª.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 991826,76	Y = 1002214,46
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50
Punto No. 6:	Nombre:	Avenida Boyacá	
	Ubicación:	Punto ubicado en la zona verde que se encuentra en la calle 6 sur con carrera 72ª.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 993028,87	Y = 1002579,88
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 7:	Nombre:	Avenida 68	
	Ubicación:	Punto ubicado en esquina calle 27 con carrera 54.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 994326,4	Y = 1001311,16
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377-10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

Punto No. 8:	Nombre:	Rosario	
	Ubicación:	Punto ubicado en calle 29 sur con carrera 50ª esquina.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 994992,13	Y = 1000690,63
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 9:	Nombre:	NQS	
	Ubicación:	Punto ubicado en esquina calle 18 sur con carrera 34.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 996040,09	Y = 1000097,73
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permisible:	Día: 65	Noche: 50

Punto No. 10:	Nombre:	Santander	
	Ubicación:	Punto ubicado en carrera 99 con 3ª sur.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1002454,43	Y = 999553,98
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10431 CALIBRADOR # SERIAL: 34744575 FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238	
	Estándar Permisible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 11:	Nombre:	Hospitales	
	Ubicación:	Punto ubicado frente a estación de servicio con dirección avenida 14 con calle 2, Diagonal a hospital la Misericordia.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 998915,89	Y = 999704,46
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 10431 CALIBRADOR # SERIAL: 34744575 FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55

Punto No. 12:	Nombre:	Calle 10-11	
	Ubicación:	Punto ubicado frente al parqueadero del centro comercial el GranSan	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 990498,08	Y = 1000248,72
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 13:	Nombre:	Calle 26	
	Ubicación:	Punto ubicado en dirección calle 24ª #13-94, sector Universidad Inca.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1000494,04	y = 1001771,72
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468 FUSION 01 dB # SERIAL: 10431 CALIBRADOR # SERIAL: 34744575	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

Punto No. 14:	Nombre:	Calle 45	
	Ubicación:	Punto ubicado en la entrada de la Universidad Católica Avenida Caracas #46-72 sede 3.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1001147,44	y = 1004195,3
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468 FUSION 01 dB # SERIAL: 10431 CALIBRADOR # SERIAL: 34744575	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 15:	Nombre:	Calle 52	
	Ubicación:	Punto ubicado en la entrada vehicular de la secretaria de ambiente.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1001289,21	Y = 1005089,17
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Zonas con usos institucionales.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

Punto No. 16:	Nombre:	Calle 63	
	Ubicación:	Punto ubicado en la entrada fundación Universitaria los Libertadores, sede Bolívar.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1001233,71	y = 1006127,41
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 65	Noche: 50

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto No. 17:	Nombre:	Calle 72	
	Ubicación:	Punto ubicado en cra. 15 #68-94 en frente del parqueadero	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1001483,35	Y = 1006674,18
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55

Punto No. 18:	Nombre:	Calle 76	
	Ubicación:	Punto ubicado en entrada del centro de alta tecnología Puerta 2, calle 77 con carrera 15.	
	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá::	X = 1002093,58	Y = 1007491,27
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	
	Equipo:	FUSION 01 dB # SERIAL: 11377 CALIBRADOR # SERIAL: 34375238 FUSION 01 dB # SERIAL: 10428 CALIBRADOR # SERIAL: 34344468	
	Estándar Permissible:	Día: 70	Noche: 55

De acuerdo con el procedimiento de medición establecido en la Resolución 627 del 2006 Anexo 3 Capítulo II, el sonómetro se ubicó a cuatro metros de altura (4 m) medidos desde el suelo, con distancias equidistantes entre las barreras u obstáculos o a los límites del espacio público.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

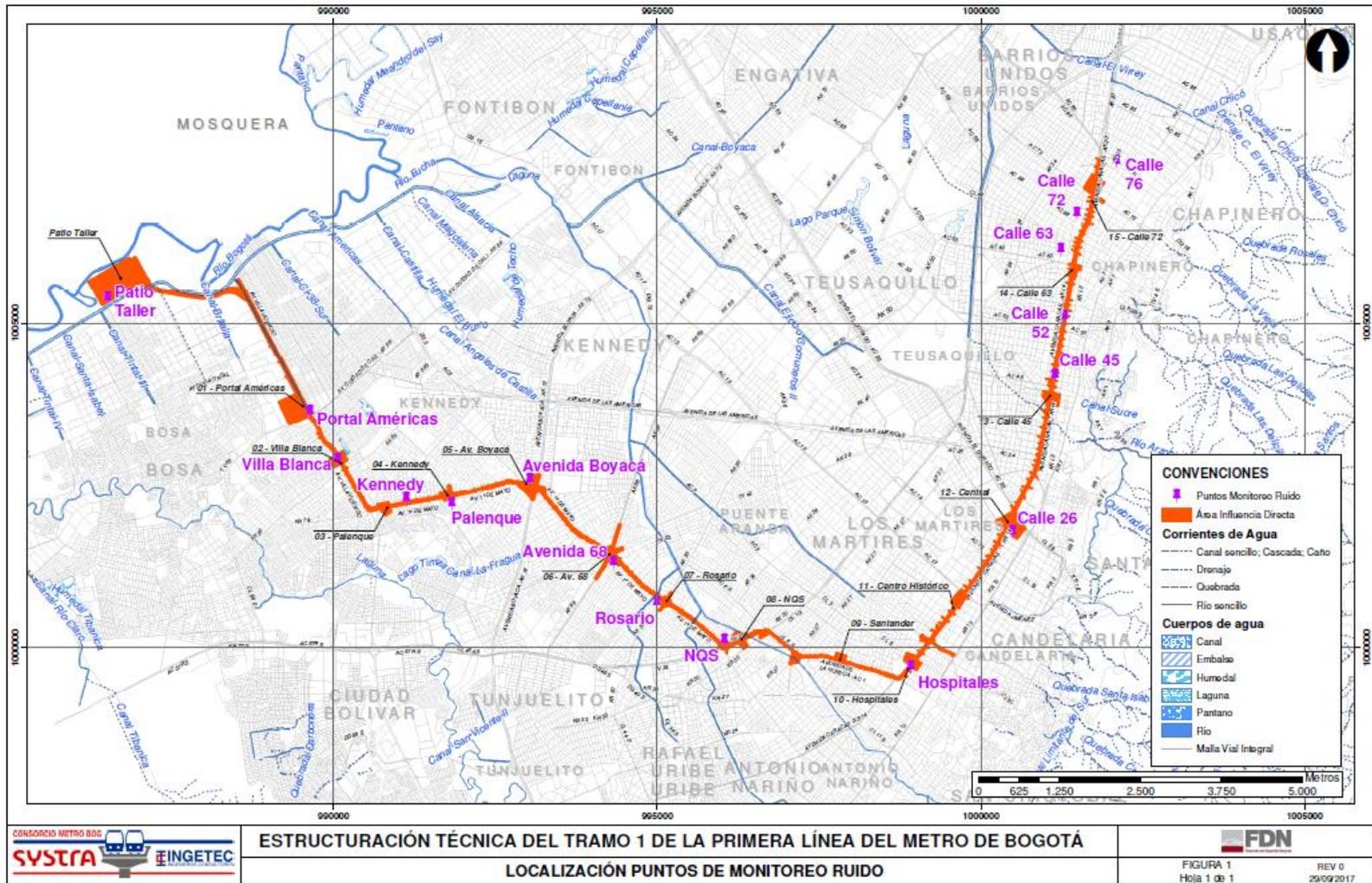


Figura 5.2.1-337 Puntos de Monitoreo de Ruido Ambiental

5.2.1.21.3 Metodología de muestreo

La metodología para el desarrollo de los muestreos de Ruido Ambiental, contiene el protocolo, los parámetros y procedimientos aplicados, Ver Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental.

Trabajo de campo

La metodología contemplada en la norma UNE-ISO 1996, está aprobada en el inciso b del capítulo II de la resolución 0627 de 2006: “Las medidas de niveles de ruido ambiental con ponderación A, se efectúan teniendo en consideración la norma ISO 1996 o aquella norma que la adicione, modifique o sustituya”. De igual manera en el artículo 1° de la misma norma define: “...Los términos técnicos no definidos expresamente, deberán asumirse de acuerdo con el glosario publicado por la International Standard Organization (ISO), en especial las definiciones contempladas en la ISO 1996”. K2 Ingeniería presentó en noviembre del año 2016 esta metodología para acreditación ante el IDEAM, y recibió el aval con la resolución 1313 del 16 de junio de 2017. En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental, se presenta la acreditación vigente obtenida para mediciones de ruido bajo la resolución 0627 de 2006 (resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 producto de la renovación y la respectiva extensión del alcance de la resolución de acreditación).

El muestreo espacial consistió en mediciones de ruido ambiental de 15 minutos de duración, para obtener la información de ruido ambiental del sector asociado a los diferentes tipos de fuentes. Estos registros se tomaron en quince (15) puntos dentro de cada zona de especial atención para un día ordinario y para un día domingo diferenciando los periodos diurno y nocturno de conformidad con la Resolución 0627 de abril de 2006 expedida por el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma UNE-ISO 1996:2009 (Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental Parte 2: Determinación de los niveles de Ruido Ambiental). Para las fuentes con predominancia nocturna los fines de semana, las mediciones del día ordinario se realizaron entre jueves, viernes y sábado entre las 21:01 horas y las 2:00 horas como periodos de máxima emisión.

En todos los casos el micrófono del sonómetro se ubicó a cuatro (4) metros en dirección vertical (micrófono omnidireccional) teniendo en cuenta la norma UNE-ISO 1996-1:2005. Las mediciones de ruido ambiental fueron ejecutadas por dos equipos de trabajo (cada uno conformado por dos técnicos) bajo la supervisión de un consultor, estos se distribuyeron las actividades en horarios diurno (de 7:01 a las 21:00 horas) y nocturno (de 21:01 a las 7:00 horas).

Antes de cada medición, el sonómetro se verificó con su respectivo calibrador acústico, de igual manera, se procuró un mínimo número de personas alrededor del sonómetro, siendo como mínima la presencia del operador del equipo. Las lecturas fueron tomadas con el filtro de ponderación de frecuencia A y respuesta lenta (Slow), a fin de cuantificar los niveles equivalentes de presión sonora, y filtro frecuencial 1/3 de octavas, paralelamente el sonómetro también realizó la medición con respuesta Impulse.

En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se presenta el informe desarrollado por K2 INGENIERÍA S.A.S, que incluye la descripción de los equipos utilizados durante las mediciones, formatos de campo de monitoreo de ruido ambiental en los cuales se registra la hora de las verificaciones realizadas antes y después de cada jornada de medición.

Inventario de fuentes

Para la realización del inventario de fuentes se realizó un recorrido por el área de influencia del proyecto cubriendo el periodo diurno y nocturno, se utilizó una hoja de campo registrando la información para cada fuente en el siguiente orden:

- Consecutivo
- Código de la fuente
- Tipo de fuente
- Nombre
- Dirección
- Coordenadas (Latitud, longitud y altura)
- Descripción
- Horario de operación.

En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental/Informe Monitoreo, Formatos de campo, se presentan las hojas diligenciadas por los técnicos del laboratorio. Junto a las hojas de campo se utilizó un plano (mapa impreso) con la delimitación de la línea Base del proyecto Metro de Bogotá (PLMB), en el plano de ubicaron los puntos de ruido ambiental los cuales fueron las áreas identificadas como receptores sensibles, así, con el mayor detalle, los técnicos del laboratorio K2 INGENIERÍA S.A.S. posicionaron en el plano cada fuente fija de emisión con el mismo consecutivo y código registrados en la hoja de campo.

Posteriormente, se realizó un recorrido en la zona distribuido en 5 grupos de trabajo en diferentes periodos de tiempo para verificar el comportamiento sonoro de cada sector, evaluando las diferentes fuentes de ruido activas y en operación diurna, nocturna, y mixta, categorizando cada tipo de fuente en busca de un mayor nivel de detalle con el objeto de poder enfocar las mediciones de ruido ambiental y de emisión hacia los tipos de fuente con mayor predominancia en cada zona.

Tabla 5.2.1-248 Codificación de fuentes de ruido

Categoría de Fuente	Impacto	Tipo de Fuente	Código
Actividad Comercial	Bajo	Tiendas	1
	Bajo	Supermercados	2
	Alto	Discotecas/Bares/Tabernas	3
	Alto	Perifoneo	4
	Alto	Amplificación de sonido	5
	Alto	Muestras artísticas en espacio público	8
Actividad Industrial	Alto	Fábrica	9
	Alto	Planta de Producción	10
	Alto	Carpinterías	11
	Alto	Taller	12
Actividad de Servicios	Bajo	Hospitales	13
	Alto	Alarmas	14
	Bajo	Colegios	15

Categoría de Fuente	Impacto	Tipo de Fuente	Código
	Bajo	Universidades	16
	Alto	Iglesias	17
	Alto	Estadios	18
	Bajo	Coliseos	19
	Alto	Salas de Culto	20
	Alto	Lavaderos	21
	Alto	Obras en construcción	22
	Alto	Trabajos de carga/descarga	23
	Alto	Conciertos	24
	Alto	Carnavales/Desfiles	25
	Bajo	Teatros	26
	Alto	Estaciones de servicio	27
	Alto	Motobombas	28
	Alto	Plantas eléctricas	29
	Bajo	Complejos deportivos	6
	Bajo	Parques	7
Bajo	Parqueaderos	30	

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S., 2017.

Procedimiento de Cálculo

Para el cálculo de los niveles de presión sonora corregidos que se registran en las mediciones, se desarrolla la metodología de ajustes por tonos e impulsos establecidos en la Res. 627 de 2006, teniendo en consideración la metodología de la Norma Internacional UNE-ISO 1996-1:2005, ver Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental / Informe Monitoreo. Formatos de cálculo.

Respecto a los ajustes, las mediciones se corrigieron por tono (K_T) y por impulso (K_I). Se debe resaltar que los niveles corregidos de presión sonora, corresponden a los valores objeto de comparación con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental y emisión de ruido como se establece en el Artículo 6 “ajustes” párrafo segundo de la Resolución 627 de 2006.

Se seleccionó el mayor valor de K entre K_I , K_T , K_S , y K_R :

Ecuación 3

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S, K_R)$$

Dónde:

K_I es un ajuste por impulsos (dBA(A))

K_T es un ajuste por tono y contenido de información (dBA(A))

K_R es un ajuste por la hora del día (dBA(A))

KS es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo bajas frecuencias (dBA(A))

(X) corresponde a LAeq resultante de la medición para este estudio

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dBA(A).

5.2.1.21.4 Normatividad Aplicable de Ruido Ambiental

Mediante la Resolución 627 de 2006 expedida por el actual MADS, el Artículo 9 del Capítulo II establece los estándares máximos permisibles de ruido ambiental diferenciados por uso de suelo y horario de medición, ver Tabla 5.2.1-249 y Tabla 5.2.1-250.

Tabla 5.2.1-249 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006

Tipo de Horario	Hora de Inicio	Hora Final
Diurno	7:01 a.m.	9:00 p.m.
Nocturno	9:01 p.m.	7:00 a.m.

Tabla 5.2.1-250 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental

Sector	Subsector	Máximos Permisibles Ruido Ambiental, dBA	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	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.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS

5.2.1.21.5 Resultados

A continuación se presenta la calificación de los sectores y subsectores de cada punto de monitoreo localizados, adicionalmente se presentan los resultados obtenidos en el periodo Diurno y Nocturno para el día ordinario y día dominical.

- Clasificación sectores y subsectores:

Como se mencionó en el numeral 5.2.1.21.4, la Tabla 5.2.1-251 presenta la clasificación asignada para cada uno de los puntos evaluados.

Tabla 5.2.1-251 Clasificación por sectores de cada uno de los puntos de monitoreo

Punto de medición	Zona	Subsector según la resolución 627/2006	Sector según la resolución 627/2006
P1_Patio-Taller	Rural	Residencial suburbana	Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado
P2_Portal América	Urbano	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centro deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	Sector C. Ruido Intermedio Restringido
P3_Villablanca	Urbano		
P11_Hospitales	Urbano		
P12_Calle10-11	Urbano		
P17_Calle72	Urbano		
P18_Calle76	Urbano		
P15_Calle52	Urbano	Zona con usos institucional	Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado
P4_Kennedy	Urbano	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes	
P7_Av. 68	Urbano		
P8_Rosario	Urbano		
P9_NQS	Urbano		
P10_Santander	Urbano	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre	
P5_Palенque	Urbano		
P6_Av. Boyacá	Urbano	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación	
P13_Calle26	Urbano		
P14_Calle45	Urbano		
P16_Calle63	Urbano		

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S., 2017.

Respecto a los puntos localizados en las zonas del hospital de Kennedy (Punto P4_Kennedy) y HOMI (P11_Hospitales), se desarrolla una segunda valoración con el nivel de presión sonora más restrictivo establecido en la Resolución 627 del 2006 como se presenta en la Tabla 5.2.1-252.

Tabla 5.2.1-252 Clasificación sectores de los puntos con mayor sensibilidad

Punto de medición	Zona	Subsector según la resolución 627/2006	Sector según la resolución 627/2006
P4_Kennedy	Urbano	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	Sector A. Tranquilidad y Silencio
P11_Hospitales	Urbano		

Resultados mediciones día ordinario

En la Tabla 5.2.1-253 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado total (LAeq) obtenidos en el día ordinario para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado.

- Sector B

Tabla 5.2.1-253 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector B

PUNTO	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P4_Kennedy	65,6	65	56	50
P5_Palenque	58,2	65	45	50
P6_Av. Boyacá	64,3	65	54,5	50
P7_Av. 68	63,4	65	50,2	50
P8_Rosario	60,9	65	55,7	50
P9_NQS	64,2	65	56	50
P10_Santander	69,4	65	65,9	50
P13_Calle26	69	65	69	50
P14_Calle45	70,8	65	75,6	50
P16_Calle63	72,4	65	52,5	50

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S., 2017.

Como se puede observar en la Figura 5.2.1-338 y la Figura 5.2.1-339 Los puntos clasificados como Sector B zonas urbanas, presentan niveles de presión sonora por encima de los estándares permitidos (65 dB en el día y 50 dB en la noche), donde el máximo valor se reporta en el P16_Calle 76 y en la noche el valor más alto se presentó en el P14_Calle 45, en el cual se encuentra influenciado directamente por el flujo vehicular sobre la avenida caracas con 46. No obstante en el punto P5_Palenque se da cumplimiento en la normatividad para los dos periodos.

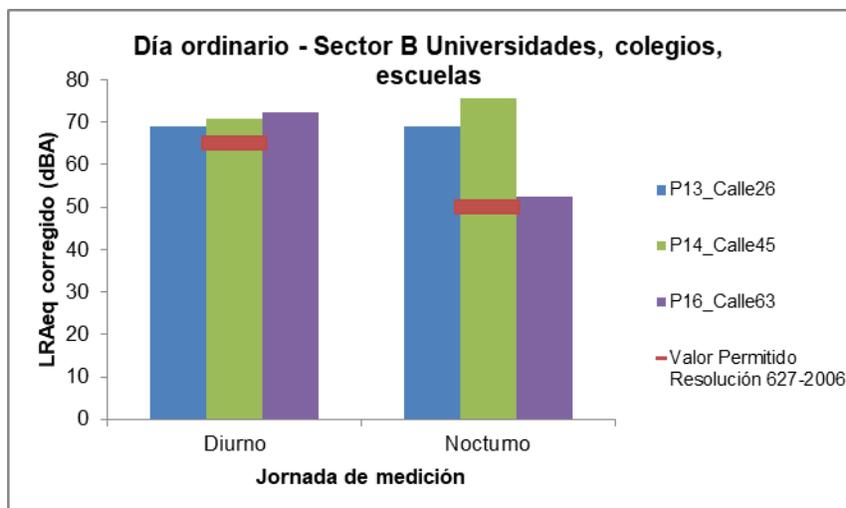


Figura 5.2.1-338 Resultados de niveles sonoros Sector B universidades, colegios, escuelas– Ordinario

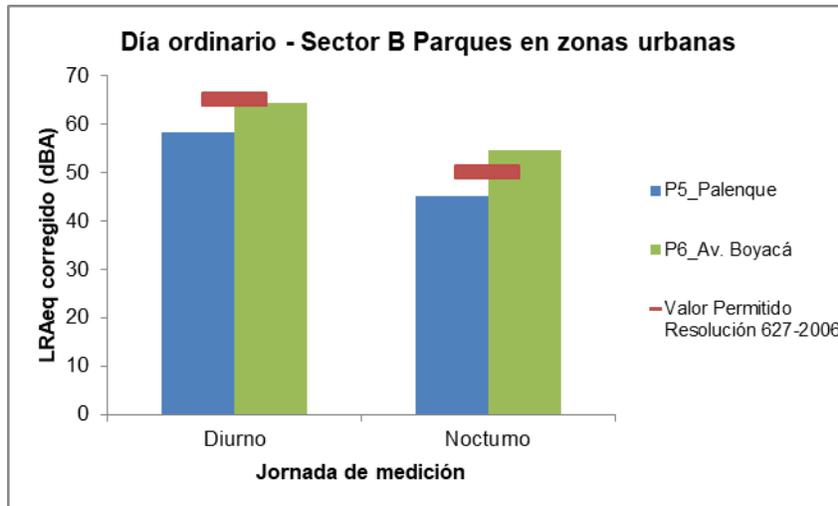


Figura 5.2.1-339 Resultados de niveles sonoros Sector B parques en zonas urbanas – Ordinario

Como se observa en la Figura 5.2.1-340, los puntos clasificados como Sector B zonas residenciales, para el periodo diurno los niveles de presión sonora se encuentra por debajo del límite normativo establecido en la Resolución 267 de 2006, exceptuando el punto P10_Santander el cual registró 69,4 dB(A). En cuanto al periodo nocturno, se observa que los puntos de medición registraron niveles de presión sonora por encima del límite normativo, a excepción del punto P7_Av.68 (50,2dB (A)).

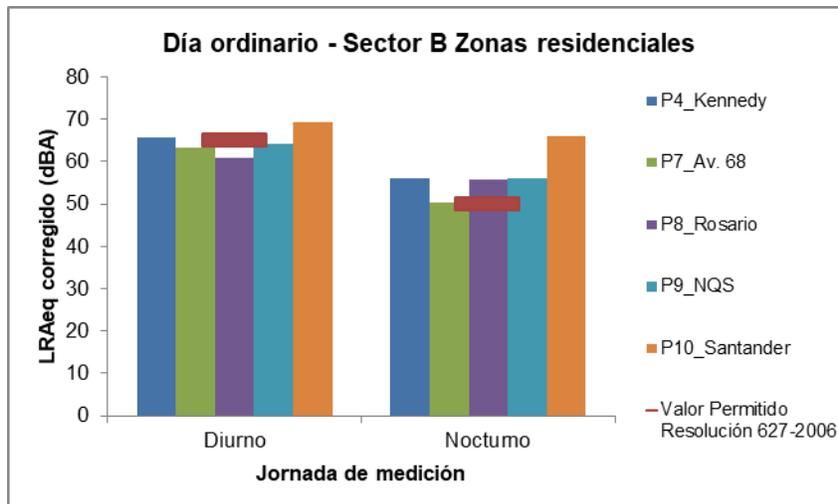


Figura 5.2.1-340 Resultados de niveles sonoros Sector B zonas residenciales – Ordinario

- Sector C

La Tabla 5.2.1-254 presenta los resultados obtenidos del monitoreo de ruido ambiental para los puntos identificados como sector B.

Tabla 5.2.1-254 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector C

Punto	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P2_Portal América	71,6	70	73,1	55
P3_Villablanca	68,1	70	66,1	55
P11_Hospitales	76,6	70	71,8	55
P12_Calle10-11	66,7	70	60,3	55
P15_Calle52	73,7	65	68,6	50
P17_Calle72	72	70	50	55
P18_Calle76	75,5	70	66	55

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S., 2017.

En la Figura 5.2.1-341 y la Figura 5.2.1-342 se muestra los niveles de presión sonora para horario diurno encontrados en los puntos ubicados en sector C. El nivel más alto se presentó en el P11_Hospitales para el horario diurno encontrándose por encima de los límites máximos permisibles; los puntos P3_Villa Blanca y P11_Calle 10-11, presentaron los niveles más bajos para este horario cumpliendo con la normatividad. Mientras que en el horario nocturno, siendo el límite máximo permisible más restrictivo, se presenta mayor cantidad de excedencias, registrando el menor nivel de presión sonora en el punto P17_Calle 72 cumpliendo con el límite máximo permisible para horario nocturno. En caso particular del P12_Calle 52, el cual fue clasificado en sector institucional, se evidencia una excedencia con la norma en ambos horarios. Este último punto se encuentra influenciado directamente por el flujo constante de vehículos por la Cra 14 con 54 y tránsito peatonal.

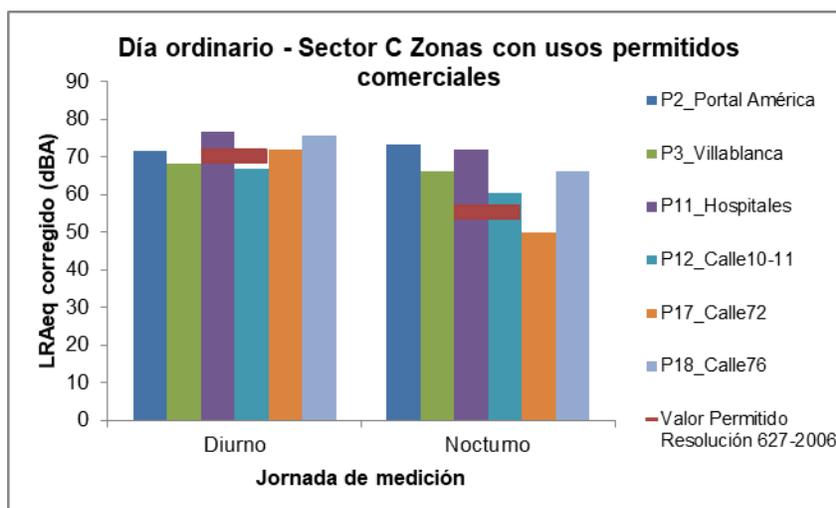


Figura 5.2.1-341 Resultados de niveles sonoros Sector C zona comercial – Ordinario

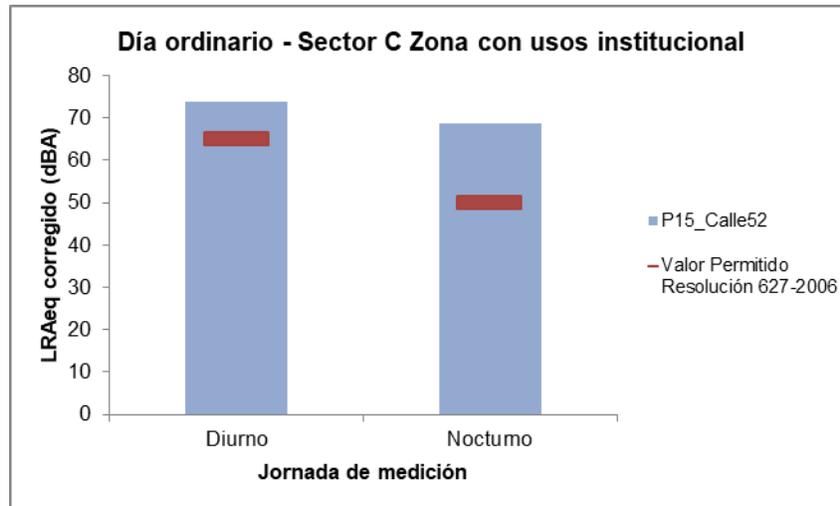


Figura 5.2.1-342 Resultados de niveles sonoros Sector C zona con uso institucional– Ordinario

- Sector D

Tabla 5.2.1-255 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario Sector D

PUNTO	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P1_ Patio-Taller	58,2	55	59,1	45

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S.

Para el punto P1_Patio-Taller clasificado en el sector D, los niveles de presión sonora exceden los valores permisibles para el horario diurno y nocturno (55 dB y 45 dB para la noche), es de resaltar que esta zona se encuentra influenciada directamente por la presencia de animales de ganado, ver Figura 5.2.1-343.

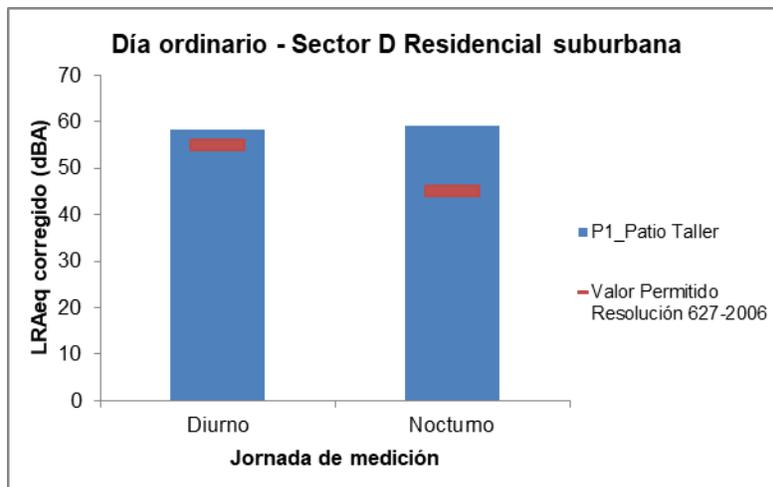


Figura 5.2.1-343 Resultados de niveles sonoros Sector D Residencial suburbano – Ordinario

- Sector A

Teniendo en cuenta que las zonas cercanas a los puntos de medición P4_Kennedy y P_11 Hospitales se encuentran hospitales y centros especializados de atención a la salud, a continuación se presenta el análisis normativo de los valores obtenidos respecto al estándar del sector más restrictivo de la Resolución 627 del 2006. Ver Tabla 5.2.1-256.

Tabla 5.2.1-256 Resultados mediciones de ruido ambiental respecto el Sector A

Punto	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P4_Kennedy	65,6	55	56	45
P11_Hospitales	76,6	55	71,8	45

Como se observa en la Figura 5.2.1-344, los niveles de presión sonora obtenidos exceden el límite normativo presentando incrementos entre 19 y 39% para el periodo diurno, y entre el 24 y 59 % en el periodo nocturno.

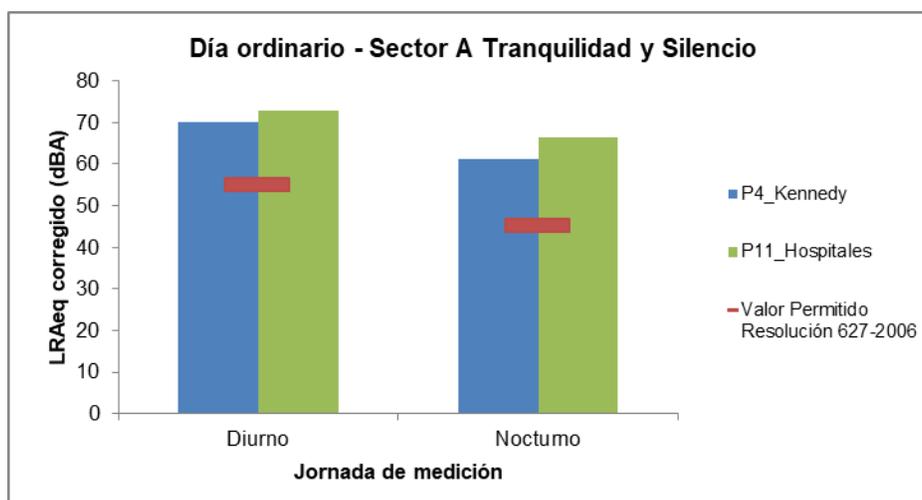


Figura 5.2.1-344 Resultados de niveles sonoros Sector A – Ordinario

Mediciones día dominical

A continuación se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado A total (LAeq) obtenidos en el día dominical para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado.

- Sector B

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en los puntos categorizados como sector B (Tranquilidad y Ruido Moderado).

Tabla 5.2.1-257 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical Sector B

Punto	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P4_Kennedy	70,2	65	61,3	50
P5_Palенque	58,3	65	43	50
P6_Av. Boyacá	59,2	65	52,8	50
P7_Av. 68	70,4	65	59,6	50
P8_Rosario	69,5	65	55,9	50
P9_NQS	61,6	65	52,7	50
P10_Santander	69	65	68,3	50
P13_Calle26	34,4	65	64,8	50
P14_Calle45	73,4	65	69,3	50
P16_Calle63	63,1	65	50,5	50

En la Figura 5.2.1-345, se observan los niveles de presión sonora registrados en los puntos clasificados como Sector B Parques en zonas urbanas, los cuales, para el periodo diurno registraron valores por debajo del límite normativo establecido mediante la Resolución 627 del 2006 (65 dB(A)). Durante el periodo nocturno el punto P6_Av. Boyacá excede el límite normativo registrando 52,8 dB(A).

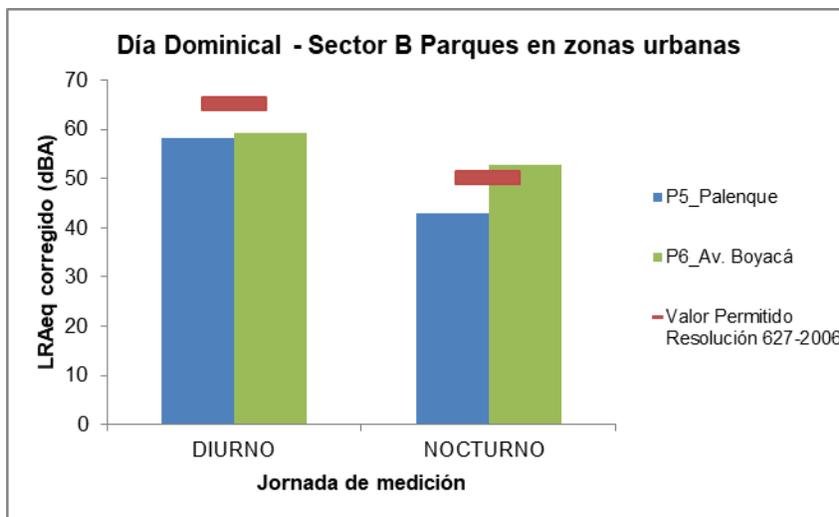


Figura 5.2.1-345 Resultados de niveles sonoros Sector B parques en zonas urbanas – Dominical

La Figura 5.2.1-346 presenta los niveles de presión sonora registrados para los puntos clasificados como sector B universidades, colegios y escuelas. En esta se observa que en el periodo diurno los puntos se encuentran por debajo del límite normativo, excepto el punto P14_Calle 45 el cual registró 73,4 dB(A). Durante el periodo nocturno los puntos P13_Calle 26 y P14_Calle 45, registran valores por encima del límite normativo (50 dB(A)), no obstante el punto P16_Calle 63 registro 50,5 dB(A).

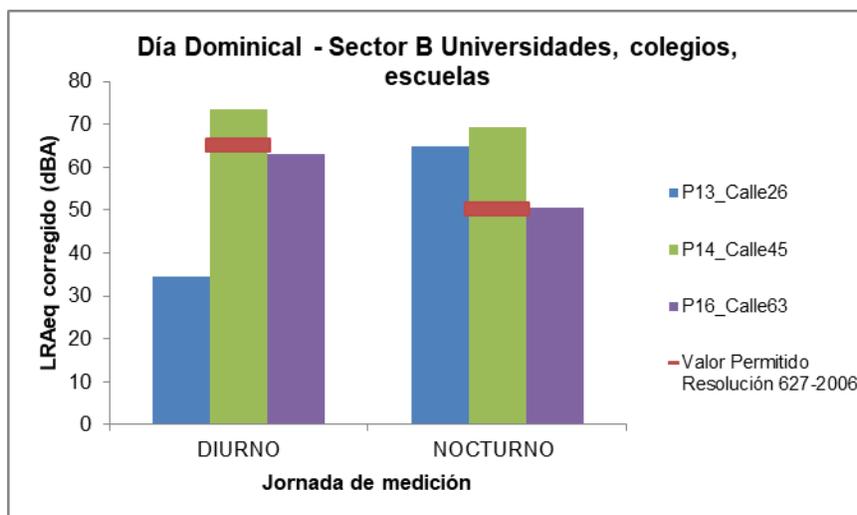


Figura 5.2.1-346 Resultados de niveles sonoros Sector B universidades, colegios, escuelas – Dominical

La Figura 5.2.1-347 presenta los niveles de presión sonora registrados para las zonas clasificadas en el Sector B Zonas residenciales, en la cual se observa que en el periodo diurno el punto P9_NQS registró 61,6 dB(A) dando cumplimiento a la normatividad. En el periodo nocturno los puntos registraron decibeles por encima del límite normativo (50 dB(A)).

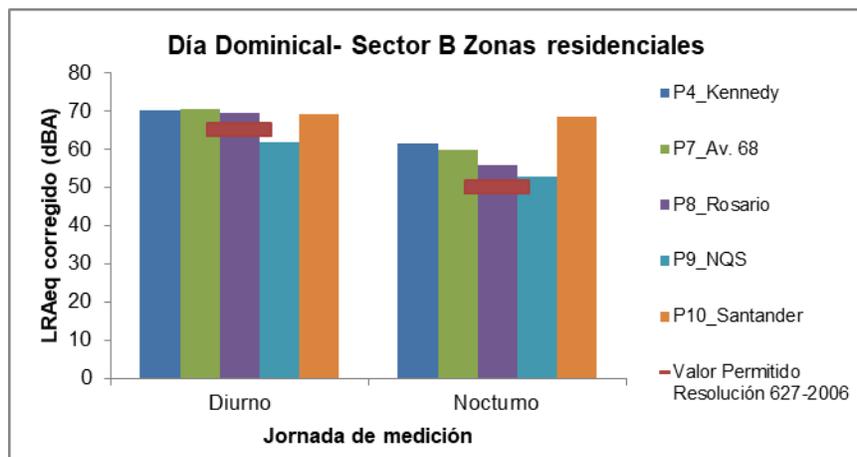


Figura 5.2.1-347 Resultados de niveles sonoros Sector B Zonas residenciales – Dominical

- Sector C

A continuación se presentan los resultados obtenidos del monitoreo en los puntos de medición clasificados como Sector C Ruido Intermedio Restringido.

Tabla 5.2.1-258 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical Sector C

Punto	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P2_Portal América	72,8	70	71,4	55
P3_Villablanca	68,2	70	69,2	55
P11_Hospitales	72,9	70	66,4	55
P12_Calle10-11	66,9	70	57,4	55
P15_Calle52	73,9	65	68,2	50
P17_Calle72	69,3	70	51,9	55
P18_Calle76	73,2	70	58,9	55

La Figura 5.2.1-348 muestra los niveles de presión sonora registrados en los puntos clasificados en el sector C, en la cual se evidencia que para el periodo diurno los puntos P3_Villa Blanca (68,2 dB(A)), P12_Calle10-11 (66,9 dB(A)) y P17_Calle72 (69,3 dB(A)) registran valores por debajo del límite normativo establecido para el sector (70 dB(A)). Respecto al periodo nocturno se observa que el punto P17_Calle72 registró 51,9 dB(A), dando cumplimiento a la normatividad.

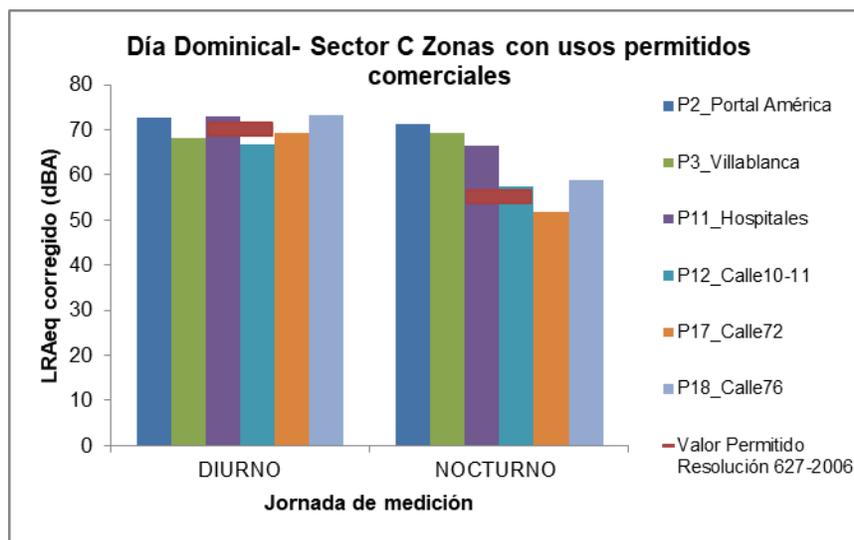


Figura 5.2.1-348 Resultados de niveles sonoros Sector C Zonas con usos permitidos comerciales – Dominical

Por otra parte, la Figura 5.2.1-349 presenta los niveles de presión sonora registrados para el punto P12_Calle 52 clasificado en el sector D Zona con usos institucional, el cual registra excedencia de los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 627 del 2006, para el periodo diurno y nocturno.

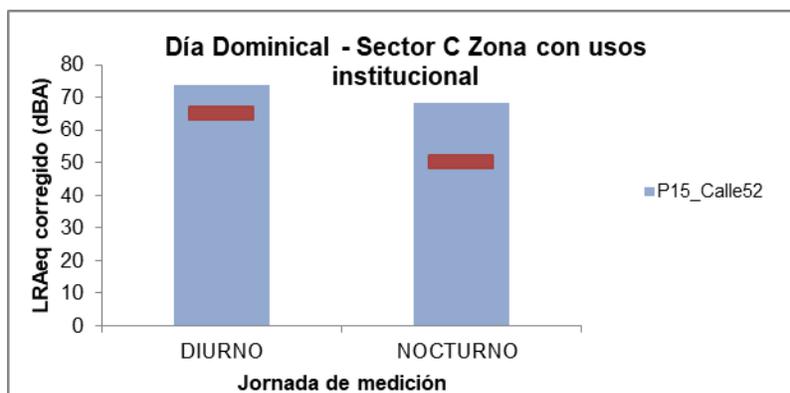


Figura 5.2.1-349 Resultados de niveles sonoros Sector C Zonas con uso Institucional– Dominical

- Sector D

Para el punto clasificado en el sector D: P1_Patio-Taller (ver Figura 5.2.1-350), se presenta una tendencia similar para ambos horarios, en el cual se registraron valores por encima a los límites permisibles para el horario diurno (55 dB(A)) y nocturno (45 dB(A)).

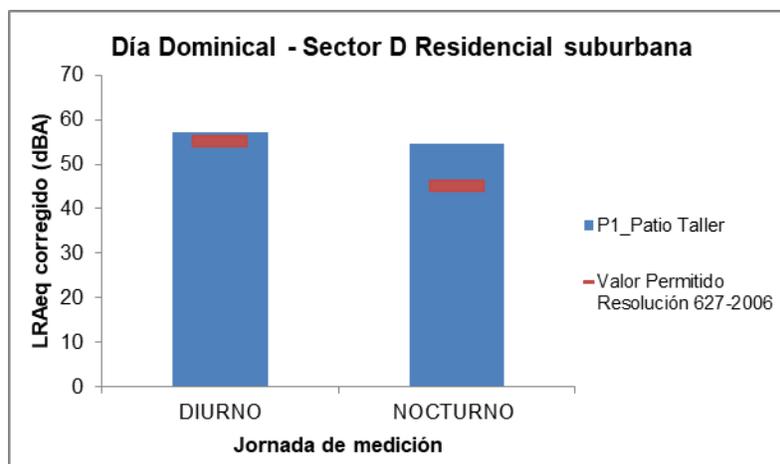


Figura 5.2.1-350 Resultados de niveles sonoros Sector D Zonas residencial Urbana – Dominical

- Sector A

A continuación se presenta el análisis normativo de los valores obtenidos en los puntos P4_Kennedy y P_11 Hospitales, respecto al estándar del sector más restrictivo de la Resolución 627 del 2006. Ver Tabla 5.2.1-256.

Tabla 5.2.1-259 Resultados mediciones de ruido ambiental respecto el Sector A

Punto	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche
P4_Kennedy	70,2	55	61,3	45
P11_Hospitales	72,9	55	66,4	45

Como se observa en la Figura 5.2.1-351, los niveles de presión sonora obtenidos exceden el límite normativo presentando incrementos entre el 36 y 47% para el periodo diurno, y entre el 27 y 32 % en el periodo nocturno.

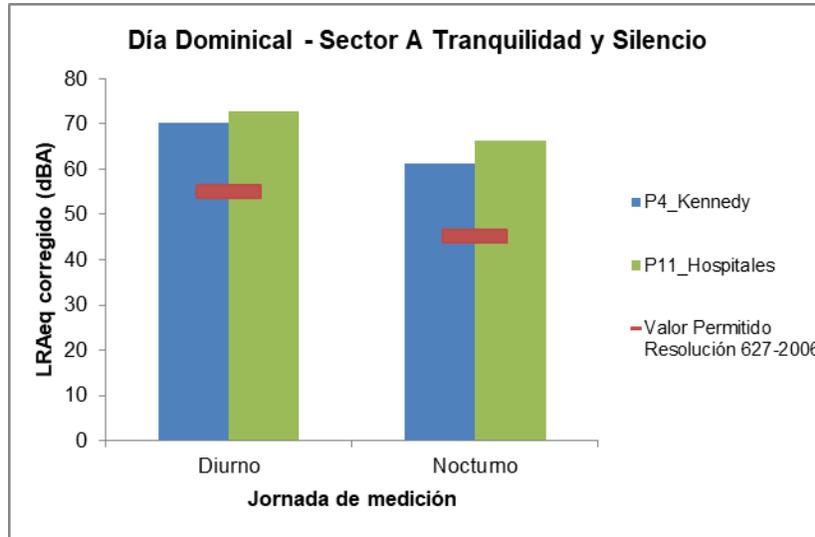


Figura 5.2.1-351 Resultados de niveles sonoros Sector A – Dominical

5.2.1.21.6 Conclusiones

El punto clasificado como sector D, zonas de uso rural: P1_Patio-Taller presentan niveles superiores a los valores máximos permisibles establecidos por la resolución 627 de 2006: El valor más alto se presentó en la jornada dominical. Las fuentes que se identificaron en campo para este punto fue: Canto de aves, ruido de insectos, perros ladrando, sobrevuelo de aviones y paso de vehículos.

Los puntos clasificados como sector D, Tranquilidad y Silencio: P4_Kennedy y P11_Hospitales presentan excedencia en los resultados obtenidos durante la jornada de monitoreo respecto a los estándares de la Resolución 627 del 2006.

Los puntos clasificados como sector C ruido intermedio restringido presentaron niveles por encima de los límites máximos permitidos por la resolución 627 de 2006 (75 dB en el día y 70 dB en la noche) en la mayoría de los puntos. Para este sector, los puntos mantienen una tendencia similar, lo que se concluye que las condiciones de ruido no son variables en la zona. La principal fuente de generación de ruido es el paso de vehículos por vías principales y actividades comerciales. Con esto se evidencia que para en la zona clasificada en el sector C, se mantiene en actividad comercial continua lo que conlleva a un flujo constante de vehículos por las vías principales del área de influencia que realizan un aporte considerable de ruido.

Los puntos clasificados como sector B Tranquilidad y ruido moderado, en la mayoría de los casos puntos ubicados cerca de universidades y zonas residenciales, presenta el mayor número de cumplimiento de los límites máximos permitidos por la resolución 627 de 2006 (70 dB en el día y 55 dB en la noche).

Con base en los resultados, que las estaciones que presentaron altos niveles de ruido y que excedieron en gran medida los máximos permisibles establecidos por la norma ambiental, fueron aquellos puntos ubicados en zona residencial, específicamente las estaciones P2_Portal Las

Américas, P11_Hospitales y P13_Calle 45 cuyos niveles de ruido permanecieron cerca de los 74 dB(A), evidenciando que dichos valores de nivel fueron ocasionados por la energía sonora aportada por el flujo constante de vehículos, sobre vuelo de aviones. El punto clasificado con uso de suelo rural también presentó excedencias debido a la alta restricción que establece la resolución 0627 para zonas rurales y porque cerca de este punto se presentan los despegues de las aeronaves. Por otro lado, cabe destacar que las estaciones ubicadas en las zonas residenciales presentaron mayor cumplimiento en el horario diurno - ordinario, sin embargo, en el horario nocturno todas presentaron niveles que superaron el estándar permisible para este horario, y al realizar una comparación de niveles obtenidos por parte de estas estaciones, se puede deducir que las excedencias posiblemente pudieron haber sido causadas por fuentes totalmente inherentes a la zona como vehículos, personas y establecimientos comerciales que contribuyen al aumento de la energía sonora y propiamente a que se sobrepasen los límites permisibles.

Se recomienda continuar con las mediciones de ruido ambiental durante las fases de construcción y operación del proyecto como se establece en el Capítulo 8 Planes de Manejo Ambiental y Planes de seguimiento y Monitoreo Ambiental.

5.2.1.21.7 Modelo de Ruido

Con el fin de Identificar y estimar los aportes de ruido (Ld, Ln y Ldn) generados en el área de influencia del proyecto de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB) en las tres fases del proyecto, se desarrolló la modelación de ruido en el área de influencia bajo tres escenarios de modelación (línea base, construcción y operación).

5.2.1.21.7.1 Elección del software para el modelo de dispersión

A continuación se desarrolla un análisis comparativo en el cual se describen los aspectos y limitaciones de los dos software especializados para la simulación, avalados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, ver Tabla 5.2.1-260.

Tabla 5.2.1-260 Comparación entre software para modelos de dispersión

Software	Desarrollador	Descripción	Aspectos	Limitaciones
SoundPLAN Ruido ¹⁹	SoundPLAN	Software de alta gama para los cálculos de las modelaciones de ruido	Permite trabajar de acuerdo a las regulaciones que aplican en la zona del proyecto siguiendo un enfoque basado en estándares. Implementa más de 50 regulaciones para ruido de carreteras, trenes, interior de empresas, industria general y aeronaves.	Dificultad de manejo inicial para realizar los cálculos dado que está compuesto por módulos (interfaces).
CADNA ²⁰	DataKustik GmbH	Software líder para el cálculo, la presentación, la evaluación y la predicción del ruido ambiental.	Facilidad de acceso a todas las funciones para los cálculos. Permite acceso a todas las normas de cálculo disponibles para los emisores de los tipos Industria, Carretera y Ferrocarril. Permitiendo elegir una norma para cada tipo de emisor elegido en el modelo (Industria y/o Carretera y/o Ferrocarril).	El número máximo de emisores por proyecto se limita a 30 carreteras, ferrocarriles, emisores superficiales y lineales, y a 50 emisores puntuales.

¹⁹ Consultado de: <http://www.soundplan.eu/es/soundplan-acustica/conceptos-soundplan/>

²⁰ Consultado de: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Software	Desarrollador	Descripción	Aspectos	Limitaciones
			<p>Emplea un único interfaz de usuario para la totalidad del programa, sin ninguna separación en módulos.</p> <p>Tiene gran velocidad de cálculo aún en proyectos a gran escala debido al procesamiento multi núcleo y la opción 64bit.</p> <p>Incluye opciones flexibles de visualización y salida de resultados.</p> <p>Está disponible en tres configuraciones principales: Basic, Standard, y Modular.</p> <p>Permite todos los formatos posibles de importación están presentes en todas las configuraciones de CadnaA Excepto los bitmaps, que requieren la opción BMP.</p>	No permite la importación de datos bitmaps.
LIMA ²¹	Brüel & Kjær	Software de elaboración de mapas de ruido ambiental, modelización, cálculo y predicción	<p>Permite calcular y analizar el ruido Procedente de varias fuentes de ruido tales como industria o tráfico.</p> <p>Interfaz gráfica de usuario basada en Windows</p> <p>realiza el cálculo de potencia según las normas ISO 3744/3746/8297 recomendadas por la Comisión Europea para la realización de mapas estratégicos de ruido</p>	<p>Interfaz Multi-escenario.</p> <p>Poca flexibilidad en el uso de estándares para la implementación en diferentes zonas de estudio.</p>

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5.2.1-260 la mayor deferencia identificada entre los tres software se obtiene de las posibilidades gráficas y de la complejidad para el manejo de la interfaz que ofrece. Dado que los tres software presenta rangos de variables acústicas y estándares de predicción que permiten gestionar proyectos nacionales e internacionales de cálculo y mapeo de ruido.

En este sentido, el modelo que más se adapta a las necesidades y características del proyecto de Estructuración de la PLMB es el CADNA dado que se considera un software integral, el cual emplea un único interfaz de usuario para la totalidad del programa, sin ninguna separación en módulos, además permite acceso a todas las normas de cálculo disponibles para los emisores de los tipos Industria, Carretera y Ferrocarril, contando con más de 30 estándares y directrices de implementación, por lo cual permite elegir una norma para cada tipo de emisor en el modelo (Industria y/o Carretera y/o Ferrocarril), es el modelo regulatorio actualmente recomendado por la autoridad ambiental nacional.

²¹ Consultado de: <https://www.bksv.com/es-ES/7810>

5.2.1.21.7.2 Software y estándares de ruido utilizados

El software utilizado para realizar la predicción de propagación de ruido fue CadnaA versión 2017 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH. Sobre el cual se asignaron los siguientes estándares para la modelación:

- ✓ ISO 9613-2_2007: Para la propagación del ruido con relación a los obstáculos.
- ✓ RLS 90: Para para predecir la propagación de ruido de tráfico rodado.

El estándar RLS 90 predice un nivel de presión sonora de referencia, llamado nivel medio de emisión o LME (Level Mean Emission) por sus siglas en inglés, el cual se obtiene aplicando correcciones al nivel básico definido a una distancia de 25 metros del centro de la vía y a 4 metros de altura. Las características del modelo de emisión en su versión simplificada se definen a continuación:

$$LME = L_{25} + C_{vel} + C_{pav} \quad (I-6)$$
$$L_{25} = 37,3 + 10 \times \log Q \times 1 + 0,082 \times P \quad (I-7)$$

Figura 5.2.1-352. Características del modelo de emisión en su versión simplificada

Fuente: Redondo, M. *Correlación niveles sonoros-variables de tráfico y ajustes con modelos de predicción NMPB y CNOSSOS. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, Universidad Pública de Navarra, 2013.*

Dónde:

L25: Nivel Sonoro Base a 25 metros en dB (A),
Q: Densidad del tráfico (Vehículos/hora),
P: Porcentaje de vehículos pesados (%)

Los estándares seleccionados de acuerdo a los datos de entrada a este estudio son los más adecuados para evaluar la propagación de ruido por flujo vehicular de tráfico rodado y ferroviario, e industrial. ISO 9613 y RLS90 son estándares que se usan ampliamente en Colombia y el estándar NMPB Fer se utilizó debido a la referencia de marca francesa del tren. Estos estándares están avalados internacionalmente en el campo de acústica ambiental; por lo cual se puede predecir de forma adecuada los aportes de cada tipo de fuente considerados en el estudio.

Parámetros acústicos:

Se estableció la configuración en el software de modelación ingresando los parámetros necesarios para ejecutar el modelo de ruido. A continuación, se muestran las configuraciones ingresadas:

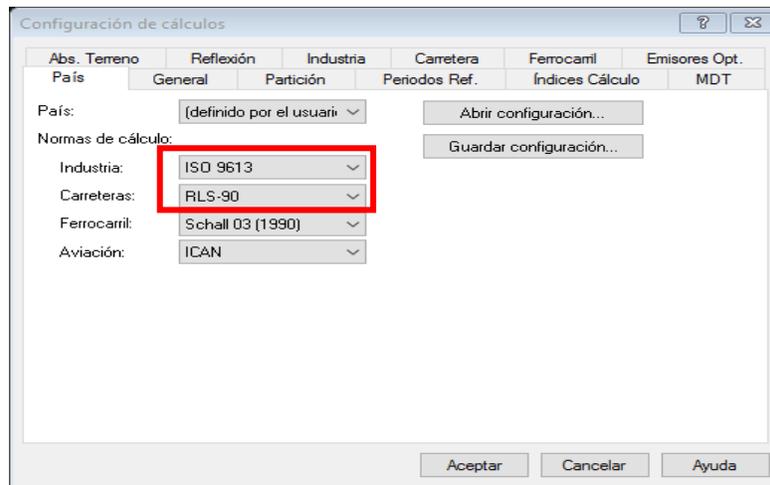


Figura 5.2.1-353 Estándares

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. con base en los parámetros del software CadnaA versión 2017 MR 1 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH.

Configuración General:

Se estableció también un error máximo de 0, para que determine con exactitud las variaciones que se presentan a nivel acústico, al tiempo que para la salida del modelo se configuró una modelación con una malla de 10*10. Adicionalmente se calculó una altura sobre el nivel del suelo para la malla y los receptores puntuales de 4 m.

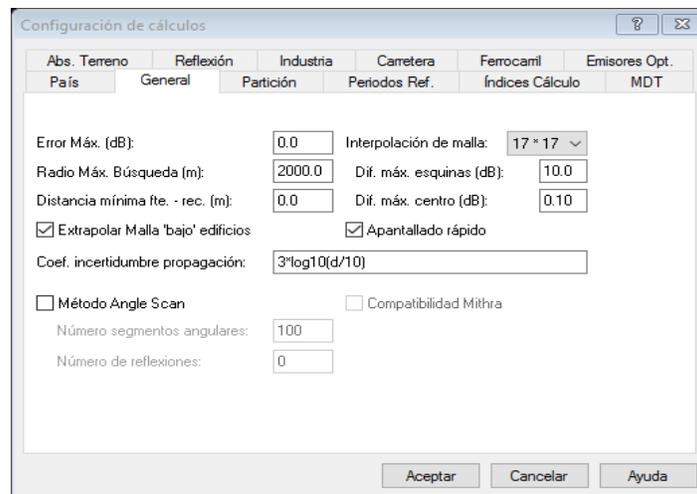


Figura 5.2.1-354 Configuración General

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. con base en los parámetros del software CadnaA versión 2017 MR 1 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH.

Los parámetros de entrada usados en la modelación se presentan en la idealización de cada escenario (línea base, construcción y operación); en el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se presenta la información del perfil horario de flujo vehicular usado para la modelación del escenario de línea base y operación; al igual que la información de fuentes fijas utilizado en la modelación.

Períodos de referencia

Los períodos de referencia que se consideraron en la modelación conforme lo establece la resolución 0627 de 2006 para las horas del día corresponden a un periodo entre la hora 7 y la hora 21, y para las horas noche, comprende un periodo entre la hora 21 hasta la hora 7.

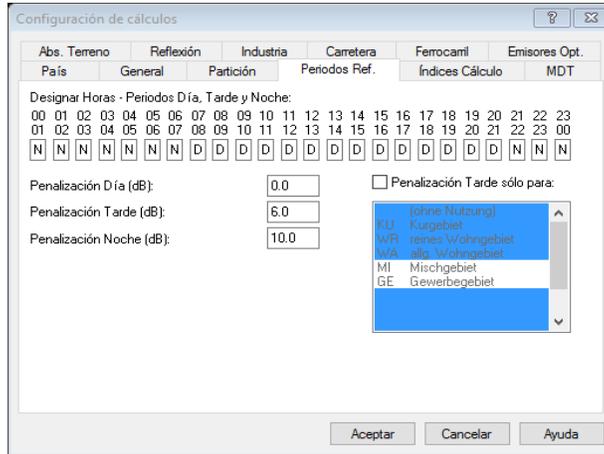


Figura 5.2.1-355 Períodos de referencia

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. con base en los parámetros del software CadnaA versión 2017 MR 1 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH.

Índices de cálculo

Los índices de cálculo que se utilizaron principalmente fueron indicadores de niveles sonoros medios a largo plazo, adecuados para la planificación y para la aplicación de un planteamiento integrado a zonas residenciales, ciudades y aglomeraciones, pero no apropiados para situaciones a corto plazo, muchas veces asociados a quejas y denuncias concretas.

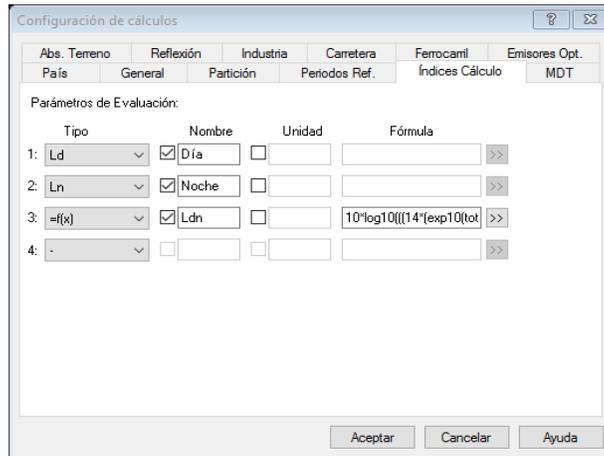


Figura 5.2.1-356 Parámetros a evaluar

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. con base en los parámetros del software CadnaA versión 2017 MR 1 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH.

Estos parámetros fueron Ld, Ln y Ldn, referidos a los períodos definidos como día, noche, día - noche. Ld por su parte, es un indicador de ruido asociado al día, que puede definirse como el nivel

sonoro medio a largo plazo determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año, donde al día le corresponden 14 horas, en el período que se extiende desde las 7 hasta las 21 horas. Por otra parte, L_n es un indicador del nivel sonoro durante la noche, definido como el nivel sonoro medio a largo plazo determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año, donde a la noche le corresponden 10 horas, en el período que se extiende desde las 21 hasta las 7 horas.

Finalmente, L_{dn} es un indicador del nivel de ruido global durante el día, y la noche, utilizado para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido. Este parámetro pretende dar una idea del nivel de ruido a lo largo de las 24 horas del día, teniendo en consideración el hecho de que durante la noche la población se vuelve más sensible al ruido y, si bien habitualmente los niveles sonoros disminuyen en cierta medida durante ese período, su importancia relativa aumenta.

5.2.1.21.7.3 Criterios de selección de información

Los criterios que se tuvieron en cuenta en la selección de la información se agrupan en Escala de trabajo, Fuentes de información y Flujo vehicular, los cuales se describen a continuación.

- Escala de trabajo:

Se verificó la escala de los datos suministrados y se trabajó para este estudio con una escala que va desde 1:5000 a 1:10000. Así mismo, se analizó la topología del terreno tal que la geometría presentara consistencia espacial con los datos, existiera ubicación real de los elementos y, que los nodos, arcos y polígonos existieran dentro de la cartografía usada.

- Fuentes de información:

La información cartográfica se obtuvo de la infraestructura de datos espaciales del distrito capital – IDECA, teniendo como base los estándares establecidos en el Catálogo de Objetos MR V5.4" y la especificación Técnica del Mapa de Referencia V12.16. Así mismo, se tuvo en cuenta la resolución 1503 de 2010 por medio de la cual se adoptó el modelo para realizar el almacenamiento de la información geográfica como un requerimiento de la autoridad ambiental (ANLA) para el soporte de la información documental de los proyectos y trámites ambientales presentados.

- Flujo vehicular:

Para la información vehicular se tomaron datos suministrados por la secretaria de movilidad de Bogotá, la cual fue posteriormente analizada y procesada para su uso.

5.2.1.21.7.4 Validación de la información

Para este procedimiento se tuvo en cuenta la aplicación de diversas reglas topológicas como la sobre posición de polígonos, cruce de líneas, la existencia de geometrías duplicadas y la verificación de la información espacial referente a la georeferenciación y los elementos existentes en el territorio.

5.2.1.21.7.5 Modelo digital del terreno

La elaboración de la simulación debe realizarse de forma que exista entre el terreno real de la zona y el modelo, una relación simétrica que permita la traducción de algunas propiedades de la simulación a la realidad; por esta razón es importante el procesamiento de la información topográfica.

Para el procesamiento de la información topográfica, se parte de archivos digitales del terreno, como mapas que presentan curvas de nivel de la zona de interés y a través de programas que permiten la extracción de los parámetros del terreno, se procesa la información por medio de algoritmos que crean los archivos digitales (.dem) y permiten la visualización de la geometría algebraica en líneas de contorno 3D.

La topografía del terreno en los estudios de ruido es de vital importancia, ya que de esto depende el comportamiento y la tendencia de propagación de las ondas sonoras. Para el presente proyecto la topografía (curvas de nivel) fue tomada de la base de datos geográfica (*.gdb), de los datos espaciales del distrito capital – IDECA. Dichas curvas de nivel poseen una escala de levantamiento de 1:1000, la cual permite visualizar un nivel de detalle entre curvas de 2,5 y 7 metros de longitud garantizando una representación adecuada del terreno para una correcta simulación. (Ver Figura 5.2.1-147).

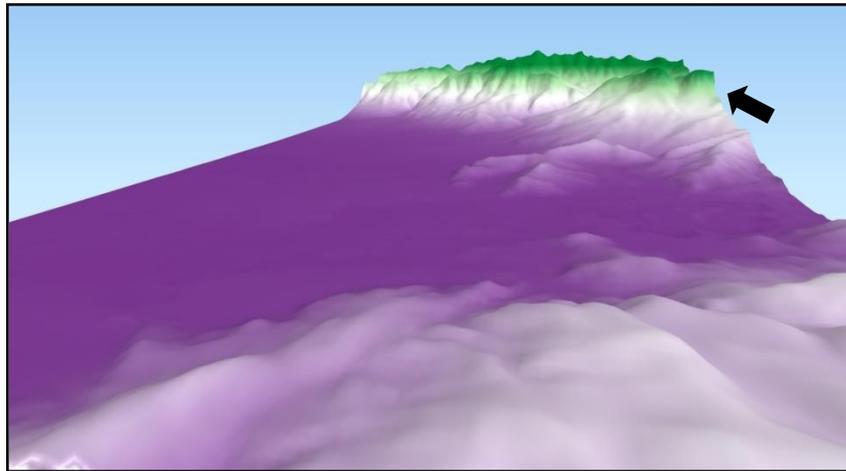


Figura 5.2.1-357 Modelo Digital del Terreno con base en las curvas de nivel del IDECA
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. con base en los datos tomados del IDECA, 2017.

5.2.1.21.7.6 Variables meteorológicas

Con respecto a la meteorología, se usaron los valores obtenidos por las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB. Estas estaciones están distribuidas en toda el área de la ciudad de Bogotá, por lo que se procedió a seleccionar aquellas que estuvieran en la zona de influencia del trazado de la línea del metro, y los datos de los días de monitoreo de ruido ambiental realizado en la zona de estudio. Las estaciones seleccionadas fueron Kennedy, Carvajal – Sevillana y Centro de alto. Las estaciones arrojaron valores horarios que posteriormente, permitieron establecer los promedios de temperatura, precipitación, presión barométrica, humedad relativa y velocidad y dirección del viento (Ver Tabla 5.2.1-261). Para la modelación solo fueron necesarios los promedios de velocidad y dirección del viento, humedad relativa y la temperatura.

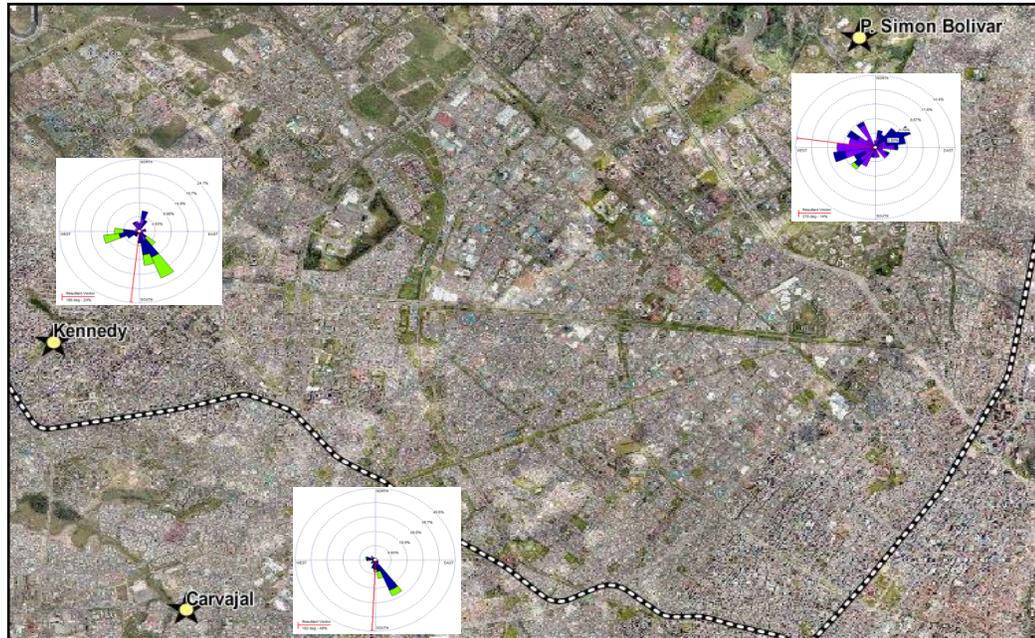


Figura 5.2.1-358 Estaciones de monitoreo de ruido ambiental (receptores sensibles)
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S.

Tabla 5.2.1-261. Variables meteorológicas

Fecha/Parámetro	Temperatura °C	Humedad %	Velocidad del viento (m/s)	Estación RMCAB
13/08/2017	15,36	57,83	240	Kennedy
14/08/2017	15,70	49,95	2,33	Kennedy
15/08/2017	15,10	57,37	2,25	Kennedy
16/08/2017	16,04	58,95	2,42	Kennedy
17/08/2017	15,76	62	1,91	Kennedy
18/08/2017	15,48	67,5	2,02	Kennedy
13/08/2017	15,59	----	1,85	Carvajal
14/08/2017	16,12	----	2,04	Carvajal
15/08/2017	15,58	----	2,17	Carvajal
16/08/2017	16,62	----	1,69	Carvajal
17/08/2017	17,06	----	1,78	Carvajal
18/08/2017	16,37	----	1,52	Carvajal
13/08/2017	15,08	60,91	1,62	Centro Alto Rendimiento
14/08/2017	14,49	59,58	0,98	Centro Alto Rendimiento
15/08/2017	14,64	63,3	1,04	Centro Alto Rendimiento
16/08/2017	15,87	61,54	1,09	Centro Alto Rendimiento
17/08/2017	16,31	64,08	1,01	Centro Alto Rendimiento
18/08/2017	16,33	69,56	1,04	Centro Alto Rendimiento

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017)

5.2.1.21.7.7 Idealización de escenarios de modelación

LINEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

En esta sección se presenta la idealización de los escenarios de modelación, la identificación de las fuentes sonoras, la asignación de los niveles de potencia sonora y la configuración de los ejecutables de modelación a partir de los cuales se obtuvieron los resultados para análisis y discusiones.

Escenario línea base

Este escenario se desarrolló considerando lo descrito por Aramburú (2001), quien definió la Línea Base como el resultado obtenido de la primera medición de todas las variables e indicadores relacionados con el diseño de un proyecto antes de que este se ejecute con lo cual se puede diagnosticar el estado de los elementos antes del inicio de las actividades proyectadas.

Con los resultados de estas simulaciones de ruido se puede establecer el panorama acústico del área de influencia directa (AID) sin proyecto. La línea base para la primera línea del metro de Bogotá correspondió principalmente, a la información relacionada con el tráfico rodado que se presenta actualmente en el área de estudio y al desarrollo de un inventario de fuentes de emisión a lo largo de todo el trazado de la línea del metro.

- Enfoque de las simulaciones

Para el desarrollo de las simulaciones de ruido del escenario base, se usó información secundaria del flujo vehicular correspondiente a los aforos realizados por la secretaría de movilidad en 35 puntos diferentes de la ciudad de Bogotá. Estos aforos vehiculares permitieron determinar para el área de influencia del proyecto, el promedio horario y diario de vehículos en circulación. Así mismo, la secretaría de movilidad realizó un aforo para la clasificación de vehículos (livianos, pesados, Transmilenio) lo cual permitió establecer la cantidad del flujo por segmento de vía y por carril.

También se determinó el número total de edificaciones, información de topografía (curvas de nivel) y segmentos de vía, a través de la consulta de información secundaria de datos espaciales de la base de datos geográfica del distrito capital – IDECA. Sin embargo, para el uso adecuado de esta información, fue necesario realizar un proceso de validación, depuración y normalización de la información del área de influencia del proyecto debido a inconsistencias de tipo topológico y geométrico que presentaba la cartografía básica de esa base de datos geográfica (IDECA). Este procedimiento de verificación y depuración fue necesario a la hora de determinar un escenario de modelación ya que juega un papel fundamental en los resultados finales del producto a entregar. Finalmente, en la modelación del escenario se tuvo en cuenta el proceso de difracción y reflexión del sonido y los obstáculos constituidos por las edificaciones y la topografía del terreno (curvas de nivel).

- Datos de entrada

Para este escenario se usaron como datos de entrada adicional al modelo digital del terreno lo siguiente:

- *Edificaciones:*

Comprenden todas las viviendas y edificios presentes en el área de estudio del trazado de la PLMB. Las edificaciones y las curvas de nivel fueron tomadas de la base de datos geográfica (*.gdb), del IDECA. Estos, constituyen los principales obstáculos dentro de la idealización del modelo, sin obstáculos el modelo asumiría un comportamiento lineal y uniforme en sus resultados, por lo cual para idealizar correctamente el modelo, fue necesario determinar la altura aproximada de las edificaciones para lo cual se tomó con base en el artículo 4 del decreto 333 de 2010, valores

promedio de altura entre pisos de edificaciones (2,5 metros para las viviendas y 3,8 para edificios), y se multiplicó por el número total de pisos de cada edificación.

Finalmente, como parte de la configuración del modelo se consideró un coeficiente de absorción alfa de las edificaciones de 0,2, el cual se define como la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo eco. Es un valor que varía entre 0 (toda la energía se refleja) y 1 (toda la energía es absorbida).

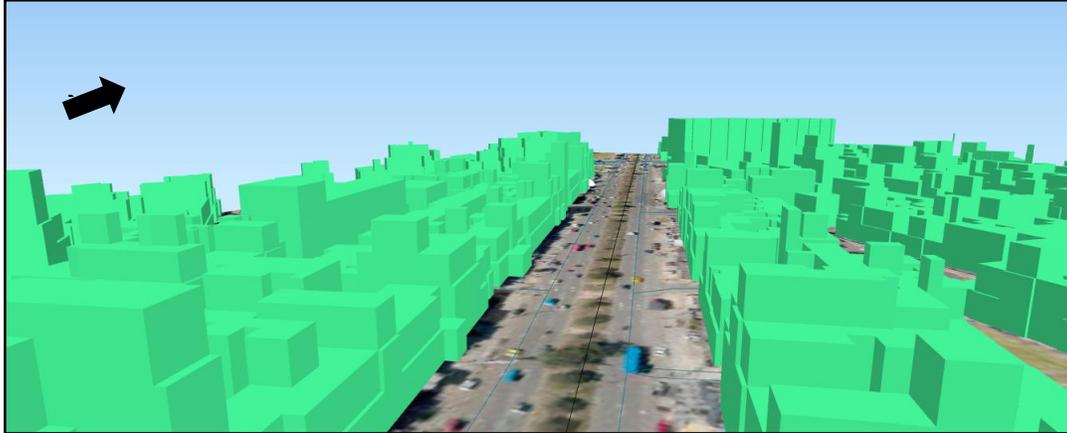


Figura 5.2.1-359 Edificaciones

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S con base en los datos tomados del IDECA, 2017

- Tráfico rodado

El tráfico rodado se considera una de las principales fuentes generadoras de ruido. Al respecto Redondo (2013) menciona que el ruido del tráfico rodado resulta de la adición de las emisiones de ruido de cada vehículo que conforman el flujo de tráfico. Es por esto que, para la idealización de las fuentes de ruido por tráfico rodado, se escogió el estándar alemán Richtlinien für den Lärmschutz an Straben (Directrices para la protección contra el ruido en las calles) o RLS 90 por sus siglas en alemán, el cual permitió la evaluación del ruido producido por el tráfico rodado que se presenta en el área de estudio. Dicho estándar requirió los datos del número, tipo y velocidad de los vehículos que transitan por el área diariamente, así como también el material de las vías y la pendiente de las mismas.

Haciendo uso de los datos recopilados por la Secretaría de Movilidad Distrital, se pudo establecer los promedios diarios y horarios de todo el tráfico circundante, por las 35 estaciones de aforo establecidas por la secretaría de movilidad. Después de consolidada la información del aforo, se procedió a la unificación de entidades y atributos a través de herramientas SIG para el área de influencia de proyecto; a este procedimiento se le denominó normalización de la información. El proceso consistió en asignar identificadores únicos a cada uno de los segmentos reportados en el aforo, con el fin de relacionarlos espacialmente con los datos cartográficos de las vías asignados con el mismo ID en el archivo de aforo entregado.

Mediante el geoproceso conocido como unión de atributos (join attribute table), se estableció conexión entre la cartografía de las vías (perteneciente a la base de datos del IDECA) y los datos de aforo de la SDA. Mediante esta conexión se determinó la sumatoria de todos los datos de aforo reportados por medio del uso de los operadores matemáticos básicos (+, -, *, /), y mediante las herramientas de estadística descriptiva presentes en el SIG, se identificaron los segmentos con mayor y/o menor flujo.

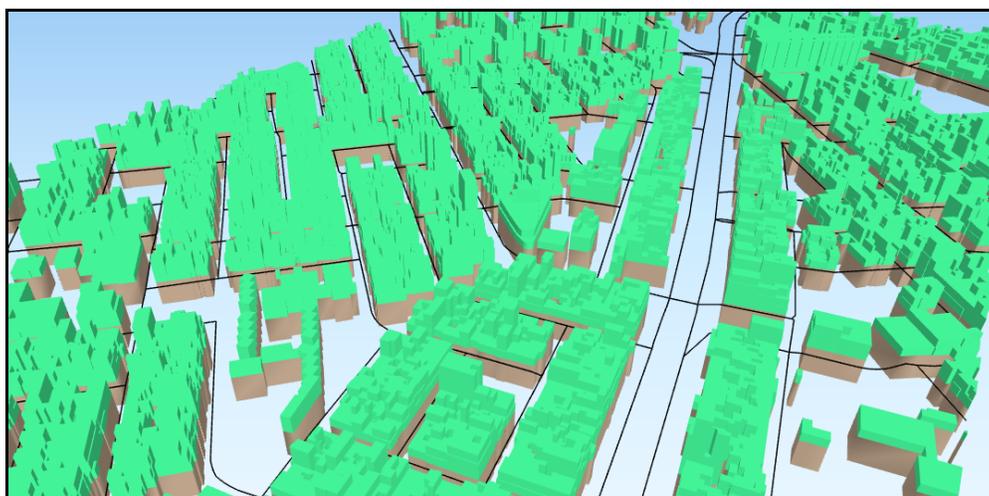


Figura 5.2.1-360 Aforo vehicular

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S con base en los datos tomados del IDECA, 2017.

Finalmente, se hizo una redistribución de los datos en el resto de las vías del área de influencia del proyecto, con el fin de determinar los tipos de flujos respecto a la clasificación de las vías del IDECA (principal, secundaria, terciaria, vía local), esto con el fin de garantizar una ajustada redistribución del aforo vehicular.

PERFIL HORARIO DEL FLUJO VEHICULAR												
ID	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12
00100001	201	187	216	348	525	1196	1669	1265	871	795	778	571
00100001	101	94	108	174	263	598	835	633	436	398	389	286
001000K3	289	239	337	608	1185	1799	2271	2247	1939	1741	1323	1543
0010003B	12	0	0	1	75	98	100	115	82	52	36	44
50DZEA8	788	784	729	1026	2125	4090	5398	1741	1648	1573	1237	1145
50DZEA9	494	320	311	385	1260	1970	2026	2520	2502	2429	2345	2388
50DZEA10	238	121	97	100	286	1267	2215	1440	1268	1434	1519	1544
50DZEA11	660	465	388	555	1023	1434	2135	2725	2660	2503	2341	2255
50DZEA12	11	13	7	10	30	99	134	629	604	646	748	707
ID	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-00
00100001	858	767	848	784	639	775	855	622	538	549	611	382
00100001	429	384	424	392	320	388	428	311	269	275	306	191
00100003	3464	3153	2591	2464	2544	3083	2329	2194	2256	2545	1636	1027
001000K3	1732	1577	1296	1232	1272	1542	1165	1097	1128	1273	818	514
0010003B	36	33	37	40	41	85	102	100	108	90	56	54
50DZEA8	938	1018	1140	1087	1077	1152	781	628	550	2408	1928	1206
50DZEA9	2314	2311	2336	2272	2229	2424	2284	2180	1816	1392	1239	609
50DZEA10	1444	1525	1604	1559	1570	1510	1397	1186	1111	1186	716	434
50DZEA11	2208	2188	2470	2488	2541	2941	2570	2194	1970	3691	2478	1118
50DZEA12	722	777	816	765	760	837	805	800	792	140	94	45

Figura 5.2.1-361 Perfil horario de flujo vehicular

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S., 2017.

- Inventario de fuentes potenciales

Para localizar las fuentes industriales de ruido, fue necesario establecer como primera medida los tipos de fuentes objeto a monitorear (discotecas, restaurantes, lavaderos, amplificadores de sonido, estaciones de servicio, talleres, tiendas, parqueaderos, supermercados). Establecidas las fuentes, se procedió a la asignación de un código de fuente único para la respectiva individualización. Seguidamente para la identificación de cada fuente el Laboratorio K2 INGENIERÍA realizó recorridos en campo (diurnos y nocturnos), con el fin de determinar los horarios de operación de cada fuente. Finalmente, del total de fuentes inventariadas (120), se seleccionó una muestra representativa de cincuenta y cinco (55) fuentes a las que se le hicieron mediciones de emisión de ruido de 15 minutos para su caracterización, ver Hoja de Excel del Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental.

Del inventario de fuentes fijas se identificaron las fuentes más relevantes en el estudio, se procesó la información y se incluyó al modelo usando el estándar de fuentes industriales; A continuación se especifican algunas de las fuentes fijas usadas para la modelación (Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se encuentra la tabla con la totalidad de información de las fuentes fijas).

FUENTES PUNTUALES					
Nombre	ID	Día PWL (dBA)	Noche PWL (dBA)	Lw / Li	COD_Fente
No tiene nombre	1	93	93	Lw	COD1
Ceramisur	23	97.7	97.7	Lw	COD23
Decoritalia	23	97.7	97.7	Lw	COD23
casa comercio valle aborra	5	93.5	93.5	Lw	COD5
Dani motos	12	89.1	89.1	Lw	COD12
Av villavicencio	30	87.8	87.8	Lw	COD30
La paisa	1	93	93	Lw	COD1
Valenzuela motors	12	89.1	89.1	Lw	COD12
Ascanio	3	94.8	94.8	Lw	COD3
casino blue star	3	94.8	94.8	Lw	COD3
sin nombre	3	94.8	94.8	Lw	COD3
tienda vieja mi cafetal	3	94.8	94.8	Lw	COD3
autolavado milenio	21	92.3	92.3	Lw	COD21
montallantas vulcanizada	12	89.1	89.1	Lw	COD12
tienda pijao quindio	1	93	93	Lw	COD1

Figura 5.2.1-362 Fuente fijas
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S

Escenario construcción del proyecto

En este escenario se simula la dispersión de ruido durante la ejecución de las actividades constructivas propias del proyecto, considerando todos los frentes de trabajo del proyecto de forma simultánea (Patio-Taller, Estaciones y Viaducto), considerando que las actividades se desarrollaran simultáneamente y se ejecutarán únicamente en el periodo diurno, considerando el escenario más crítico.

- Enfoque de las simulaciones.

El proceso de construcción que se desarrollará para el metro elevado es similar a un viaducto convencional en concreto o de estructura metálico. Por lo general el metro elevado se desarrolla con piezas prefabricas que componen la subestructura y superestructura. Basados en lo anterior, este escenario se hizo teniendo en cuenta la línea base y los parámetros acústicos de todos los equipos que se utilizarán en la etapa de construcción de la primera línea del metro.

Los equipos que se utilizarán serán: buldóceres, retroexcavadoras, compactadoras, carrotaques, volquetas, retrocargadores, grúas, entre otros. Mediante el uso de esta maquinaria se realizará la adecuación de las vías, la construcción del viaducto por donde pasaran los trenes y demás infraestructura como las estaciones, los edificios de acceso y el parqueadero del metro denominado Patio-Taller. Las simulaciones de ruido se desarrollaron con los flujos vehiculares de la línea base y los respectivos obstáculos.



Figura 5.2.1-363 Montaje escenario de construcción
Fuente: <http://www.metrodebogota.gov.co/>

- Datos de entrada

- Maquinaria usada

En la Figura 5.2.1-363 se puede apreciar algunos de los procedimientos de construcción y maquinaria que se usara para el proyecto de la PLMB. El primer paso es la construcción de las columnas fabricadas mediante llenado con moldes, realizando perforaciones en el suelo, aplicando relleno prefabricado y excavando en cada pila para ser llenadas con concreto. La siguiente fase es el lanzamiento de las partes prefabricadas, realizando la terminación de la estructura soporte por medio del uso de grúas y el montaje de dovelas con la viga lanzadora. Finalmente, se construirán las estaciones establecidas. Entre el modelo no se incluye el uso de piloteadoras, dado que los pilotes que se ejecutaran durante la construcción del proyecto serán de tipo pre excavado.



Figura 5.2.1-364 Esquema construcción de la PLMB
Fuente: <http://www.metrodebogota.gov.co/>

A continuación, se describen las actividades principales en las que se involucran las maquinarias del proceso de construcción:

Movimiento de tierras del Patio-Taller: para esta actividad se destinaron 313,41 m² de tierra en la cual operaran 9 buldócer y cargo frontal y 3 retroexcavadoras.

Demolição de construcción: durante la obtención de espacio para la construcción se hará uso de retroexcavadoras, buldócer, carro-tanques irrigadores de agua (wáter truck), retro-cargadores y martillos neumáticos (rockbreaker).

Instalación de viga lanzadora y preparación para la fundación de columnas: estas actividades abarcaran un área de 64,41 m² en las cuales se usará maquinaria como la viga lanzadora, retroexcavadora sobre orugas y volquetas de 6 m³.

Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto): durante este procedimiento harán uso de taladros de perforación, retroexcavadoras sobre orugas y volquetas de 6 m³, los pilotes son pre-excavados.

Montaje, fundación de la columna: para tratar el área de estas actividades usarán volquetas de 6 m³, concrete pump y grúas autopropulsoras de brazo telescópico.

Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto) y Montaje de rieles y subestaciones: las vigas lanzadoras y las grúas serán usadas para el montaje respectivo de esta actividad.

Adecuación de vías: se intervendrán 125,55 m² de vías para lo cual usarán maquinaria como benitin 120, terminadora de asfalto, compactadores de llantas, mini-cargador, vibro-compactador pata de cabra, vibro-compactador (Roller), compresor, fresado de pavimento. Martillo neumático, motoniveladoras y volquetas de 6 m³.

A continuación, se presentan las 49 actividades a desarrollar, con la respectiva maquinaria para cada tramo y sección del proyecto que se tuvieron en cuenta para la modelación:

Tabla 5.2.1-262 Maquinaria que se usará en Patio-Taller

Actividad	Maquinaria
Movimiento de tierras del Patio-Taller	Bulldozer
	Cargador frontal
	Retroexcavadoras

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-263 Maquinaria que se usará en la sección 1 del tramo 1

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Montaje y fundación de la columna	Concrete pump
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibrocompactador pata de cabra (Roller)
	Vibrocompactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
	Martillo neumático de 60 lb
	Motoniveladora (Grader)

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Actividad	Maquinaria
	Volquetas de 6 m ³

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-264 Maquinaria que se usará en la sección 2 del tramo 1

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
Montaje y fundación de la columna	Volquetas de 6 m ³
	Concrete pump
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibrocompactador pata de cabra (Roller)
	Vibracompactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
	Martillo neumático de 60 lb
	Motoniveladora (Grader)
Volquetas de 6 m ³	

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-265 Maquinaria que se usará en la sección 3 del tramo 1

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Montaje y fundación de la columna	Concrete pump

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Actividad	Maquinaria
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibrocompactador pata de cabra (Roller)
	Vibracompactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
	Martillo neumático de 60 lb
	Motoniveladora (Grader)
Volquetas de 6 m ³	

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-266 Maquinaria que se usará en la sección 4 del tramo 1

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Montaje y fundación de la columna	Concrete pump
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibrocompactador pata de cabra (Roller)
	Vibracompactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
Martillo neumático de 60 lb	

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Actividad	Maquinaria
	Motoniveladora (Grader)
	Volquetas de 6 m ³

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-267 Maquinaria que se usará en la sección 1 del tramo 2

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Montaje y fundación de la columna	Concrete pump
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
	Viga Lanzadora
	Grúa
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibrocompactador pata de cabra (Roller)
	Vibracompactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
	Martillo neumático de 60 lb
	Motoniveladora (Grader)
	Volquetas de 6 m ³

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 5.2.1-268 Maquinaria que se usará en la sección 2 del tramo 2

Actividad	Maquinaria
Demolición de construcciones	Retroexcavadora sobre orugas
	Bulldozer
	Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)
	Retrocargador
	Rockbreaker (Martillo neumático)
Instalación Viga lanzadora	Viga Lanzadora
Preparación para la fundación de columnas	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³
Perforación, excavación, reforzamiento del suelo y cimentación (llenado de concreto).	Taladro de perforación (Drill Rig)
	Retroexcavadora sobre orugas
	Volquetas de 6 m ³

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Actividad	Maquinaria
Montaje y fundación de la columna	Concrete pump
	Volquetas de 6 m ³
	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo
Ensamblaje de viaducto (montaje de dovelas, montaje de viaducto)	Viga Lanzadora
	Grúa
Montaje de rieles y subestaciones	Viga Lanzadora
	Grúa
Adecuación de vías	Benitin 120 (Compactador- Roller)
	Terminadora de asfalto (Roller)
	Compactador de llantas (Roller)
	Minicargador
	Vibro compactador pata de cabra (Roller)
	Vibra compactador (Roller)
	Compresor
	Fresado de pavimento (Roller)
	Martillo neumático de 60 lb
	Motoniveladora (Grader)
Volquetas de 6 m ³	

Fuente: Adaptado K2 Ingeniería S.A.S

En la Tabla 5.2.1-269 se presentan los valores de emisiones por espectro de frecuencia de los equipos que se utilizarán en cada una estas secciones de trabajo.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-269 Parámetros acústicos de los equipos idealizados

Maquinaria	31.5 Hz dB (Z) Lw/m ²	63 Hz dB (Z) Lw/m ²	125 Hz dB (Z) Lw/m ²	250 Hz dB (Z) Lw/m ²	500 Hz dB (Z) Lw/m ²	1000 Hz dB (Z) Lw/m ²	2000 Hz dB (Z) Lw/m ²	4000 Hz dB (Z) Lw/m ²	8000 Hz dB (Z) Lw/m ²	Fuente
Buldócer	69.55	64.55	54.55	55.55	62.55	55.55	56.55	46.55	35.55	Ararat to Stawell, 2012
Cargador frontal	54.55	57.55	65.55	63.55	65.55	61.55	60.55	55.55	46.55	Ararat to Stawell, 2012
Retroexcavadoras	75.78	69.78	57.78	56.78	50.78	45.78	39.78	37.78	33.78	Ararat to Stawell, 2012
Retroexcavadora sobre orugas	75.78	69.78	57.78	56.78	50.78	45.78	39.78	37.78	33.78	Ararat to Stawell, 2012
Carrotanque irrigador de agua (Water Truck)	60.59	64.59	62.59	58.59	55.59	52.59	50.59	43.59	43.59	Ararat to Stawell, 2012
Retrocargador	80.55	74.55	62.55	61.55	55.55	50.55	44.55	42.55	38.55	Ararat to Stawell, 2012
Rockbreaker (Martillo neumático)	107.92	94.72	84.62	77.12	71.72	68.52	67.32	67.52	69.62	SLR Consulting Australia, 2012
Viga Lanzadora	101.14	87.94	77.84	70.34	64.94	61.74	60.54	60.74	62.84	Ccaltrans, s.f
Volquetas de 6 m ³	87.00	82.00	80.00	76.00	73.00	70.00	68.00	61.00	56.00	Ararat to Stawell, 2012
Taladro de perforación (Drill Rig)	103.96	90.76	80.66	73.16	67.76	64.56	63.36	63.56	65.66	Caltrans, 2016
Concrete pump	89.44	76.24	66.14	58.64	53.24	50.04	48.84	49.04	51.14	SLR Consulting Australia, 2012
Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 ton y 27 m de altura máxima de trabajo	99.28	86.08	75.98	68.48	63.08	59.88	58.68	58.88	60.98	Caltrans, 2016
Grúa	99.28	86.08	75.98	68.48	63.08	59.88	58.68	58.88	60.98	Caltrans, 2016
Benitin 120 (Compactador- Roller)	56.56	51.56	54.56	60.56	57.56	53.56	49.56	42.56	34.56	Ararat to Stawell, 2012
Terminadora de asfalto (Roller)	57.59	52.59	55.59	61.59	58.59	54.59	50.59	43.59	35.59	Ararat to Stawell, 2012
Compactador de llantas (Roller)	56.56	51.56	54.56	60.56	57.56	53.56	49.56	42.56	34.56	Ararat to Stawell, 2012
Minicargador	57.56	60.56	68.56	66.56	68.56	64.56	63.56	58.56	49.56	Ararat to Stawell, 2012
Vibro compactador pata de cabra (Roller)	59.99	54.99	57.99	63.99	60.99	56.99	52.99	45.99	37.99	Ararat to Stawell, 2012
Vibra compactador (Roller)	60.19	55.19	58.19	64.19	61.19	57.19	53.19	46.19	38.19	Ararat to Stawell, 2012
Compresor	50.99	55.79	59.69	57.19	54.79	51.59	48.39	39.59	34.69	Estante, 2013
Fresado de pavimento (Roller)	61.53	56.53	59.53	65.53	62.53	58.53	54.53	47.53	39.53	Ararat to Stawell, 2012
Martillo neumático de 60 lb	107.92	94.72	84.62	77.12	71.72	68.52	67.32	67.52	69.62	SLR Consulting Australia, 2012
Motoniveladora (Grader)	70.63	65.63	64.63	55.63	48.63	45.63	43.63	34.63	25.63	Ararat to Stawell, 2012

Fuente: (K2 INGENIERÍA S.A.S, 2017)

Escenario operación del proyecto

- Enfoque de las simulaciones.

Este escenario se realizó teniendo como referencia la línea base y los parámetros acústicos del metro que se utilizará en la etapa de operación de la primera línea del metro de Bogotá. Para seleccionar el estándar de tráfico ferroviario y el tipo de tren se realizó una búsqueda en las bases de datos del software de modelación teniendo en cuenta las características del tren de Bogotá. Se seleccionó el estándar NMPB Fer 2008 porque los proveedores que suministraran este tipo de trenes son de Francia. Se realizó este procedimiento ya que en el momento de la realización de este estudio no se tenía definido de forma concreta el tipo de tren a utilizar en el proyecto PLMB. Adicionalmente se tuvo en cuenta el flujo vehicular descrito para la línea base y el tráfico proyectado para el año 2042 sobre la Avenida Caracas y otras vías de la ciudad de Bogotá (entregados por el cliente). Estos son los dos tipos de fuentes relevantes que corresponden a la operación del proyecto.

El material rodante (metro) que se usará para este proyecto cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 5.2.1-270 Especificaciones de equipo

Equipo	MI79-Z8100					
Identificación	Z8100					
Velocidad máxima (km/h)	140					
Longitud (m)	104.1					
Tipo de frenado	suelas de material compuesto					
Punto de medición	d : 25 m					
	h : 3.5 m					
Numero de boguies	8					
Espaciamento (m)	12					
Velocidad (km/h)	90					
Variación (V/vref)	30 * log 10					
Frecuencia (Hz)	125	25	500	1000	2000	4000
Potencia (dB)	105.1	103.8	108.8	106.9	98.8	91.7

Fuente: SNCF, 2012

Tabla 5.2.1-271 Niveles de potencia sonora y espectros de frecuencia

frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315
potencia (dB)	65.9	67.9	71.1	68.5	68.6	68.9
frecuencia (Hz)	400	500	630	800	1000	1250
potencia (dB)	69.1	71.6	74.4	73.3	70	66.7
frecuencia (Hz)	1600	2000	2500	3150	4000	5000
potencia (dB)	62.7	61.9	59	55.8	53.2	51.2

Fuente: SNCF, 2012

Es de resaltar que entre el modelo se consideró la proyección promedio diaria de tráfico, la cual se estimó a partir de la tasa de crecimiento promedio de la ciudad de Bogotá. Es por ello que los aportes resultantes en el escenario de operación con línea base podría presentar incrementos significativos.

- Receptores Sensibles

Los receptores sensibles fueron localizados en los puntos donde se proyecta la ubicación de las estaciones del metro. El monitoreo de ruido ambiental, consistió en mediciones de 15 minutos de duración, para obtener la información de ruido ambiental asociado a los diferentes tipos de fuentes en 18 puntos, diferenciando los periodos diurno y nocturno de conformidad con la Resolución 0627 de abril de 2006 expedida por el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma UNE-ISO 1996:2009 (Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental Parte 2: Determinación de los niveles de Ruido Ambiental). (Ver Figura 5.2.1-365).

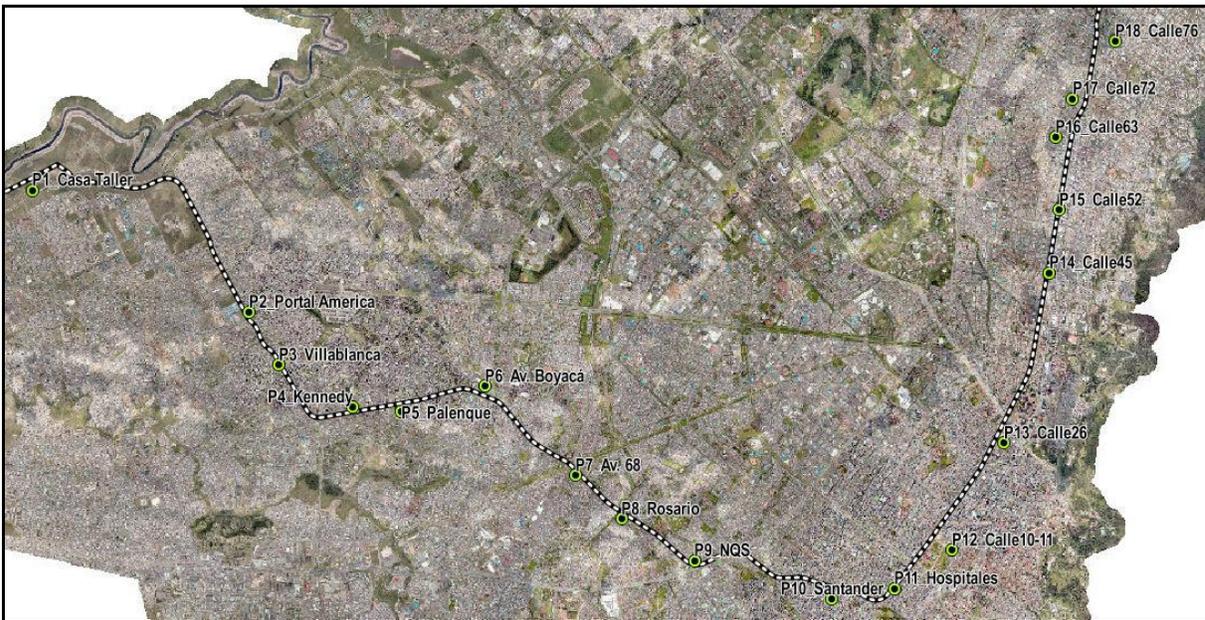


Figura 5.2.1-365 Estaciones de monitoreo de ruido ambiental (receptores sensibles)
Fuente: Monitoreo de ruido ambiental PLMB, 2017.

Adicionalmente, como se mencionó en el numeral 5.2.1.19.1 en el trazado se identificaron dos sectores de mayor sensibilidad (Sector A. Tranquilidad y Silencio), correspondientes a la zona adyacente a la estación Hospitales y Kennedy, por la presencia de centros de atención a la salud especializada.

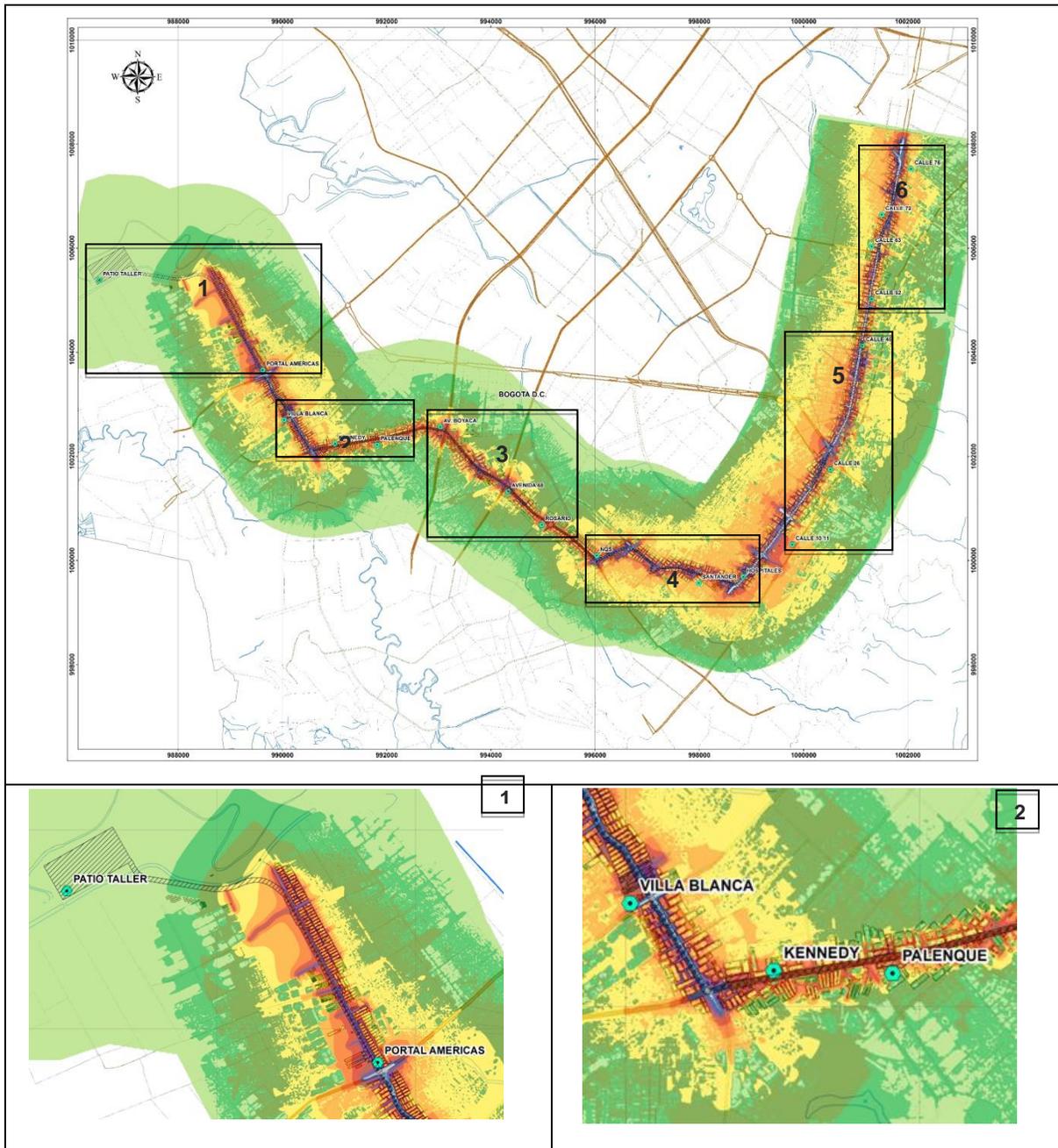
5.2.1.21.7.8 Resultados de Modelación

Escenario Línea Base

- Indicador LAeqd

Los resultados del modelo para el período diurno (incluyendo ordinarios y dominicales) en el escenario I, muestran valores desde 35 dB (A) hasta 80.1 dB (A) dentro de la vía de la PLMB. en los puntos denominados Portal de las Américas y NQS hasta la calle 76 se presenta un incremento en los aportes de ruido desde los 75 dB (A) hasta los mayores o iguales a 80.1 dB (A).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



LÍNEA BASE
 REV.4.04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

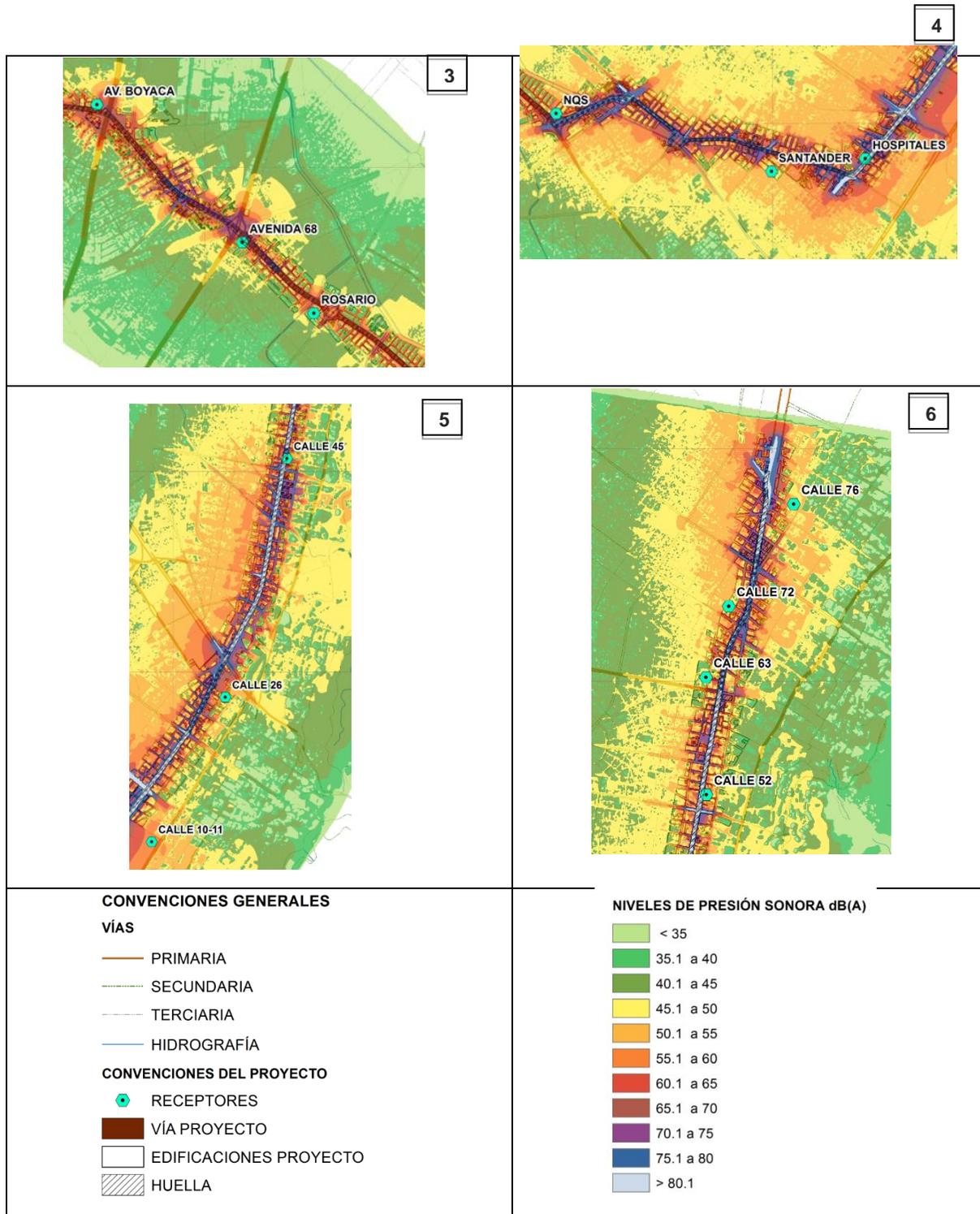


Figura 5.2.1-366 Isófona diurna escenario línea base

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

A continuación, se muestran resultados de la modelación del horario diurno para el escenario de línea base. Se puede evidenciar un nivel máximo en el punto denominado calle 52 con 80.60 dB (A).

Tabla 5.2.1-272 Aportes modelación línea base (LAeqd)

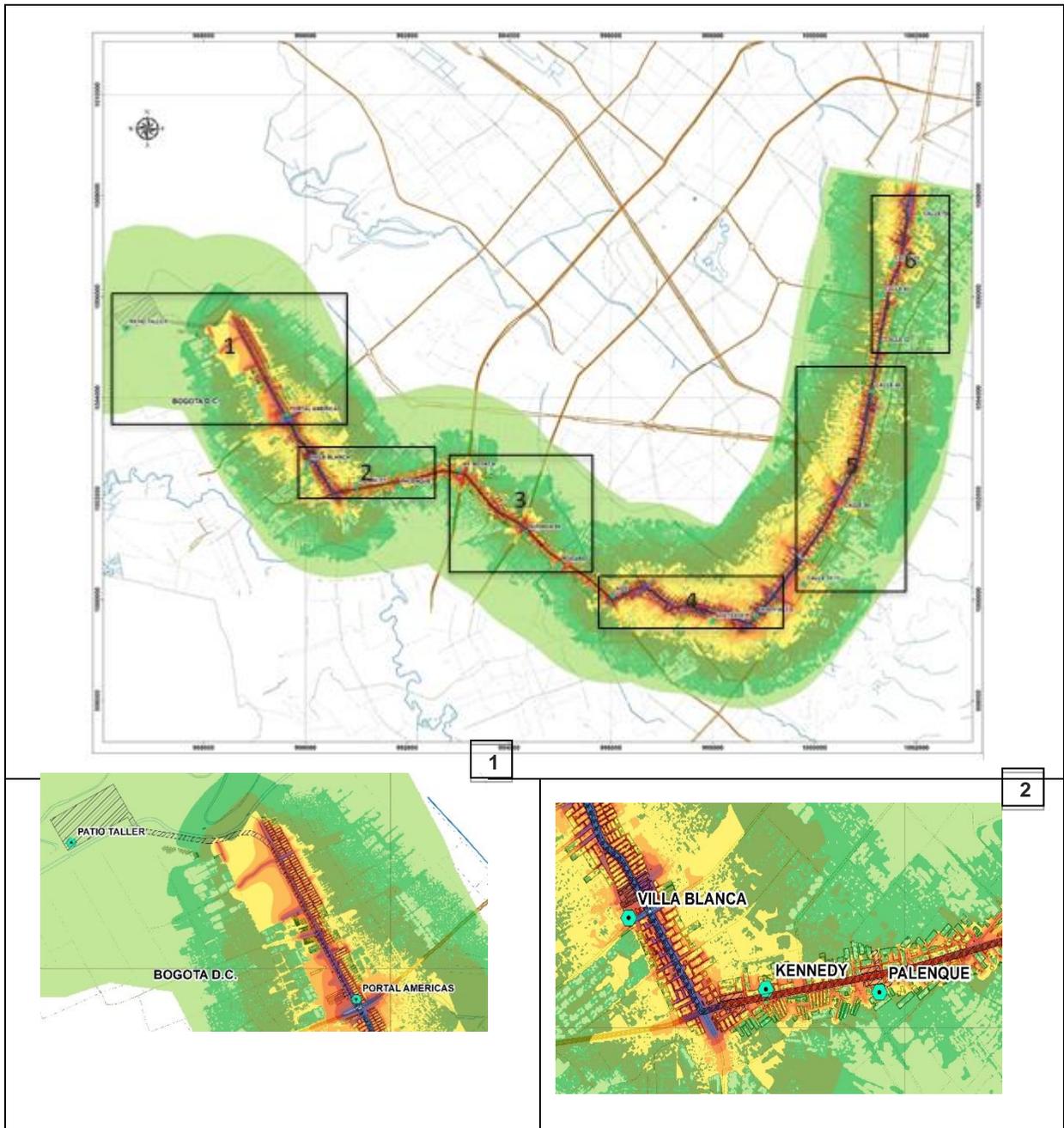
Puntos	Aportes modelo línea base (dB A) LAeqd
P1_ Patio-Taller	12,50
P2_ Portal América	74,90
P3_ Villablanca	71,70
P4_ Kennedy	61,30
P5_ Palenque	56,20
P6_ Av, Boyacá	57,80
P7_ Av, 68	54,10
P8_ Rosario	55,50
P9_ NQS	64,60
P10_ Santander	56,30
P11_ Hospitales	78,60
P12_ Calle10-11	60,20
P13_ Calle26	63,30
P14_ Calle45	74,70
P15_ Calle52	80,60
P16_ Calle63	42,80
P17_ Calle72	55,50
P18_ Calle76	54,90

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

- Indicador LAeqn

Los resultados del modelo para el período nocturno muestran que los niveles de presión sonora son menores de 75 dB(A) exceptuando la vía junto al Portal Américas y las calles 10 y 11 en los cuales se presentaron valores más altos hasta de 80.1 dB(A).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



LÍNEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

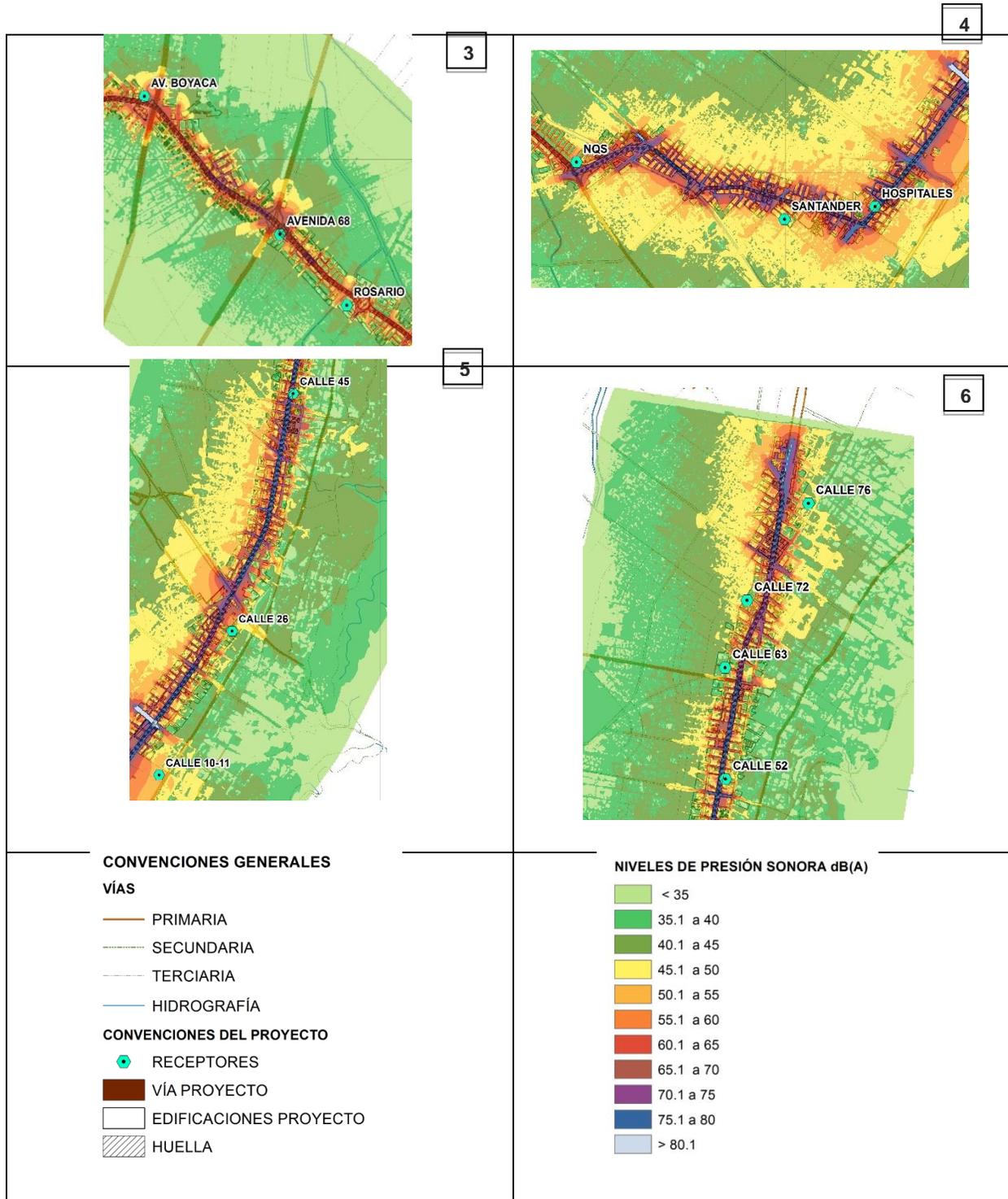


Figura 5.2.1-367 Isófona nocturna escenario línea base
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Tabla 5.2.1-273 se presentan los resultados de la modelación del escenario nocturno, en la cual se evidencia niveles más altos en los receptores identificados como calle 52 y hospitales con niveles de 75,40 dB (A) y 73,90 dB (A), respectivamente.

Tabla 5.2.1-273 Aportes modelación línea base LAeqn

Puntos	Aportes modelo línea base (dB A) LAeqn
P1_ Patio-Taller	12,3
P2_Portal América	72,8
P3_Villablanca	70
P4_Kennedy	59,1
P5_Palenque	52,5
P6_Av, Boyacá	54,4
P7_Av, 68	50,6
P8_Rosario	51,9
P9_NQS	60,9
P10_Santander	57,1
P11_Hospitales	73,9
P12_Calle10-11	55,2
P13_Calle26	58,6
P14_Calle45	69,4
P15_Calle52	75,4
P16_Calle63	37,4
P17_Calle72	50,3
P18_Calle76	49,8

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Escenario de Construcción

El análisis de los siguientes indicadores se realizó teniendo en cuenta los estándares máximos permisibles para garantizar tranquilidad y ruido moderado (emisión de ruido) en el entorno, establecido según resolución 0627 de 7 de abril de 2006. Los resultados de la simulación se presentan en esta sección. Los niveles de ruido que corresponden a este escenario incluyen los aportes de la construcción del proyecto más la línea base. Es de resaltar que el modelo se desarrolló considerando todas las actividades constructivas en el periodo diurno.

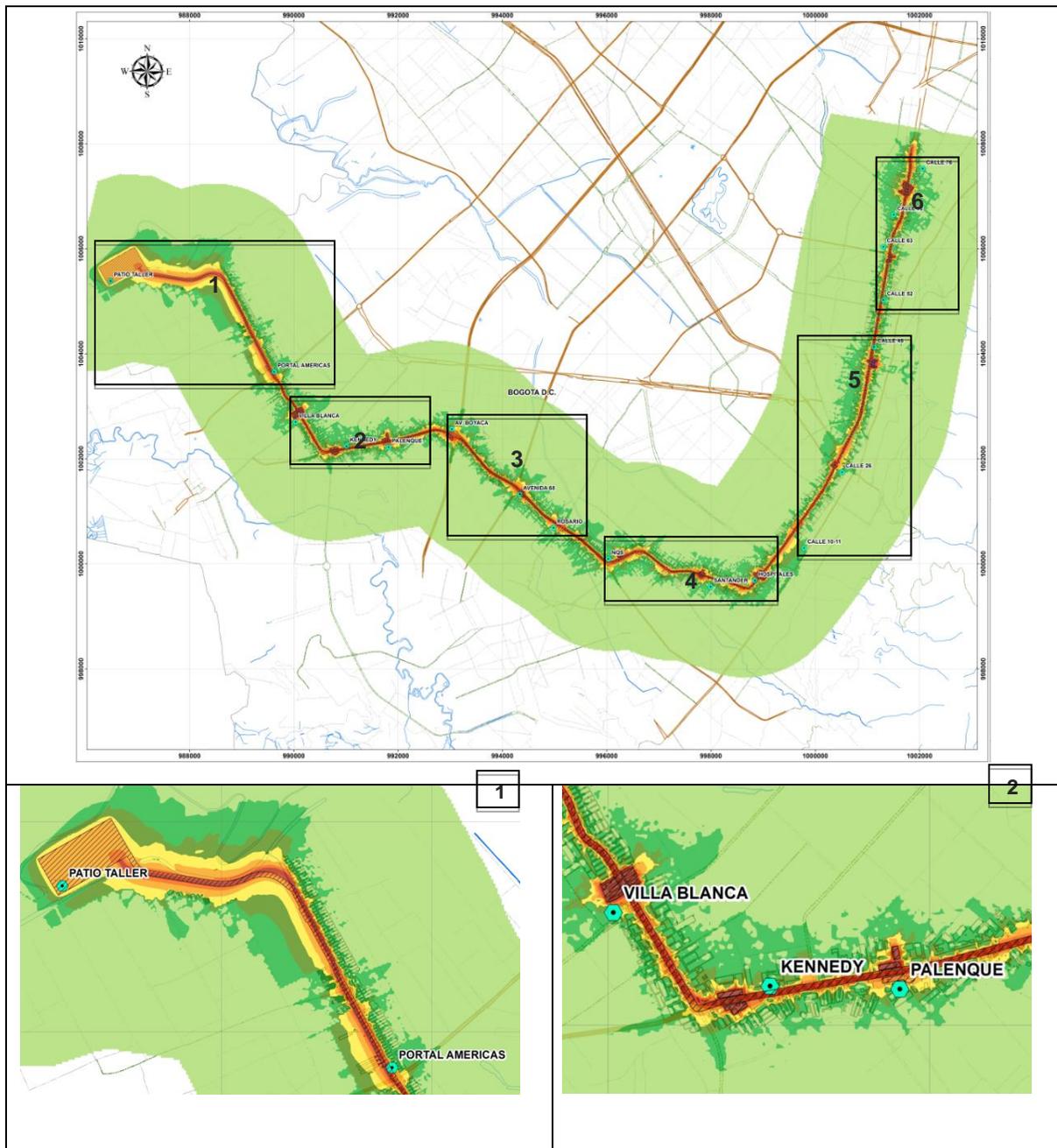
Aportes de Construcción

- Indicador LAeqd.

Los resultados del modelo para el período diurno muestran los niveles de presión sonora que se podrían presentar en un rango desde 35 dB(A) hasta 75 dB(A). Los valores más altos se presentarían junto a la calle 45 con carrera 14. En general dentro del área de influencia, los aportes de presión sonora más altos se podrían presentar sobre la vía en la que se llevará a cabo el proyecto. En la siguiente figura se presenta la propagación de ruido LAeqd de este escenario

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

donde se puede observar la huella acústica que se puede presentar con las actividades planteadas a realizar



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

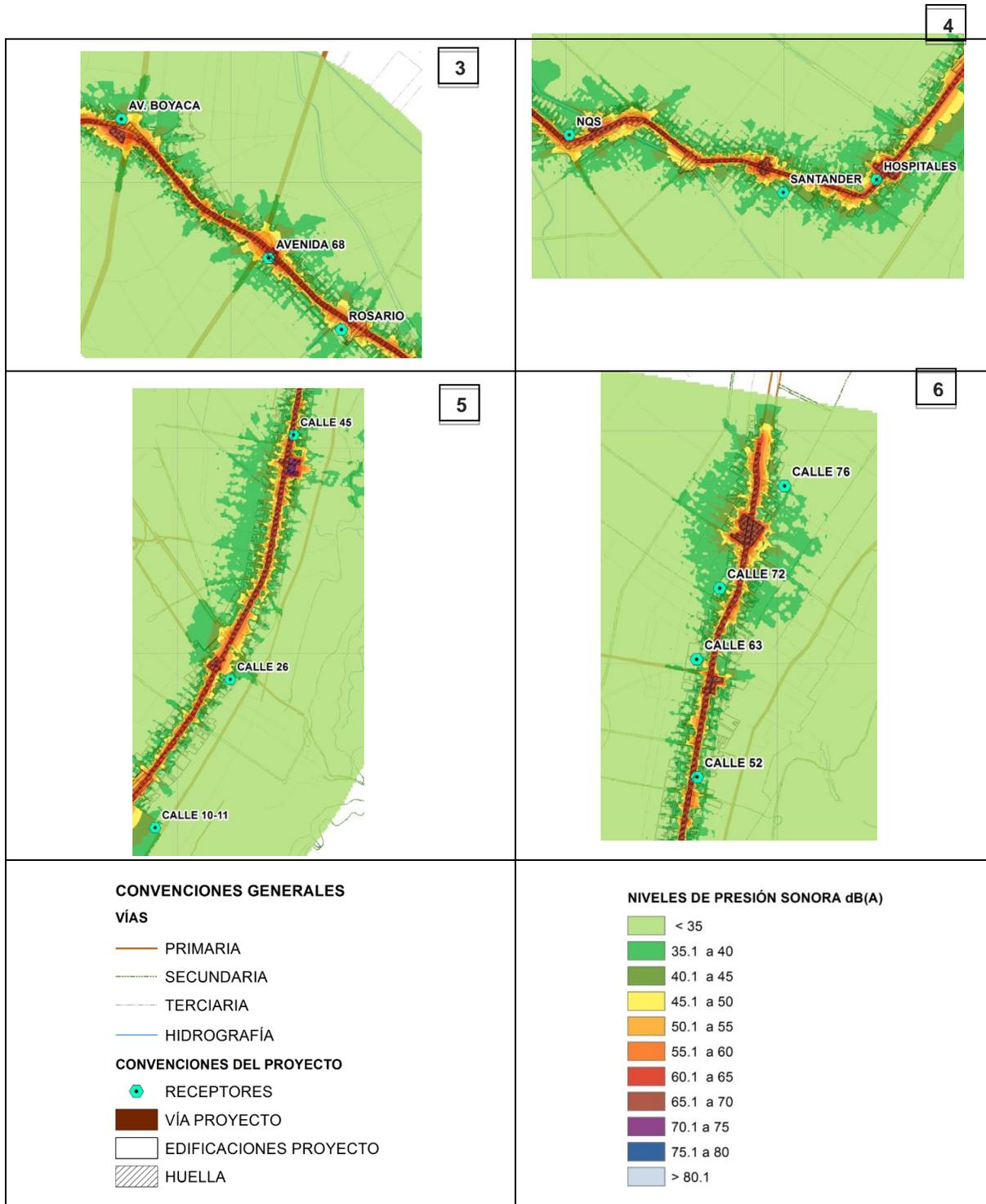


Figura 5.2.1-368 Isófona diurna escenario construcción proyecto
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

De acuerdo con los aportes de modelación presentados en la Tabla 5.2.1-274 se puede evidenciar niveles máximos hasta de 64.5 dB (A) que se presentarían durante el escenario de construcción especialmente en el punto identificado como Calle 52.

Tabla 5.2.1-274 Aportes modelación escenario construcción LAeqd

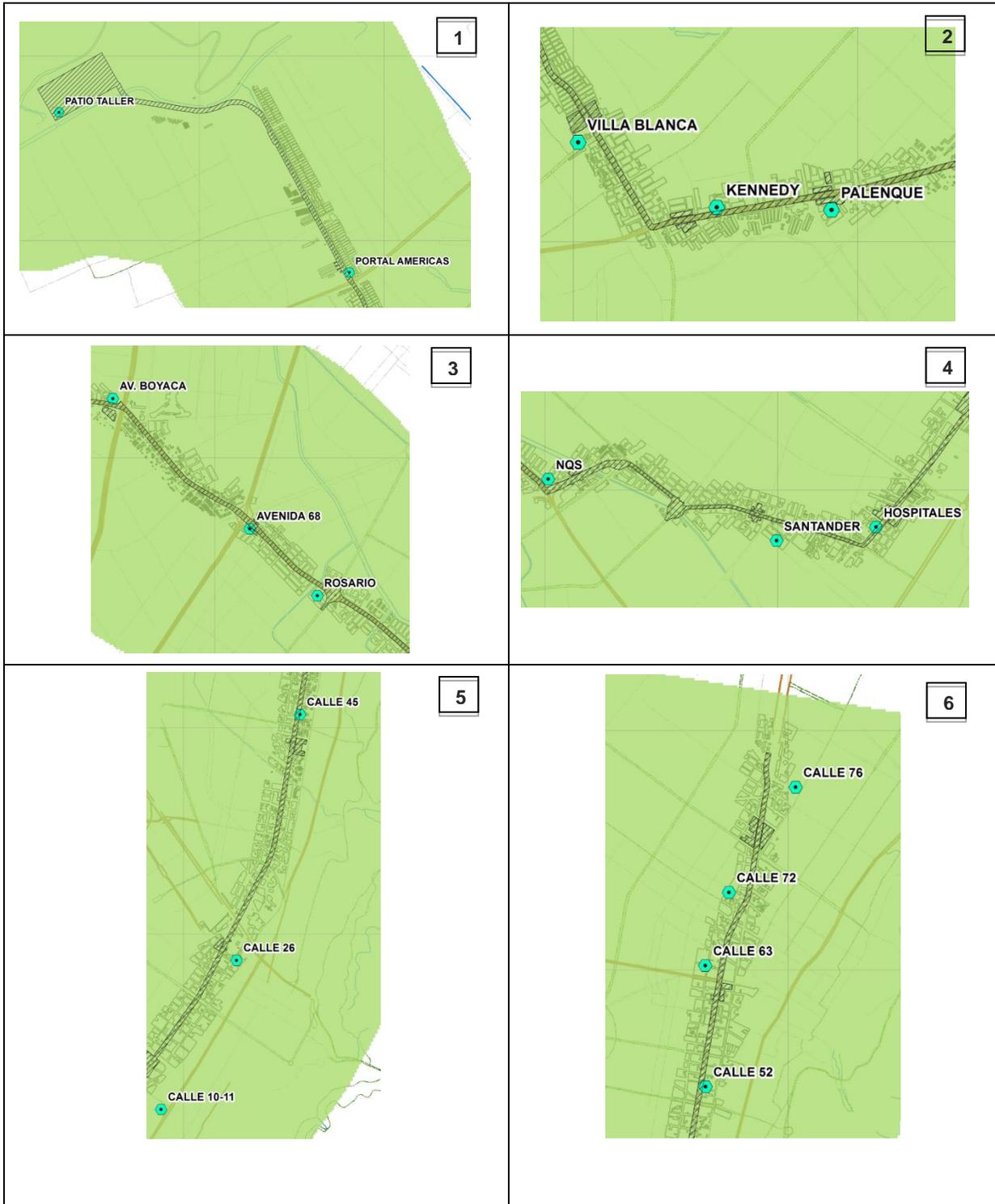
Puntos	Aportes modelo construcción [dB (A)] LAeqd
P1_ Patio-Taller	54,1
P2_Portal América	54,7
P3_Villablanca	58,6
P4_Kennedy	42,5
P5_Palенque	44,5
P6_Av, Boyacá	39
P7_Av, 68	44,9
P8_Rosario	43
P9_NQS	42,7
P10_Santander	37,5
P11_Hospitales	59,1
P12_Calle10-11	39,7
P13_Calle26	42,2
P14_Calle45	60,4
P15_Calle52	64,5
P16_Calle63	26
P17_Calle72	38,6
P18_Calle76	35,2

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

- Indicador LAeqn.

En la Figura 5.2.1-369 se muestra la propagación de ruido nocturna que se puede dar en el tiempo que se realice la construcción del proyecto. Los niveles de presión sonora que se podrían presentar alrededor del área del proyecto estarían por debajo de los 35 dB(A). Es de resaltar que en el modelo se consideraron todas las actividades constructivas en el periodo diurno.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



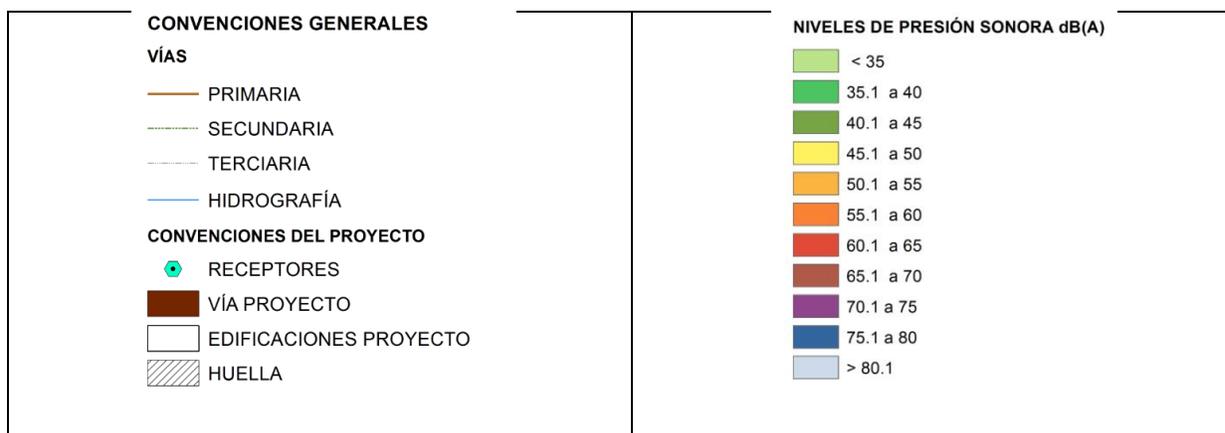


Figura 5.2.1-369 Isófona nocturna escenario construcción proyecto
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Tabla 5.2.1-275 se presentan los aportes de ruido durante el horario nocturno los cuales son iguales a 0 dB(A), teniendo en cuenta que se consideró un límite de horario para el proceso de construcción correspondiente a la jornada diurna basados en lo estipulado por la resolución 0627 de 2006.

Tabla 5.2.1-275 Aportes modelación escenario construcción LAeqd

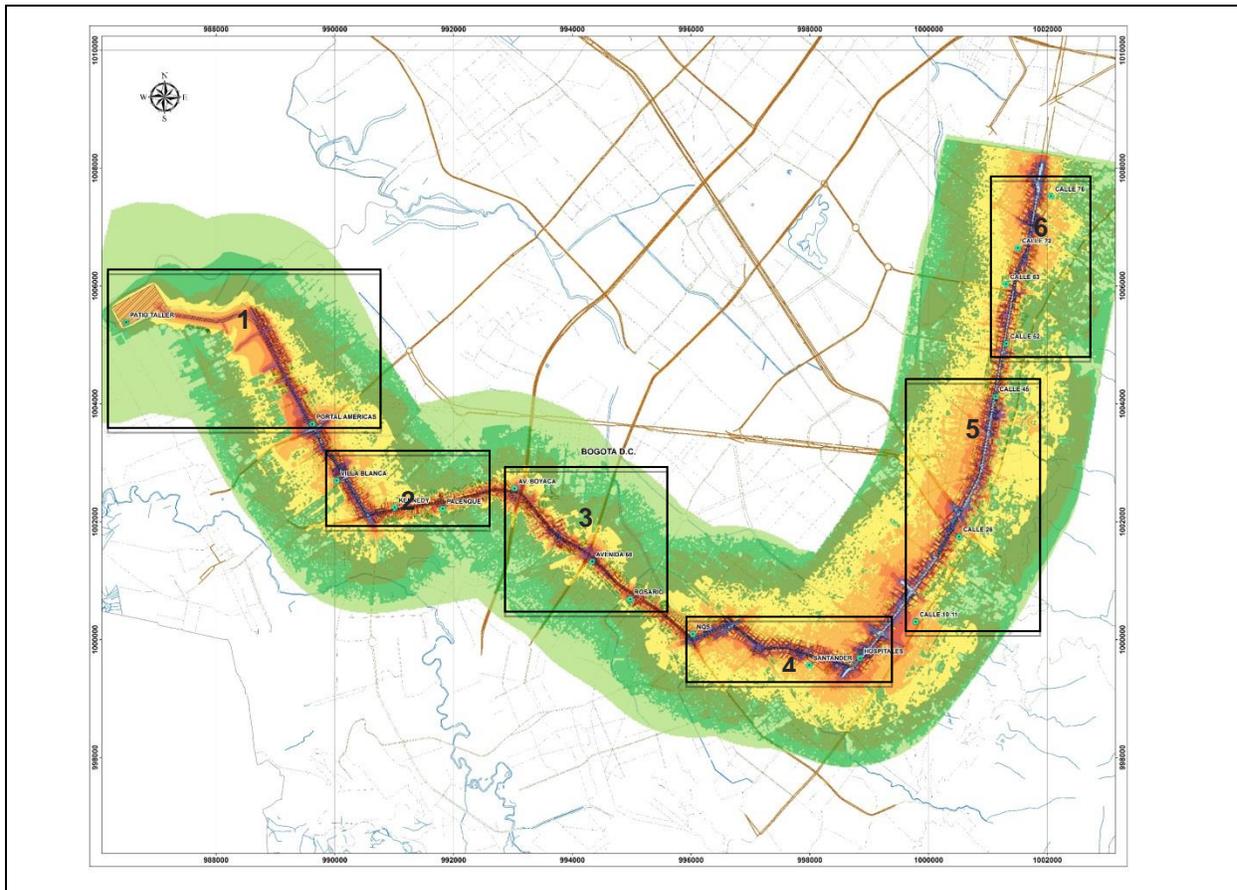
Puntos	Aportes modelo construcción [dB (A)] LAeqn
P1_ Patio-Taller	0
P2_Portal América	0
P3_Villablanca	0
P4_Kennedy	0
P5_Palénque	0
P6_Av, Boyacá	0
P7_Av, 68	0
P8_Rosario	0
P9_NQS	0
P10_Santander	0
P11_Hospitales	0
P12_Calle10-11	0
P13_Calle26	0
P14_Calle45	0
P15_Calle52	0
P16_Calle63	0
P17_Calle72	0
P18_Calle76	0

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

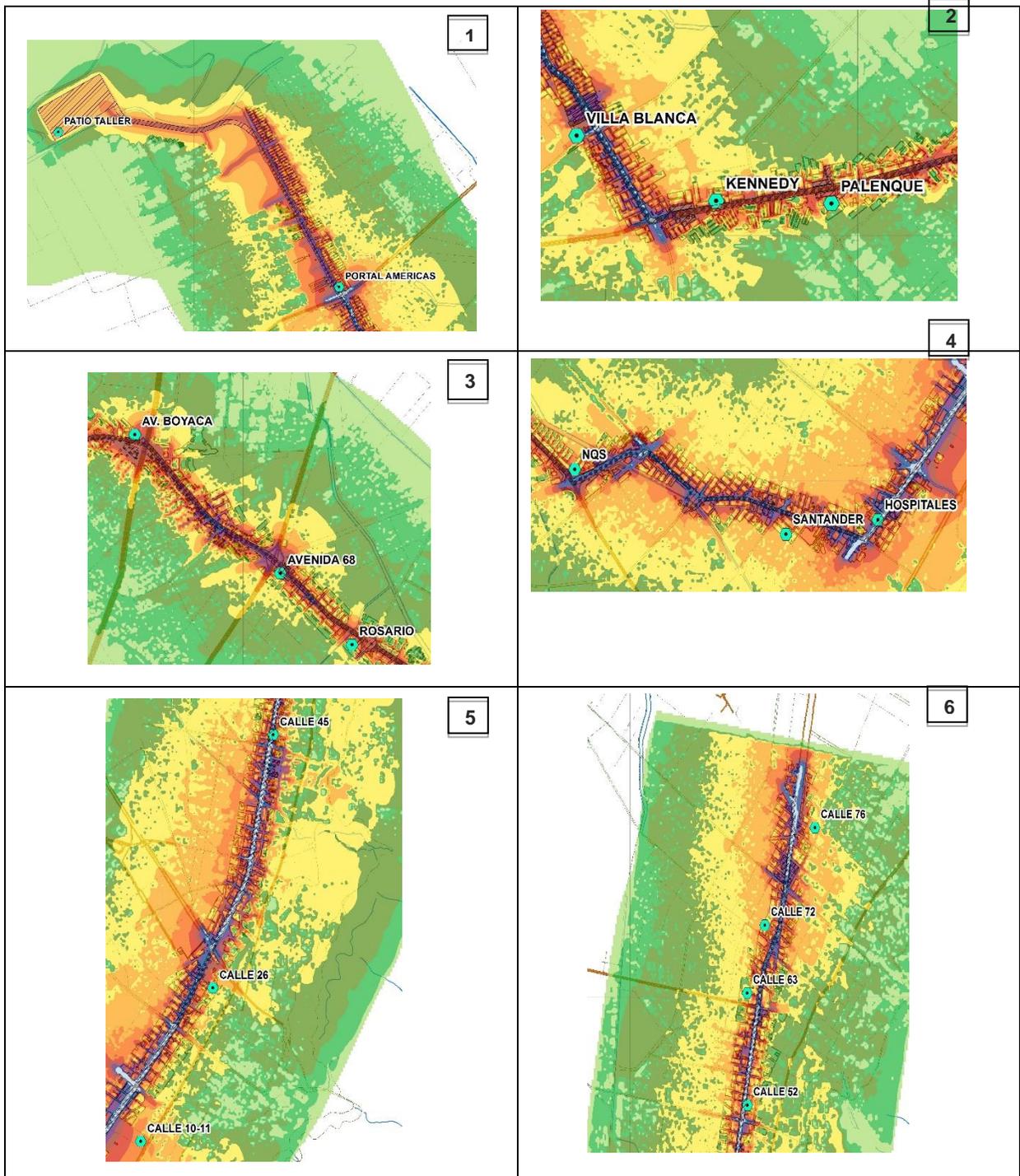
Aportes de Construcción Más La Línea Base

- Indicador LAeqd

Los resultados del modelo para el período diurno muestran niveles de presión sonora que se presentarían entre 35 dB(A) hasta 80,1 dB(A). Los valores más altos se presentan junto a la zona denominada Hospitales y por la vía de la calle 72. En general dentro del área de influencia, los aportes de presión sonora más altos se podrían presentar sobre la vía en la que se llevará a cabo el proyecto (Ver Figura 5.2.1-370).



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



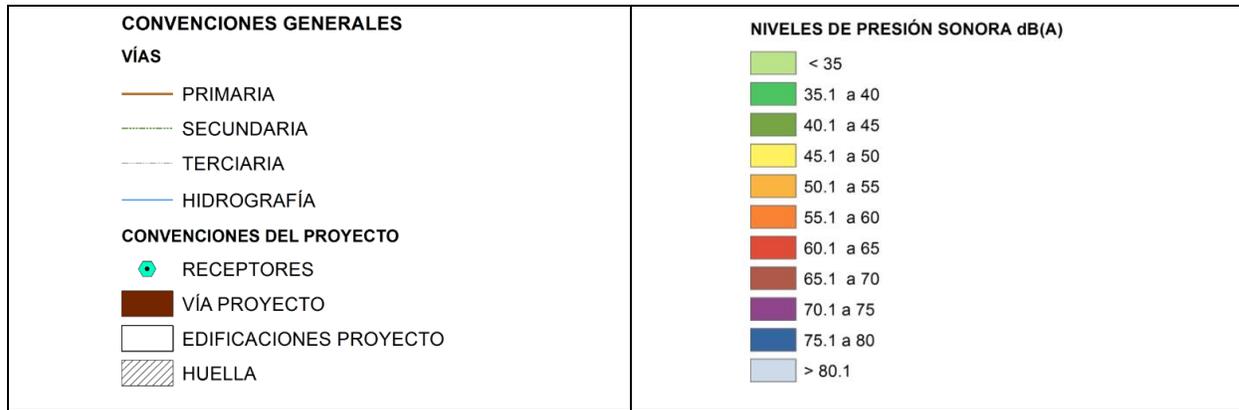


Figura 5.2.1-370 Isófona diurna escenario construcción proyecto + línea base
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Tabla 5.2.1-276 se presentan los resultados de la modelación realizada para el periodo diurno, teniendo en cuenta el proceso de construcción que se realizará y la línea base planteada anteriormente. De estos niveles se resalta el punto de la calle 52 en el cual se presentaría el nivel de aporte más alto con 85,50 dB(A).

Tabla 5.2.1-276 Aportes modelación escenario construcción + línea base LAeqn

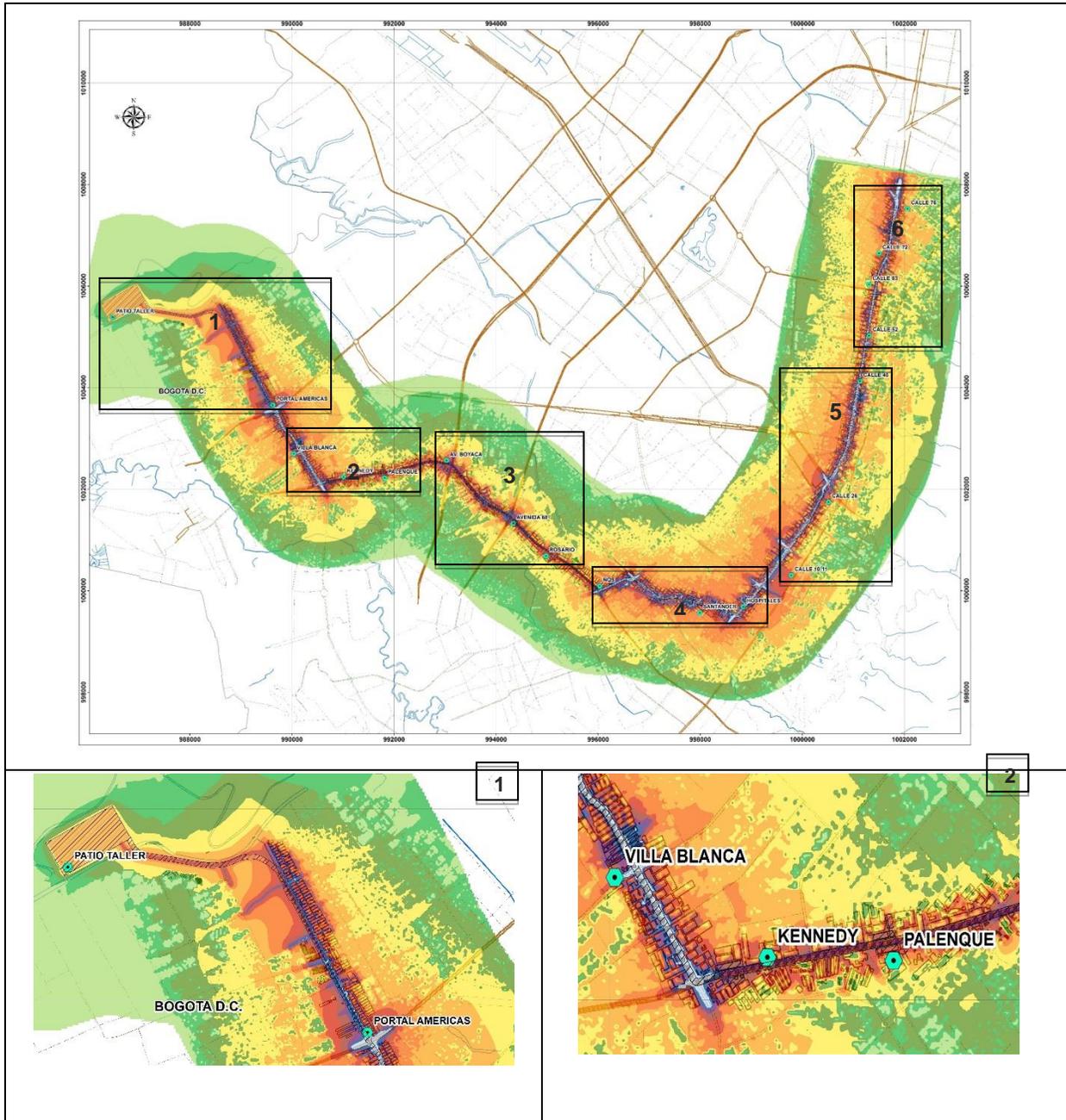
Puntos	Aportes modelo construcción + línea base [dB (A)] LAeqd
P1_ Patio-Taller	54,1
P2_Portal América	75
P3_Villablanca	76
P4_Kennedy	73,8
P5_Palенque	69,6
P6_Av, Boyacá	74,6
P7_Av, 68	67,6
P8_Rosario	67,8
P9_NQS	71,2
P10_Santander	67,1
P11_Hospitales	83,1
P12_Calle10-11	63,9
P13_Calle26	69
P14_Calle45	81,2
P15_Calle52	85,5
P16_Calle63	47,4
P17_Calle72	61,2
P18_Calle76	57,8

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

- Indicador LAeqn

En la Figura 5.2.1-371 se muestra la propagación de ruido nocturna que se puede dar en el tiempo que se realice la construcción del proyecto. Los niveles de presión sonora que se podrían presentar alrededor del área del proyecto serían de hasta 80,1 dB(A). Teniendo en cuenta los aportes de ruido de la construcción más la línea base en el periodo diurno, los aportes del periodo nocturno no serán mayores en especial por los tramos del punto denominado Villa Blanca, Hospitales, calle 26 y calle 72.



LÍNEA BASE
REV.4,04-06-2019
ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

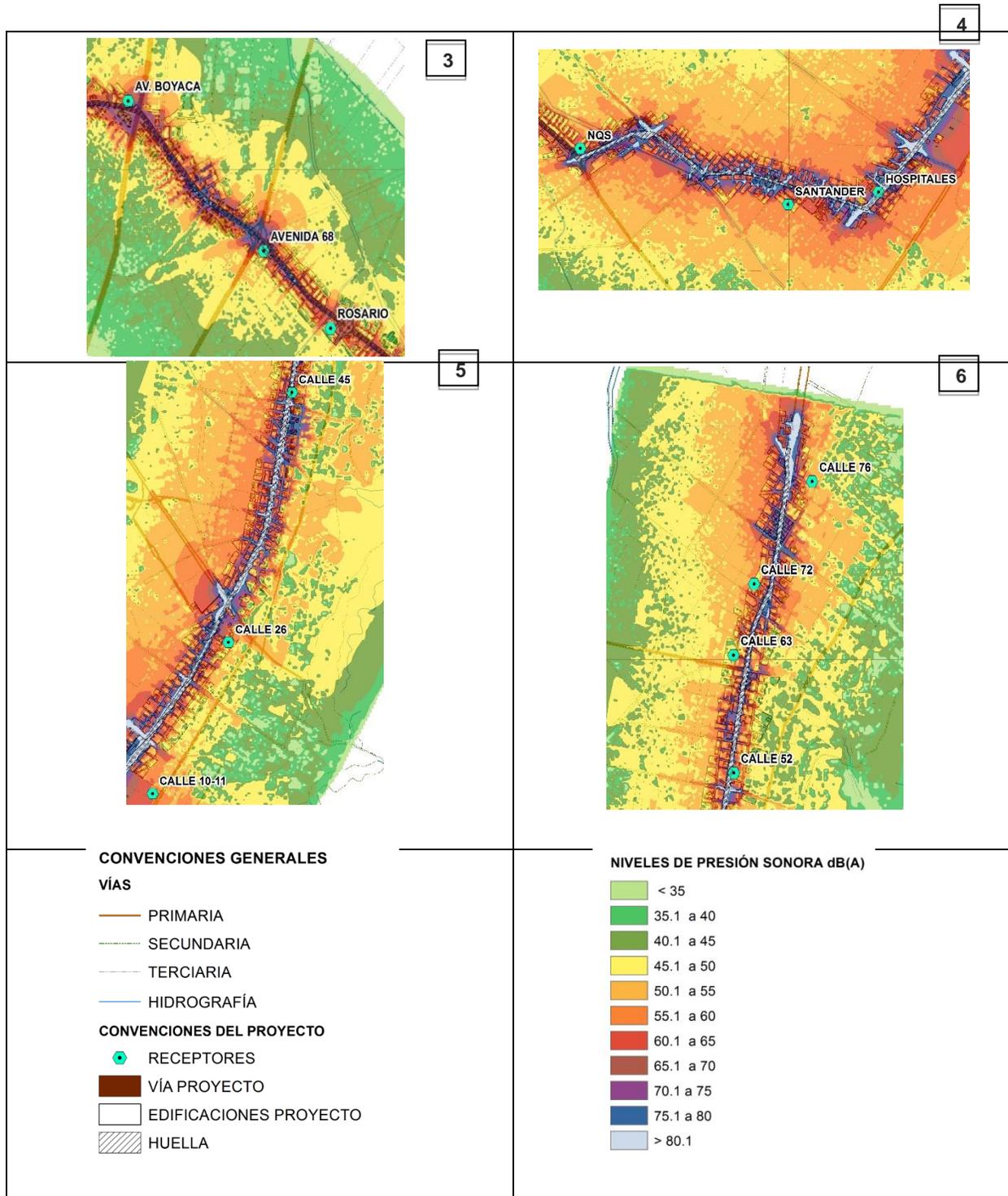


Figura 5.2.1-371 Isófona nocturna escenario construcción proyecto + línea base
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

A continuación, se muestran los aportes de presión sonora durante el periodo nocturno. En este escenario los niveles resultantes se presentarían entre 12,30 dB (A) hasta 80,20 dB (A) en la zona de la calle 52.

Tabla 5.2.1-277 Aportes modelación escenario construcción + línea base LAeqd

Puntos	Aportes modelo construcción+ línea base [dB (A)] LAeqn
P1_ Patio-Taller	12,3
P2_Portal América	73
P3_Villablanca	74,7
P4_Kennedy	71,5
P5_Palenque	66,8
P6_Av, Boyacá	71,1
P7_Av, 68	64
P8_Rosario	64,1
P9_NQS	67,2
P10_Santander	70,5
P11_Hospitales	78,2
P12_Calle10-11	59,5
P13_Calle26	64
P14_Calle45	75,8
P15_Calle52	80,2
P16_Calle63	41,9
P17_Calle72	55,8
P18_Calle76	52,5

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

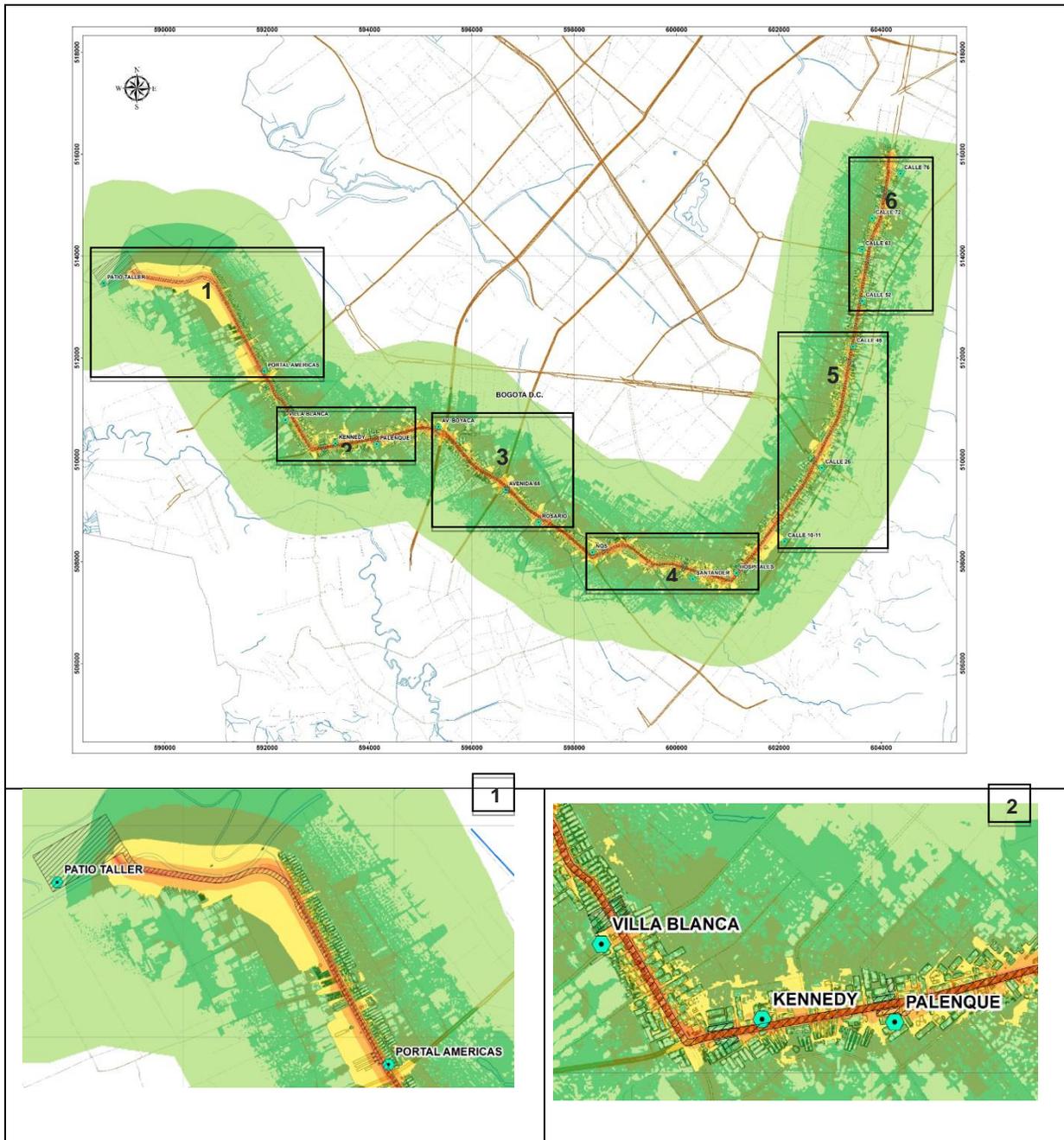
Escenario operación de proyecto

Aportes de Operación del Metro

- Indicador LAeqd

Durante la etapa de operación del metro se presentarían niveles de ruido hasta de 65 dB (A) sobre el trayecto vial que comprende el proyecto. En la Figura 5.2.1-372 se muestra la propagación de ruido del periodo LAeqd con operación del metro en la ciudad de Bogotá. Teniendo en cuenta que el modelo se desarrolló simulando una emisión correspondiente al tren de referencia NMPB Fer, la propagación del ruido obtenida en el modelo corresponde al aporte resultante de la operación del proyecto sin medidas de mitigación asociadas al diseño de la PLMB. Adicionalmente, este escenario se desarrolló con la proyección del tráfico vehicular en la zona de estudio, obtenida a partir de la tasa promedio de crecimiento de Bogotá.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



LINEA BASE
 REV.4.04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4

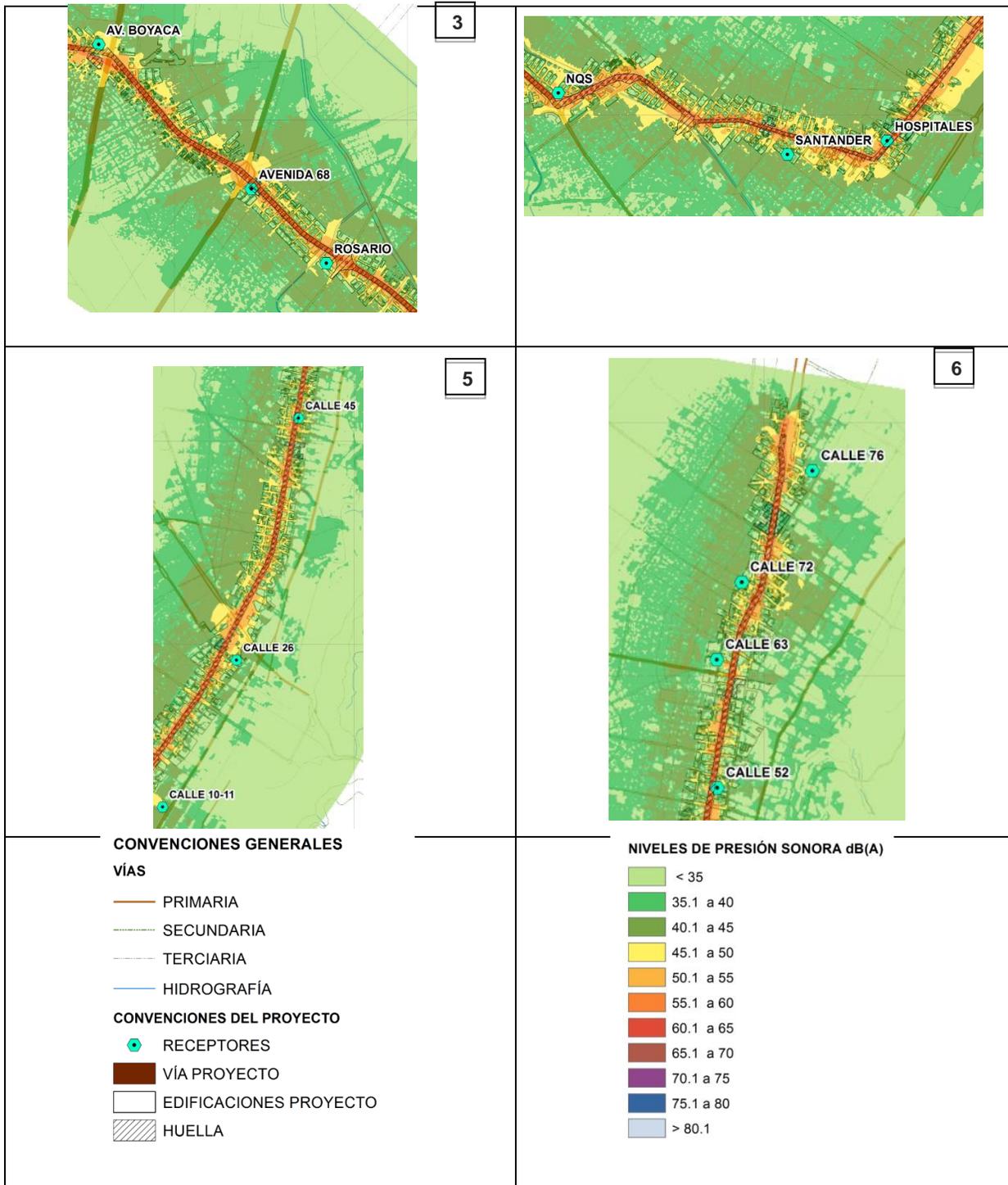


Figura 5.2.1-372 Isófona diurna escenario operación del metro

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Durante el escenario de operación los niveles de presión sonora comprenderían un rango desde 23.40 dB(A) hasta 59.30 dB(A), siendo este el punto en el cual se presentarían los mayores aportes por parte de la operación del metro.

Tabla 5.2.1-278 Aportes modelación escenario operación LAeqn

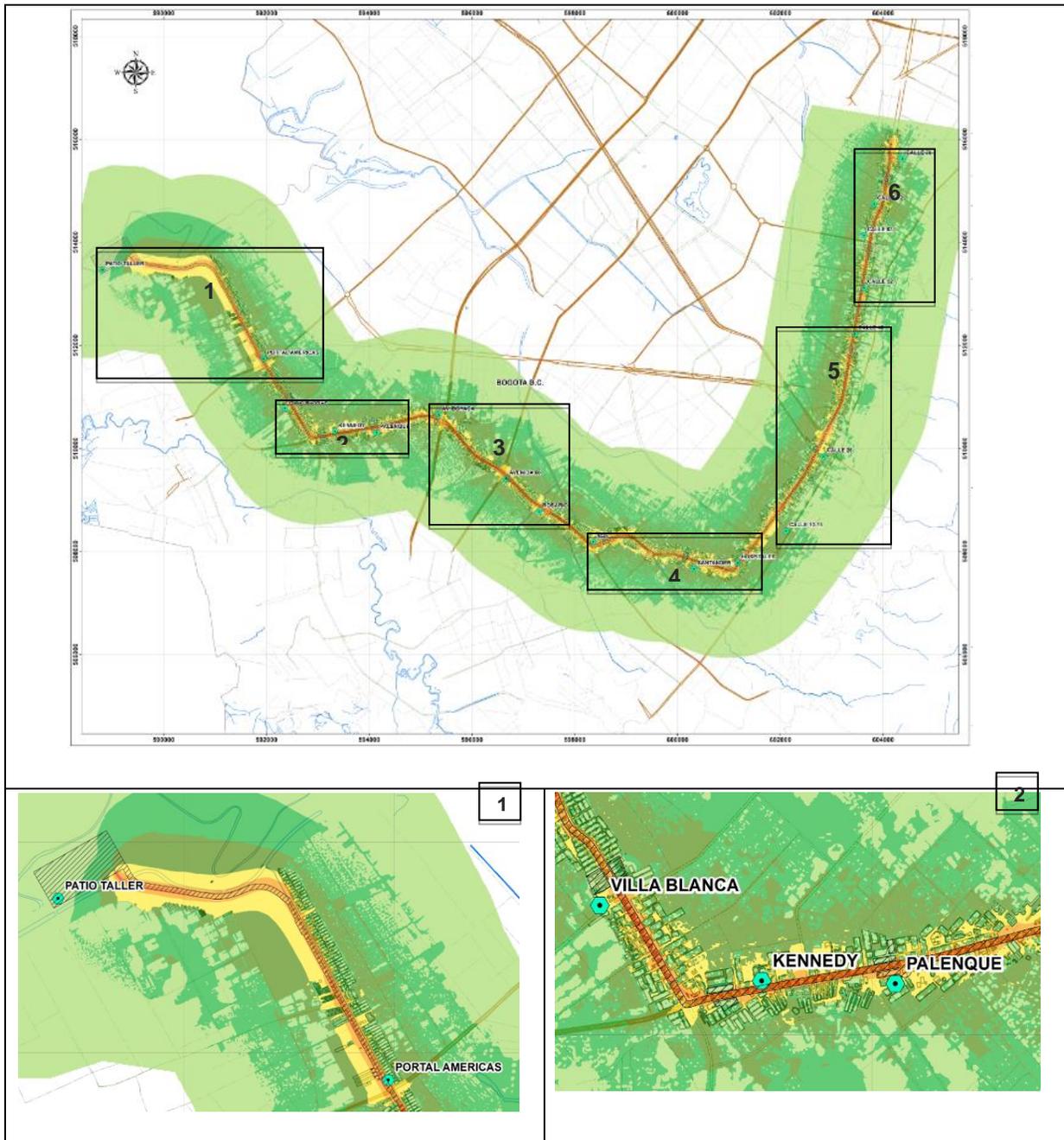
Puntos	Aportes modelo operación [dB (A)] LAeqd
P1_ Patio-Taller	34,20
P2_ Portal América	52,30
P3_ Villablanca	56,20
P4_ Kennedy	50,30
P5_ Palenque	48,70
P6_ Av, Boyacá	46,00
P7_ Av, 68	39,90
P8_ Rosario	47,10
P9_ NQS	50,40
P10_ Santander	45,10
P11_ Hospitales	56,90
P12_ Calle10-11	44,00
P13_ Calle26	45,10
P14_ Calle45	56,60
P15_ Calle52	59,30
P16_ Calle63	23,40
P17_ Calle72	42,40
P18_ Calle76	39,80

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

- Indicador LAeqn

Durante la operación del metro en el periodo nocturno se podrían presentar niveles de ruido entre los 35 dB (A) hasta los 65 dB (A) por las vías estipuladas para su recorrido. En la siguiente figura se presenta el comportamiento de la propagación de ruido del periodo LAeqn donde se puede apreciar el área de influencia mencionada.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



LÍNEA BASE
 REV.4.04-06-2019
 ETPLMB-ET19-L16.5-ITE-I-001_R4



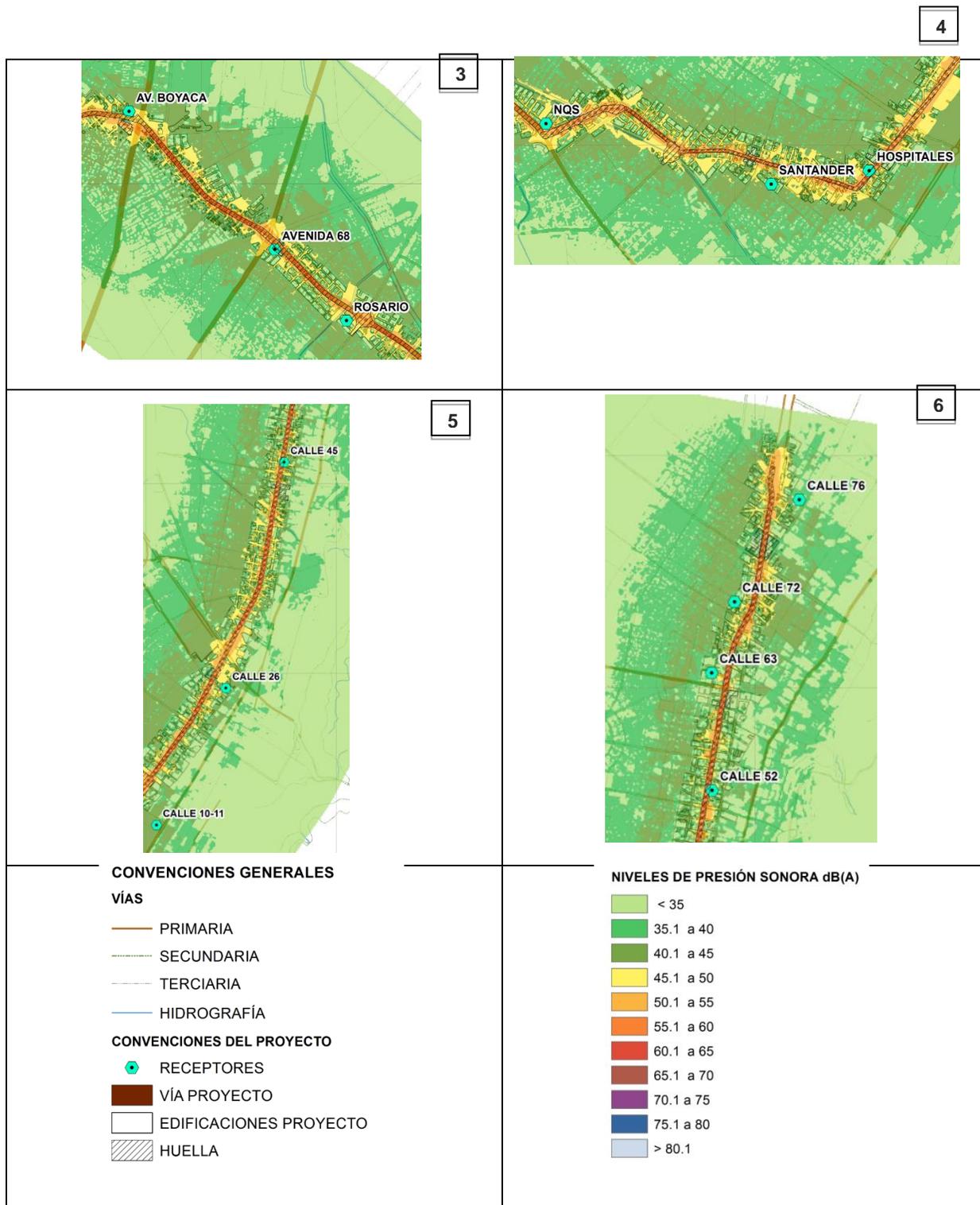


Figura 5.2.1-373 Isófona nocturna escenario operación del metro
 Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los posibles niveles de presión sonora que se generarían por la operación del tren. En la calle 52 se presentaría el nivel más alto con 56.90 dB (A).

Tabla 5.2.1-279 Aportes modelación escenario operación LAeqn

Puntos	Aportes modelo operación [dB (A)] LAeqn
P1_ Patio-Taller	33,1
P2_Portal América	49,9
P3_Villablanca	53,8
P4_Kennedy	48,8
P5_Palenque	47,1
P6_Av, Boyacá	45,2
P7_Av, 68	38,8
P8_Rosario	45,8
P9_NQS	49
P10_Santander	44,4
P11_Hospitales	54,5
P12_Calle10-11	42,2
P13_Calle26	43,6
P14_Calle45	54,2
P15_Calle52	56,9
P16_Calle63	21,4
P17_Calle72	41,8
P18_Calle76	39,4

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Aportes de Operación del Metro Más Línea Base

Indicador LAeqd

En la Tabla 5.2.1-280 se presentan los aportes que se presentarían por la operación del metro junto con la proyección del aforo vehicular para el año 2042. En esta se puede evidenciar un nivel máximo de 85,50 dB (A) sobre la calle 52. Es de resaltar que el modelo se desarrolló simulando una emisión correspondiente al tren de referencia NMPB Fer, por lo cual, la propagación del ruido obtenida en el modelo corresponde al aporte resultante de la operación del proyecto y el ruido emitido por fuentes externas sin medidas de mitigación asociadas al diseño de la PLMB.

Tabla 5.2.1-280 Aportes modelo operación LAeqd

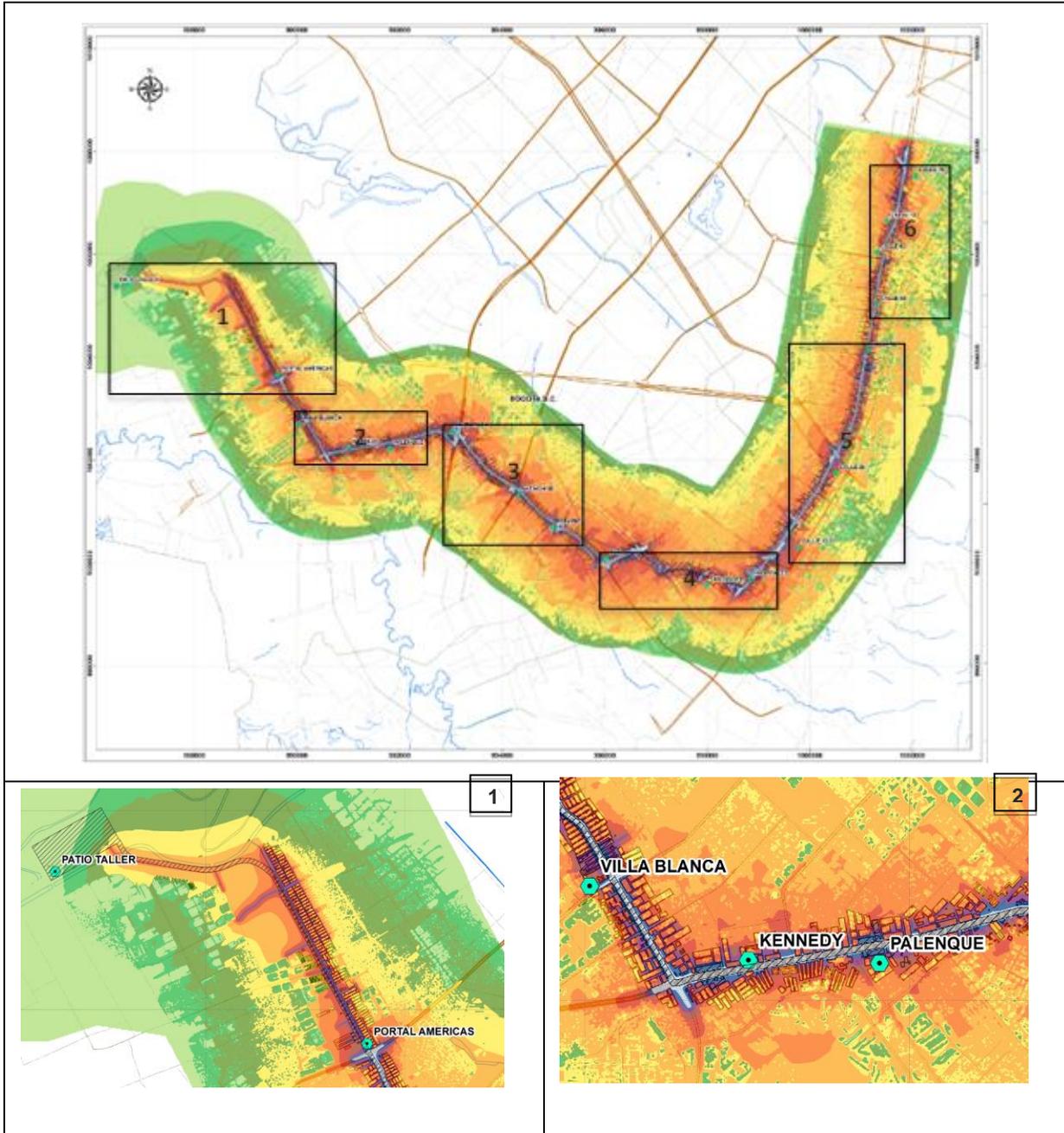
Puntos	Aportes modelo operación [dB (A)] LAeqn
P1_ Patio-Taller	33,1
P2_Portal América	49,9
P3_Villablanca	53,8

Puntos	Aportes modelo operación [dB (A)] LAeqn
P4_Kennedy	48,8
P5_Palenque	47,1
P6_Av, Boyacá	45,2
P7_Av, 68	38,8
P8_Rosario	45,8
P9_NQS	49
P10_Santander	44,4
P11_Hospitales	54,5
P12_Calle10-11	42,2
P13_Calle26	43,6
P14_Calle45	54,2
P15_Calle52	56,9
P16_Calle63	21,4
P17_Calle72	41,8
P18_Calle76	39,4

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

El área de influencia con niveles de ruido mayores a 35 dB (A) hasta 80,1 dB (A) se presentaría en el trayecto vial del metro. Desde el portal de las Américas hasta la calle 72 se generarían los niveles más altos alcanzando los niveles mayores o iguales a los 80,1 dB (A). En la Figura 5.2.1-374 se muestra la propagación de ruido del periodo LAeqd con operación del metro más el aforo vehicular proyectado.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



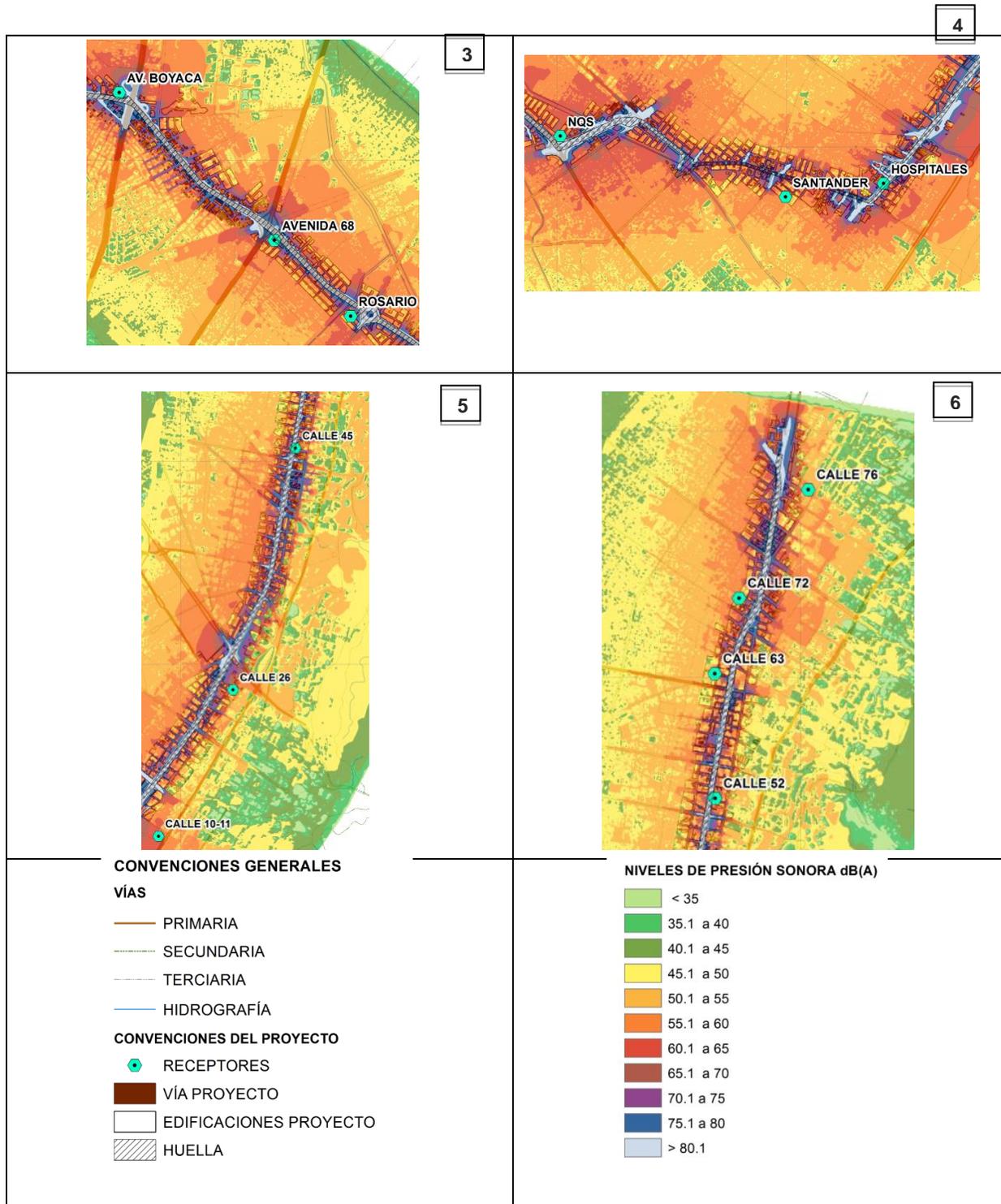


Figura 5.2.1-374 Isófona diurna escenario operación del metro + línea base
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

- Indicador LAeqn

En la tabla se presentan los aportes que generaría la operación del tren en horario nocturno más el aforo vehicular proyectado. Se debe tener en cuenta que el modelo se desarrolló simulando una emisión correspondiente al tren de referencia NMPB Fer, por lo cual, la propagación del ruido obtenida en el modelo corresponde al aporte resultante de la operación del proyecto sin medidas de mitigación asociadas al diseño de la PLMB.

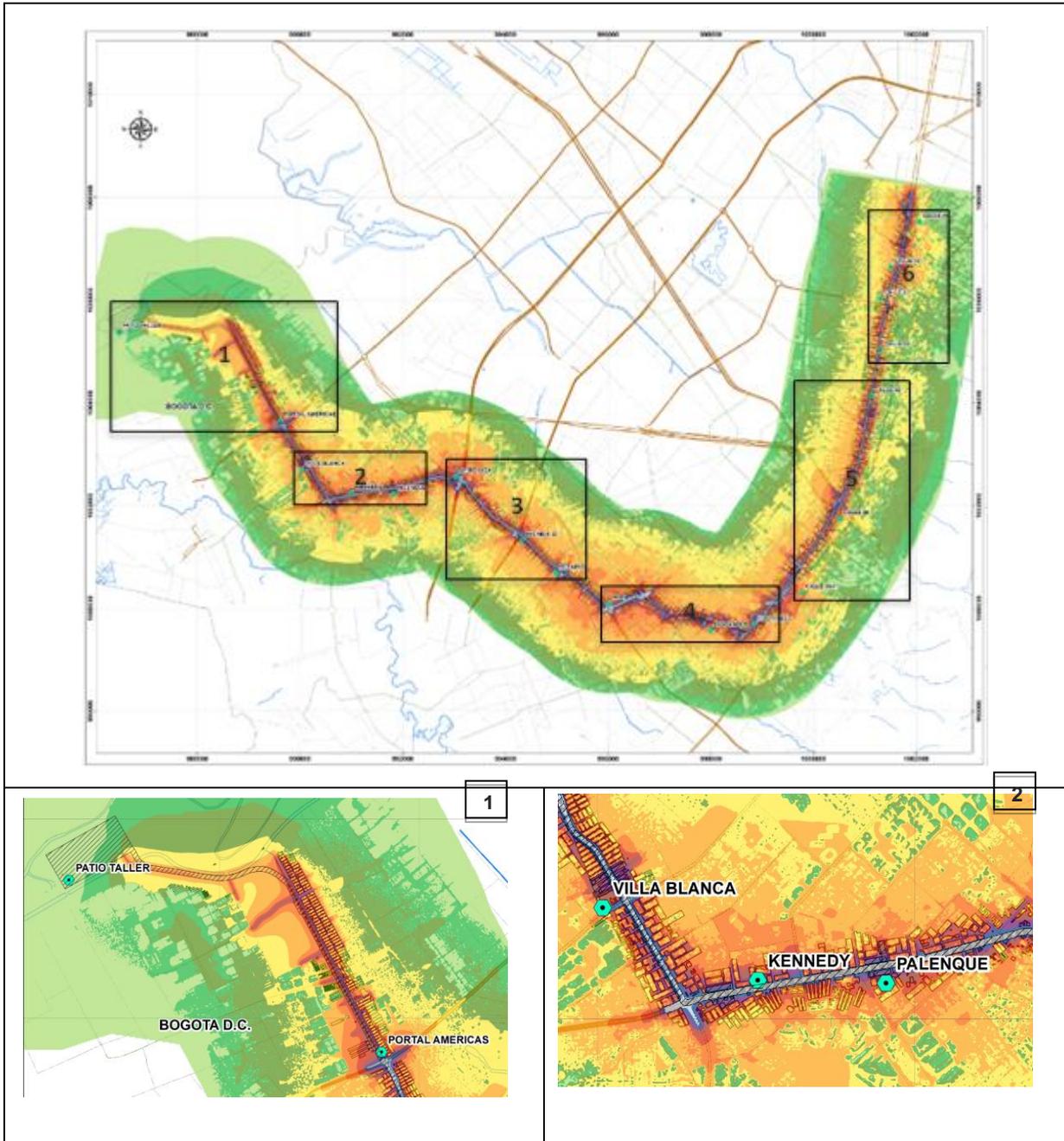
Tabla 5.2.1-281 Aportes modelación escenario operación + línea base (LAeqn)

Puntos	Aportes modelo operación + línea base [dB (A)] LAeqd
P1_ Patio-Taller	34,2
P2_Portal América	75
P3_Villablanca	76
P4_Kennedy	73,8
P5_Palenque	69,6
P6_Av, Boyacá	74,6
P7_Av, 68	67,6
P8_Rosario	67,8
P9_NQS	71,2
P10_Santander	67,1
P11_Hospitales	83,1
P12_Calle10-11	63,9
P13_Calle26	69
P14_Calle45	81,2
P15_Calle52	85,5
P16_Calle63	47,4
P17_Calle72	61,2
P18_Calle76	57,8

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Figura 5.2.1-375 se presenta la propagación de ruido del periodo LAeqn durante la operación del tren más el aforo vehicular proyectado, donde se puede apreciar niveles de presión sonora alrededor de los 35 dB (A) hasta 80,1 dB (A).

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

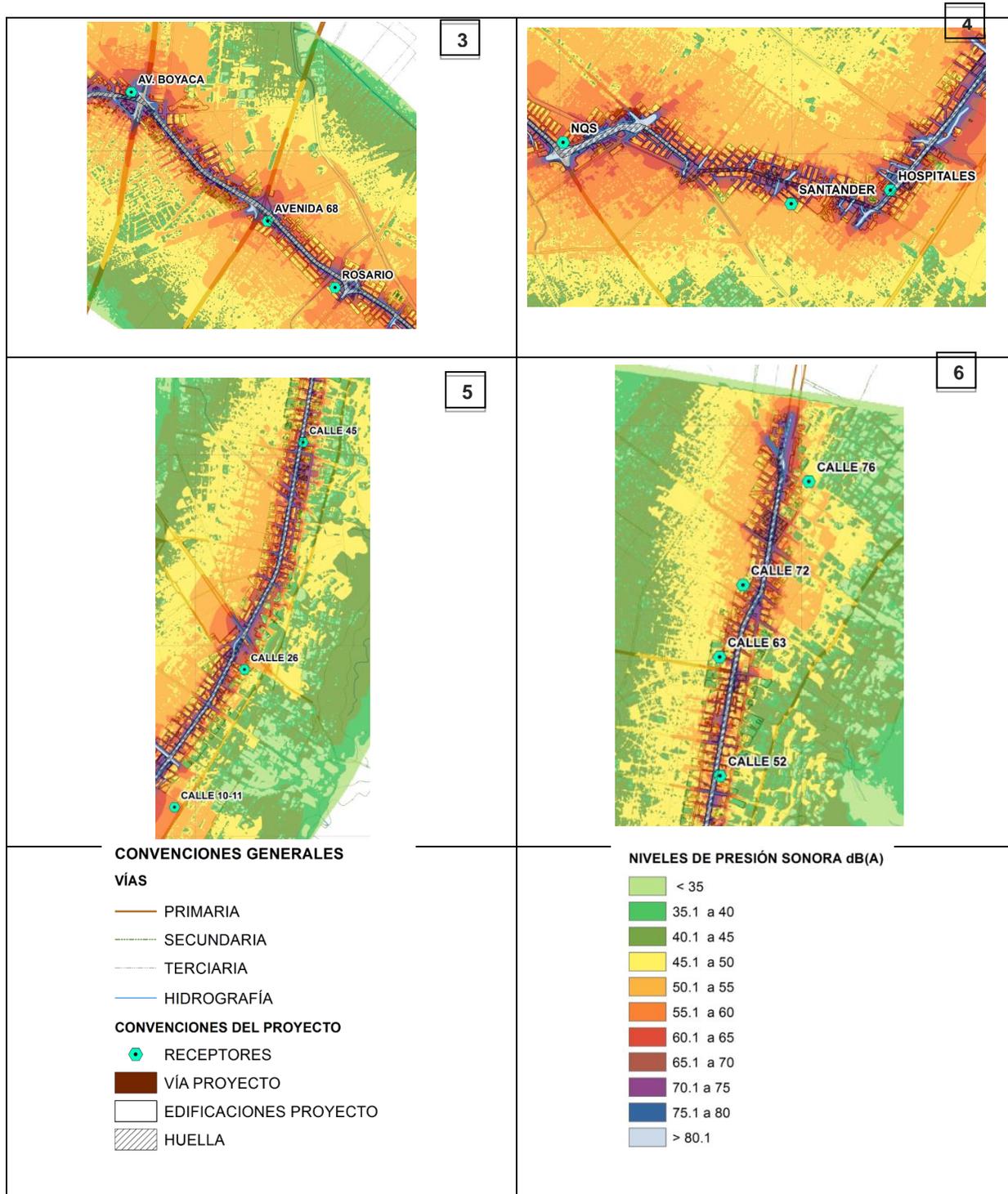


Figura 5.2.1-375 Isófona nocturna escenario operación del metro + línea base

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

5.2.1.21.7.9 Análisis de la tendencia de ruido del metro equidistantes a 15 metros del eje de la primera línea del metro de Bogotá

Los niveles de ruidos que se calcularon a 15 metros del eje del trazado del PLMB, varían en función de la cercanía o lejanía de los obstáculos contemplados en el modelo de cálculo de propagación del sonido. La cercanía de los receptores a estos obstáculos representa la reflexión de los rayos de propagación del ruido lo que incide como un aporte de ruido mayor.

Escenario de Construcción

Indicador LAeq

En la Figura 5.2.1-376 se puede observar el comportamiento de los aportes de ruido que se presentarían alrededor de los 15 metros de lado a lado del trazado de la línea del metro. Los 3 puntos donde se presentan mayores niveles de ruido son los receptores 66 con 68,1 dB (A), 71 con 64,1 dB (A) y 47 con 62,3 dB (A). En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se encuentran las coordenadas (Magna Sirga Bogotá) de cada receptor calculado por el modelo donde se puede detallar la variación de los niveles de ruido sobre el trazado equidistantes a 15 metros.

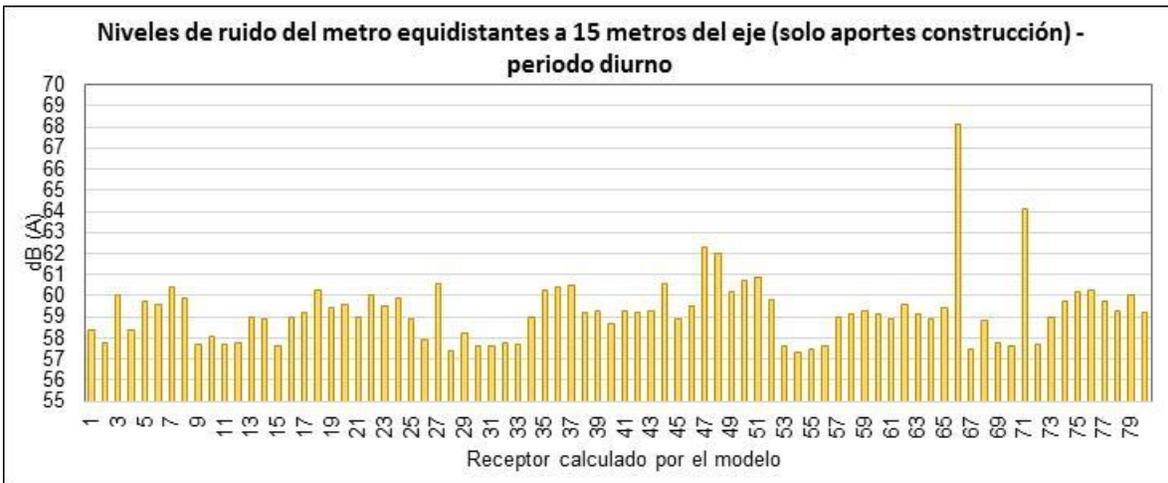


Figura 5.2.1-376 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de construcción) – periodo diurno.

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Escenario de operación

Indicador LAeq

En la Figura 5.2.1-377 se puede observar el comportamiento de los aportes de ruido que se presentarían alrededor de los 15 metros de lado a lado del trazado de la línea del metro. Se evidencia un nivel máximo de 59,2 dB (A) en los receptores 42 y 78 lo cual sería generado por el proceso de reflexión del sonido por los obstáculos, estos puntos se encuentran ubicados cerca de edificaciones. En Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se encuentran las coordenadas (Magna Sirga Bogotá) de cada receptor calculado por el modelo donde se puede detallar la variación de los niveles de ruido sobre el trazado equidistantes a 15 metros.

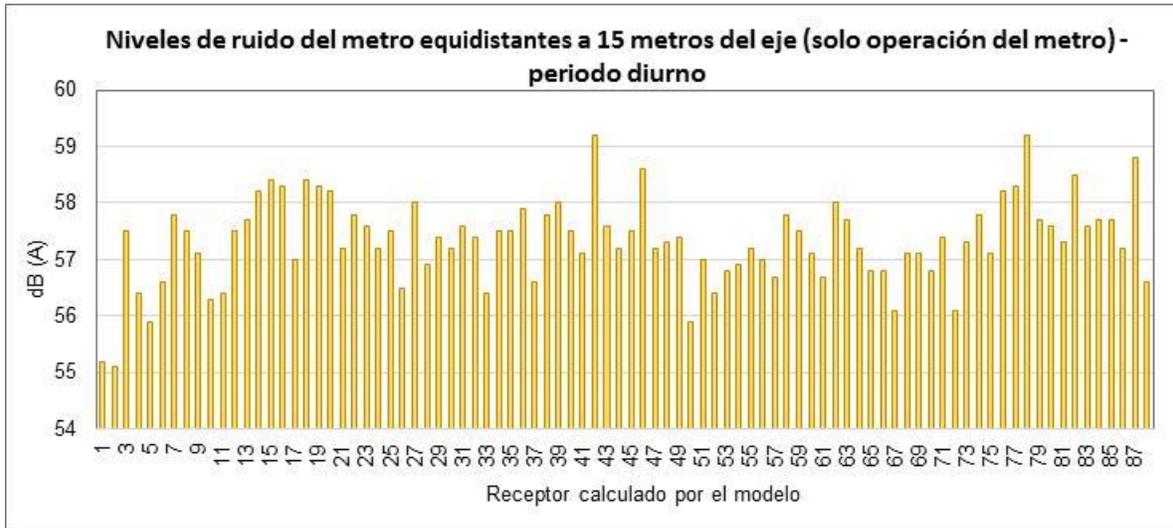


Figura 5.2.1-377 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de operación) – periodo diurno
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

- Indicador LAeqn

En la Figura 5.2.1-378 se presenta el comportamiento de los niveles de ruido que se originarían por la operación del metro a 15 metros equidistantes del trazado de la línea del metro. se logra apreciar que en este periodo no se excede la curva de los 65 dB alcanzando un nivel máximo de 56,8 dB en los receptores 42 y 78. En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se encuentran las coordenadas (Magna Sirga Bogotá) de cada receptor calculado por el modelo donde se puede detallar la variación de los niveles de ruido sobre el trazado equidistantes a 15 metros.

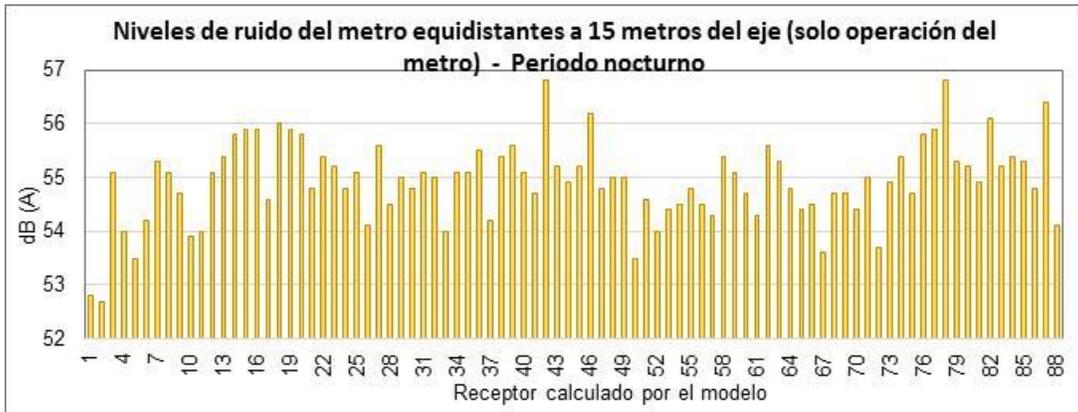


Figura 5.2.1-378 Aportes en los niveles de ruido a 15 metros del eje de la vía (solo aportes de operación) – periodo nocturno.
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

5.2.1.21.7.10 Conflicto de Uso del Suelo

En esta sección se presenta el conflicto de uso del suelo que se puede originar por la puesta en marcha y operación de la primera línea del metro de Bogotá. Este análisis se realizó teniendo en cuenta los umbrales máximos permisibles de la Resolución 0627 del 2006 en contraste con los aportes de cada escenario con el ruido de fondo de otras fuentes, en los cuales los aportes del modelo fueron mayores al ruido ambiental. En el Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental se encuentran detalladas las isófonas que se presentan a continuación.

Escenario de construcción (periodo diurno)

En la Figura 5.2.1-379 presentan las zonas del trazado de la línea del metro en las cuales se presentaría conflicto con el uso del suelo; Se puede observar en mayor proporción una afectación del terreno cerca de los receptores Patio-Taller y Portal Américas.



Figura 5.2.1-379 Isófona diurna considerando el conflicto y uso del suelo - escenario construcción

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Escenario de Operación (Periodo Nocturno]

En la Figura 5.2.1-380 se presenta el terreno que se vería afectado durante el escenario de operación en el periodo nocturno. La zona que presentaría conflicto de uso del suelo estaría entre el receptor Rosario y NQS.

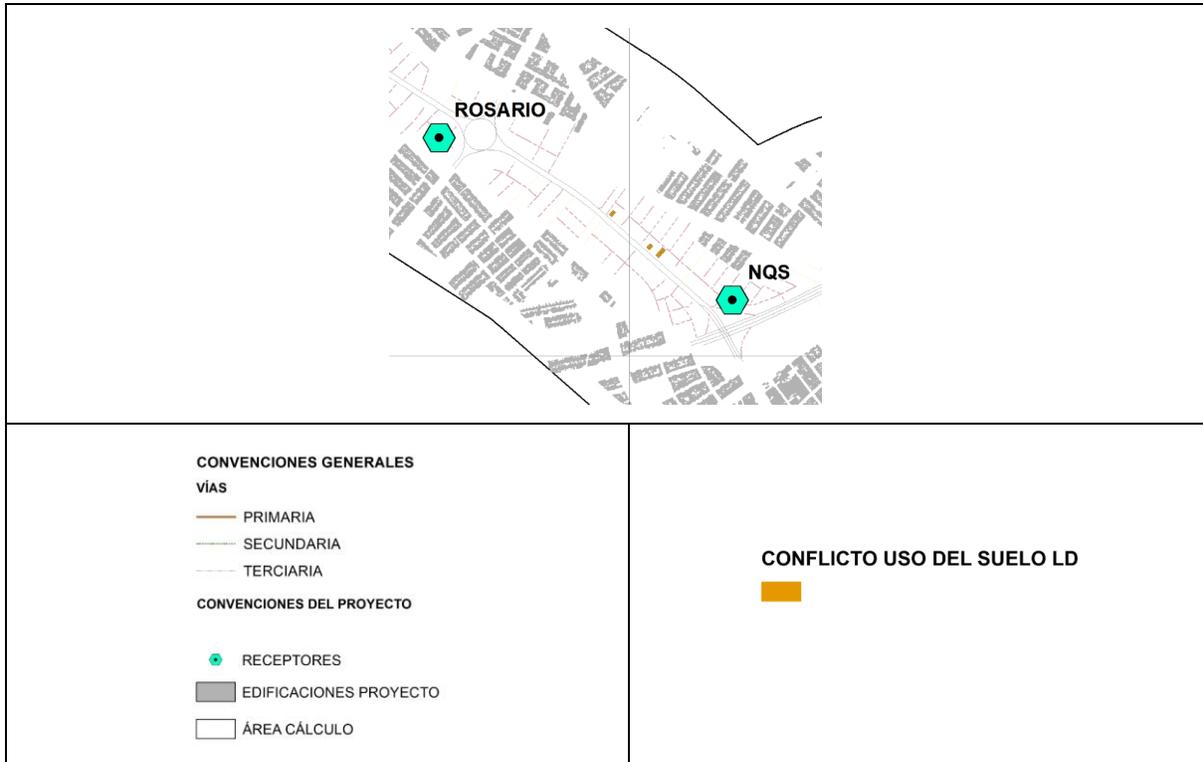


Figura 5.2.1-380 Isófona nocturna considerando el conflicto y uso del suelo - escenario operación
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

5.2.1.21.7.11 Comparación de los escenarios

En la Tabla 5.2.1-282, se presenta la comparación de los resultados de modelación realizada para los escenarios de línea base y construcción. Se logra evidenciar un mayor impacto en la zona denominada Patio-Taller, cuyo porcentaje de incremento equivale a un 333% y 171% respecto al aporte del escenario línea base en los periodos diurno y diurno-nocturno, respectivamente. Así mismo, en los puntos denominados Avenida Boyacá, Palenque y Avenida 68 se presentarían incrementos en los niveles de presión sonora en el escenario de construcción respecto a los resultados de la línea base, en especial durante el horario nocturno cuyos porcentajes de incremento corresponderían al 31%, 27% y 26%, respectivamente.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-282 Comparativo escenario línea base y construcción

Puntos	COMPARTIVO ARITMÉTICO ESCENARIO CONSTRUCCIÓN PLMB											
	Aportes Escenario línea base dB (A)			Aportes totales escenario de construcción dB (A)			Incremento en dB (A) del escenario de construcción			Incremento en porcentaje (%) del escenario de construcción		
	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno
P1_Patio Taller	12.50	12.30	19.09	54.1	12.3	51.76	41.60	0.00	32.67	333%	0%	171%
P2_Portal America	74.90	72.80	79.89	75	73	80.07	0.10	0.20	0.18	0%	0%	0%
P3_Villablanca	71.70	70.00	77.02	76	74.7	81.65	4.30	4.70	4.63	6%	7%	6%
P4_Kennedy	61.30	59.10	66.21	73.8	71.5	78.62	12.50	12.40	12.42	20%	21%	19%
P5_Palenque	56.20	52.50	59.93	69.6	66.8	74.02	13.40	14.30	14.09	24%	27%	24%
P6_Av, Boyacá	57.80	54.40	61.76	74.6	71.1	78.48	16.80	16.70	16.72	29%	31%	27%
P7_Av, 68	54.10	50.60	57.98	67.6	64	71.41	13.50	13.40	13.42	25%	26%	23%
P8_Rosario	55.50	51.90	59.31	67.8	64.1	71.53	12.30	12.20	12.22	22%	24%	21%
P9_NQS	64.60	60.90	68.33	71.2	67.2	74.71	6.60	6.30	6.38	10%	10%	9%
P10_Santander	56.30	57.10	63.78	67.1	70.5	76.97	10.80	13.40	13.19	19%	23%	21%
P11_Hospitales	78.60	73.90	81.60	83.1	78.2	85.96	4.50	4.30	4.36	6%	6%	5%
P12_Calle10-11	60.20	55.20	62.99	63.9	59.5	67.11	3.70	4.30	4.12	6%	8%	7%
P13_Calle26	63.30	58.60	66.30	69	64	71.79	5.70	5.40	5.49	9%	9%	8%
P14_Calle45	74.70	69.40	77.28	81.2	75.8	83.72	6.50	6.40	6.43	9%	9%	8%
P15_Calle52	80.60	75.40	83.25	85.5	80.2	88.08	4.90	4.80	4.83	6%	6%	6%
P16_Calle63	42.80	37.40	45.32	47.4	41.9	49.85	4.60	4.50	4.53	11%	12%	10%
P17_Calle72	55.50	50.30	58.15	61.2	55.8	63.72	5.70	5.50	5.56	10%	11%	10%
P18_Calle76	54.90	49.80	57.62	57.8	52.5	60.38	2.90	2.70	2.76	5%	5%	5%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la siguiente tabla se presentan la comparación de los resultados de operación y línea base; en ella se puede observar un mayor impacto en los tres periodos modelados en el escenario de operación respecto de los niveles de aporte en la línea base. Estos incrementos corresponderían a 174%, 169 % y 110% para los indicadores Ld, Ln y Ldn, respectivamente. Por otra parte, se evidencia porcentajes de incremento más altos en los niveles de ruido a lo largo de la línea en los sectores denominados Avenida Boyacá, Avenida 68 y Palenque. De esta manera se puede identificar los incrementos que se presentarían en la operación de la primera línea del metro teniendo en cuenta los aportes generados durante la línea base del proyecto.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 5.2.1-283 Comparativo escenario línea base y operación

Puntos	COMPARTIVO ARITMÉTICO ESCENARIO OPERACIÓN PLMB											
	Aportes Escenario línea base(dB A)			Aportes totales escenario de operación dB (A)			Incremento en dB (A) del escenario de operación			Incremento en porcentaje (%) del escenario de operación		
	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno	diurno	nocturno	diurno-nocturno
P1_Patio Taller	12.50	12.30	19.09	34.2	33.1	40.02	21.70	20.80	20.93	174%	169%	110%
P2_Portal America	74.90	72.80	79.89	75	73	80.07	0.10	0.20	0.18	0%	0%	0%
P3_Villablanca	71.70	70.00	77.02	76	74.7	81.65	4.30	4.70	4.63	6%	7%	6%
P4_Kennedy	61.30	59.10	66.21	73.8	71.6	78.71	12.50	12.50	12.50	20%	21%	19%
P5_Palénque	56.20	52.50	59.93	69.6	66.8	74.02	13.40	14.30	14.09	24%	27%	24%
P6_Av, Boyacá	57.80	54.40	61.76	74.6	71.1	78.48	16.80	16.70	16.72	29%	31%	27%
P7_Av, 68	54.10	50.60	57.98	67.6	64	71.41	13.50	13.40	13.42	25%	26%	23%
P8_Rosario	55.50	51.90	59.31	67.8	64.2	71.61	12.30	12.30	12.30	22%	24%	21%
P9_NQS	64.60	60.90	68.33	71.2	67.3	74.78	6.60	6.40	6.45	10%	11%	9%
P10_Santander	56.30	57.10	63.78	67.1	70.5	76.97	10.80	13.40	13.19	19%	23%	21%
P11_Hospitales	78.60	73.90	81.60	83.1	78.2	85.96	4.50	4.30	4.36	6%	6%	5%
P12_Calle10-11	60.20	55.20	62.99	63.9	59.6	67.19	3.70	4.40	4.20	6%	8%	7%
P13_Calle26	63.30	58.60	66.30	69	64.1	71.86	5.70	5.50	5.56	9%	9%	8%
P14_Calle45	74.70	69.40	77.28	81.2	75.9	83.78	6.50	6.50	6.50	9%	9%	8%
P15_Calle52	80.60	75.40	83.25	85.5	80.2	88.08	4.90	4.80	4.83	6%	6%	6%
P16_Calle63	42.80	37.40	45.32	47.4	42	49.92	4.60	4.60	4.60	11%	12%	10%
P17_Calle72	55.50	50.30	58.15	61.2	56	63.85	5.70	5.70	5.70	10%	11%	10%
P18_Calle76	54.90	49.80	57.62	57.8	52.7	60.52	2.90	2.90	2.90	5%	6%	5%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

A continuación se presenta la comparación de los escenarios de Construcción y Operación respecto a la norma nacional 627 del 2006, ver Tabla 5.2.1-284 y Tabla 5.2.1-285.

Tabla 5.2.1-284 Comparación Escenario Construcción respecto estándares normativo

Punto	Sector	Aportes Esce Línea base dB(a) modelo		Esce Construcción dB(a) resultados del modelo		Res 627/2006		Porcentaje de incremento Escenario construcción respecto la norma		
		Res 627/2006	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
P1_Patio-Taller	D		12,5	12,3	54,1	12,3	55	45	98,36	27,33
P2_Portal Américas	B		74,9	72,8	75	73	65	50	115,38	146,00
P3_Villablanca	C		71,7	70	76	74,7	70	55	108,57	135,82
P4_Kennedy	A		61,3	59,1	73,8	71,5	55	45	134,18	158,89
P5_Palenque	B		56,2	52,5	69,6	66,8	65	50	107,08	133,60
P6_AV. Boyacá	B		57,8	54,4	74,6	71,1	65	50	114,77	142,20
P7_A.68	B		54,1	50,6	67,6	64	65	50	104,00	128,00
P8_Rosario	B		55,5	51,9	67,8	64,1	65	50	104,31	128,20
P9_NOS	B		64,5	60,9	71,2	67,2	65	50	109,54	134,40
P10_Santander	B		56,3	57,1	67,1	70,5	65	50	103,23	141,00
P11_Hospitales	A		78,6	73,9	83,1	78,2	55	45	151,09	173,78
P12_Calle 10-11	C		60,2	55,2	63,9	59,5	70	55	91,29	108,18
P13_Calle 26	B		63,3	58,6	69	64	65	50	106,15	128,00
P14_Calle 45	B		74,7	69,4	81,2	75,8	65	50	124,92	151,60
P15_Calle52	C		80,6	75,4	85,5	80,2	70	55	122,14	145,82
P16_Calle 63	B		42,8	37,4	47,4	41,9	65	50	72,92	83,80
P17_Calle 72	C		55,5	50,3	61,2	55,8	70	55	87,43	101,45
P18_Calle76	C		54,9	49,8	57,8	52,5	70	55	82,57	95,45

Tabla 5.2.1-285 Comparación Escenario Operación respecto estándares normativo

Punto	Sector	Aportes Esce Línea base dB(a)		Esce Operación dB(a) resultado del modelo		Res 627/2006		Porcentaje de incremento Escenario operación respecto la norma		
		Res 627/2006	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
P1_Patio-Taller	D		12,5	12,3	34,2	33,1	55	45	62,18	73,56
P2_Portal Américas	B		74,9	72,8	75	73	65	50	115,38	146,00
P3_Villablanca	C		71,7	70	76	74,7	70	55	108,57	135,82
P4_Kennedy	A		61,3	59,1	73,8	71,6	55	45	134,18	159,11
P5_Palenque	B		56,2	52,5	69,6	66,8	65	50	107,08	133,60
P6_AV. Boyacá	B		57,8	54,4	74,5	71,1	65	50	114,62	142,20
P7_A.68	B		54,1	50,6	67,6	64	65	50	104,00	128,00
P8_Rosario	B		55,5	51,9	67,8	64,2	65	50	104,31	128,40
P9_NOS	B		64,5	60,9	71,2	67,3	65	50	109,54	134,60

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Punto	Sector	Aportes Esce Línea base dB(a)		Esce Operación dB(a) resultado del modelo		Res 627/2006		Porcentaje de incremento Escenario operación respecto la norma		
		Res 627/2006	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
P10_Santander	B		56,3	57,1	67,1	70,5	65	50	103,23	141,00
P11_Hospitales	A		78,6	73,9	83,1	78,2	55	45	151,09	173,78
P12_Calle 10-11	C		60,2	55,2	63,9	59,6	70	55	91,29	108,36
P13_Calle 26	B		63,3	58,6	69	64,1	65	50	106,15	128,20
P14_Calle 45	B		74,7	69,4	81,2	75,9	65	50	124,92	151,80
P15_Calle52	C		80,6	75,4	85,5	80,2	70	55	122,14	145,82
P16_Calle 63	B		42,8	37,4	47,4	42	65	50	72,92	84,00
P17_Calle 72	C		55,5	50,3	61,2	56	70	55	87,43	101,82
P18_Calle76	C		54,9	49,8	57,8	52,7	70	55	82,57	95,82

5.2.1.21.7.12 Incertidumbre del modelo

La realización de un mapa de ruido mediante técnicas de simulación, validado mediante medidas experimentales, tiene asociados muchos parámetros que influyen en la incertidumbre del resultado final.

Las principales fuentes de incertidumbre de los mapas de ruido se pueden dividir en los siguientes grupos: Medidas experimentales, Método de cálculo y Motor de cálculo (Software) y Creación del modelo acústico.

En el presente estudio se realizó la cuantificación de la incertidumbre asociada al modelo partiendo de la metodología Ausejo formulada en 2009. En esta metodología se determinó que el modelo de propagación de la incertidumbre asociado a un mapa de ruido tiene en cuenta las contribuciones aportadas por la medida, denominada Y_M y por el resto del proceso de simulación denominado Y_S .

La siguiente ecuación describe la formulación general:

$$Y_S = (X_{SA}, X_{SB}, X_{SC},)$$

Donde,

X_{SA} Es la cuantificación de las contribuciones debidas al modelo de cálculo utilizado.

X_{SB} Es la cuantificación de las contribuciones debidas al motor de cálculo.

X_{SC} Es la cuantificación de las contribuciones debidas a la creación del modelo acústico

Partiendo de ello, se puede representar cada factor en función de las cuantificaciones que contribuyen en la incertidumbre de cada una, es decir:

$$X_{SA} = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SAN})$$

Donde,

X_{SA1} Es la cuantificación debida a la categorización de vehículos.

X_{SA2} Es la cuantificación debida a la Influencia de la velocidad.

X_{SA3} Es la cuantificación debida a la Influencia de la porosidad de la carretera.

Etc.

$$X_{SB} = f(X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{SBN})$$

Donde,

X_{SB1} Es la cuantificación debida a la Implementación del modelo de cálculo.

X_{SB2} Es la cuantificación debida al radio de búsqueda de fuentes de ruido

X_{SB3} Es la cuantificación debida al número de reflexiones contempladas

$$X_{SC} = f(X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SCn})$$

Donde,

X_{SC1} Es la cuantificación debida a Datos de tráfico.

X_{SC2} Es la cuantificación debida a Condiciones ambientales.

X_{SC3} Es la cuantificación debida a la Cartografía.

Etc.

Por lo tanto, el resultado de la incertidumbre en función de las variables mencionadas anteriormente se cuantifica de la siguiente manera:

$$Y_s = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SAN}, X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{SBN}, X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SCn})$$

Ahora bien, es de considerarse que esta función es dependiente de una muestra bastante grande, con lo cual, se pudo realizar la aproximación por el teorema del límite central, es decir que la distribución de la suma de las variables aleatorias tiende a una distribución normal (Curva de Gauss). Esta premisa permitió utilizar el cálculo establecido en la GUM, por lo que la variable final

Y_T se estimó de la siguiente manera:

$$U_T = u_{cT} * k$$

$$u(S) = \sqrt{(u_{cT})^2 - u^2(M)}$$

$$U(S) = u(S) * k$$

Donde

U_T Es la incertidumbre expandida total del mapa de ruido.

u_{cT} Es la incertidumbre combinada total del mapa de ruido, calculada a partir de U_T

$u(M)$ Es la incertidumbre combinada debida a las medidas.

$u(S)$ Es la incertidumbre combinada debida a la simulación (Modelo).

$U(S)$ Es la incertidumbre expandida debida a la simulación (Modelo), lo que es igual a Y_S .

A continuación, se presentan las formulaciones y resultados del cálculo de la incertidumbre.

Tabla 5.2.1-286 Comparación entre los valores medidos y los resultados del modelo.

Escenario*	Modelo <i>dB(A)</i>	Medición <i>dB(A)</i>	Diferencia Absoluta <i>dB(A)</i>
Escenario 1	61.9	60.3	1.6

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

*El cálculo de la incertidumbre solo se realizó para el escenario I (Línea base). Para el resto de escenarios no se calculó incertidumbre por tratarse de unos escenarios proyectados. Se debe tener presente que los resultados del escenario de la línea base no representan en totalidad todas las fuentes del entorno, no obstante, considerando solo los puntos donde se realizaron mediciones de ruido ambiental, los aportes de este escenario son representativos.

Partiendo de estos valores, y con base a las ecuaciones anteriores se obtuvo una incertidumbre del modelo de $\pm 1.55 [dB]$, que se representó en un factor de cobertura de $K = 2$ y un nivel de confianza del **95%**.

$$K = 2$$

$$u(M) = 1.1 \text{ dB}$$

$$U_T = 1.6 \text{ dB}$$

$$u_{cT} = 0.80 \text{ dB}$$

$$u(S) = 0.78 \text{ dB}$$

$$U(S) = 1.55 \text{ dB}$$

5.2.1.21.7.13 Observaciones y conclusiones

Una vez analizados los resultados del modelo de ruido para el escenario de la línea base, se puede concluir que los puntos que generan mayores niveles de ruido son identificados como calle 52, calle 45, hospitales y Portal Américas. Estas se presentaron entre los 55 y los 80 dB (A). Cabe resaltar que alrededor de estas zonas existen fuentes cercanas de tráfico vehicular las cuales se catalogan posiblemente como las mayores fuentes generadoras de ruido en el área de influencia del proyecto.

En el escenario de construcción del proyecto el área de influencia con niveles de ruido mayores a 35 dB(A) hasta 75 dB(A) durante el día correspondería al trayecto vial por donde operará el metro de Bogotá. Dentro de esta área de influencia se pueden presentar algunas viviendas afectadas que están a menor distancia del proyecto.

De acuerdo con los resultados del escenario (iii) Operación del Proyecto, que corresponde a la operación de la primera línea del metro de Bogotá, se evidenció que los aportes de ruido causado por el metro no representarían un aporte significativo respecto a los demás escenarios modelados. Es importante resaltar que con los tres indicadores evaluados (Ld, Ln y Ldn), los niveles de aporte de la operación del metro no superarían los 65 dB(A).

Con base en el análisis de la tendencia de ruido equidistante a 15 metros del eje de la primera línea del metro, se logró identificar el receptor 66 que estaría por encima de los niveles de 65 dB (A). Para el escenario de construcción modelado se presentarían niveles mayores a los 65 dB (A) a diferencia del escenario de operación cuyos niveles máximos llegarían hasta los 60 dB (A). Donde los niveles de ruido son más altos a esta distancia de 15 metros es debido a la presencia de obstáculos de forma cercana, donde el proceso de reflexión por los obstáculos se presenta.

Con los resultados de los aportes que agrupa el ruido de fondo se conocieron los niveles que se podrían presentar para los dos escenarios proyectados, los cuales comprenderían niveles desde los 50 dB (A) hasta mayores de 80.1 dB (A). Los niveles máximos se presentarían en los receptores denominados Portal de las Américas, NQS, Hospitales que se encuentran cercanos a la avenida 43 y la carrera 14 con calle 10 hasta la calle 76, los cuales comprende el trazado de la primera línea del metro de Bogotá. Se debe tener presente que los resultados presentados son indicativos, por lo que las mediciones de ruido ambiental pueden variar de una hora a otra, o de un día a otro en el mismo lugar. Sin embargo, estos valores se pueden tener en cuenta para valorar de forma indicativa los posibles niveles de ruido que se presentarían en cada lugar determinado.

Por otra parte, en cuanto al conflicto de uso de suelo, este se presentaría en el escenario de construcción en el periodo diurno en los lugares Patio-Taller, Portal América, Avenida Boyacá, Rosario, Calle 45, entre otros y en el periodo nocturno del escenario de operación entre los lugares Rosario y NQS. Estos conflictos se determinaron con base en los resultados del modelo y los umbrales de ruido ambiental establecidos por medio de la Resolución 0627 de 2006.

Finalmente se concluye que en los tres escenarios evaluados la mayor fuente generadora de ruido es el tráfico rodado, corroborando que la operación del metro no aporta niveles de ruido

significativos. Sin embargo, es preciso resaltar el aumento de los niveles de ruido que se podrían presentar de un escenario de operación a otro principalmente en los sectores denominados como Patio-Taller, Calle 45 y 52, Portal América y Villa Blanca.

Se recomienda se realicen mediciones de ruido periódicas que se acerquen más a la realidad permitiendo de esta manera refinar el modelo y obtener resultados con valores más precisos. De igual manera, es importante realizar una adecuada caracterización de las fuentes generadoras de ruido, con el fin de complementar e identificar las zonas con mayor afectación e individualizar los tipos de fuentes existentes, para determinar cuáles son las más relevantes.

Adicionalmente se recomienda en la etapa de construcción del proyecto continuar con un segundo modelo de ruido; el cual permitirá verificar las emisiones de ruido y la implementación de las medidas de control y mitigación durante la etapa constructiva, como el cumplimiento normativo.

5.2.1.22 Vibraciones

El objeto del monitoreo de vibraciones desarrollado en la zona de estudio del proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) es el de establecer una línea base de las vibraciones actuales que existen a lo largo del corredor que permitan establecer el impacto durante la construcción y posterior operación de la Primera Línea del Metro.

Los alcances particulares de la actividad de caracterización de vibraciones en la zona de estudio incluyen:

- Caracterizar los niveles aceleración en el espectro en frecuencias de interés (1Hz a 100Hz), para las diferentes componentes de movimiento, con el propósito de determinar en términos de unidades de aceleración y velocidad de las vibraciones naturales y medioambientales sobre las viviendas en condiciones actuales dentro del área de influencia del proyecto.
- Caracterizar los niveles de las vibraciones asociadas al tráfico actual en las vías que conforman el corredor de estudio y con esto establecer las características línea base del proyecto con el fin estimar la relación con las etapas de construcción y operación sobre el AID.

5.2.1.22.1 *Metodología y equipos empleados para el monitoreo de vibraciones*

La metodología establecida para el estudio de vibraciones se desarrolla teniendo en cuenta las siguientes actividades:

- Evaluación de niveles vibracionales en estado natural, en áreas de referencia como fuente, zonas de propagación, receptores y vías (actuales).
- Consolidación de resultados, análisis de la información y proyección de impactos en los predios seleccionados como de interés ambiental, mediante cálculos matemáticos.

5.2.1.22.1.1 Equipos de Monitoreo

La caracterización de vibraciones se desarrolló utilizando tres acelerómetros sísmicos de referencia 731A marca Wilcoxon ultrasensibles, de baja frecuencia, con banda frecuencial (+10%) de registro

entre 0,1 y 450 Hz (Figura 5.2.1-381). La configuración utilizada de los sensores permite registrar una aceleración máxima de 0.5 g (4,91 m/s²), valor que se determina teniendo en cuenta el rango de voltaje (± 5 V) y la sensibilidad (10 V/g) del equipo. La selección de los equipos se desarrolló teniendo en cuenta el rango de frecuencias de medición definido en la DIN 4150 (1 – 100 Hz), el contenido frecuencial y los niveles de amplitud esperados para las fuentes de vibración natural en la zona de estudio. Los acelerómetros utilizados tienen un mayor rango frecuencial y una mayor sensibilidad a vibraciones de baja amplitud en comparación a geófonos que se utilizan la medición de vibraciones de mayor amplitud. Estos equipos vienen calibrados de fábrica y no requieren procesos de calibración anteriores o posteriores al desarrollo del monitoreo de vibraciones. La Figura que se presenta a continuación muestra una fotografía de los equipos empleados para el monitoreo de vibraciones.



Figura 5.2.1-381 Acelerómetro Sísmico WR modelo 731A y amplificador de señal modelo P31

5.2.1.22.1.2 Metodología de Muestreo

Con el objetivo de establecer una línea base adecuada, se plantea la siguiente metodología para la toma de información:

- Para cada punto de muestreo se desarrollaron mediciones en periodos clasificados de acuerdo con el tráfico de automóviles y de transporte masivo (Transmilenio) como horas pico y horas valle.
- Las mediciones fueron adelantadas de lunes a sábado considerando que el día domingo no es un día representativo del tráfico de la ciudad de Bogotá y puede generar resultados atípicos.
- Se definió que los puntos de medición no estuvieran cercanos a las estaciones actuales del sistema Transmilenio, debido a que en estos puntos el frenado de los articulados genera un valor atípico respecto de las vibraciones en el resto del corredor.
- Los puntos de medición estarán ubicados sobre las calles o carreras que llegan al corredor.
- Los puntos de medición se localizarán así (Ver Figura a continuación):
 - o Primer punto de medición (Canal 0): Se ubicará en el sardinel externo del tráfico mixto, en el costado oriental o el occidental para la Av. Caracas o Norte - Sur para el tramo occidental del trazado
 - o Segundo punto de medición (Canal 1): Se localizará a 15 m del primer punto de medición
 - o Tercer punto de medición (Canal 2): Se localizará a 30 m del primer punto de medición

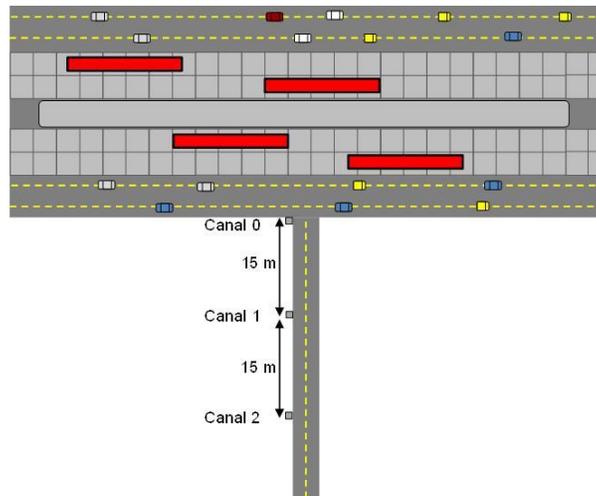


Figura 5.2.1-382 Esquema de medición de vibraciones para las ventanas de registro en horas pico y horas valle

Con el fin de contar con un número adecuado de ventanas de vibración para el análisis en cada uno de los puntos de medición seleccionados se tomaron 15 ventanas de registro de 2 minutos de duración a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Lo anterior está acorde con los requerimientos de número de ciclos y frecuencia de muestreo para registros de vibración en los cuales se espera que la frecuencia de vibración predominante de la señal sea superior a 5 Hz. La frecuencia de muestreo utilizada asegura que no se presente ningún tipo de filtro numérico de alta frecuencia que pudiera afectar el rango superior requerido.

Adicionalmente se realizará la medición de aceleración para quince ventanas de tiempo (2 minutos cada una) utilizando los tres sensores en un arreglo ortogonal (Ver Figura a continuación), lo cual permite registrar en una misma ventana de tiempo las tres componentes ortogonales de movimiento y poder realizar un análisis en el dominio de la frecuencia entre las dos componentes de movimiento horizontal y la componente de movimiento vertical que permite estimar la frecuencia fundamental del depósito en el punto de medición utilizando la metodología HVSR (Nakamura) empleado en estudios de microzonificación sísmica. Con base en el análisis de los registros de aceleración se determina la aceleración máxima del terreno (PGA por sus siglas en inglés), la velocidad de partícula (PPV por sus siglas en inglés) y las frecuencias dominantes de las vibraciones registradas para las tres componentes de movimiento ortogonales (X, Y y Z) y una estimación de la frecuencia fundamental de respuesta del depósito de suelo.



Figura 5.2.1-383 Esquema de medición de vibraciones para las tres componentes de movimiento de manera simultánea

5.2.1.22.1.3 Metodología para el procesamiento de datos

El análisis de las señales previsto incluirá procesos de diezmo, implementación de filtros tipo Butterworth, cálculo del espectro de Fourier de cada una de las señales, cálculo de la función de transferencia entre las componentes horizontales y la componente vertical e integración de las señales para determinar la velocidad de partícula. Los análisis de los registros serán desarrollados en el programa de procesamiento de señales DEGTRA A4 (Ordaz et al., 2005).

Para cada una de las ventanas de registro (duración 2 minutos) por punto de medición se realizará un análisis de señales en el programa de computador Degtra A4 (Ordaz et. al., 2005) que incluirá las siguientes actividades de procesamiento:

- Decimar el registro con el fin de facilitar el procesamiento de la señal y obtener un rango de frecuencias de análisis entre 0.01 a 200 Hz.
- Corregir por línea base los registros de aceleración (tres mediciones simultaneas por ventana de tiempo)
- Calcular la aceleración máxima del registros de aceleración (PGA)
- Calcular el espectro de Fourier de cada uno de los registros de aceleración con el fin de determinar la frecuencia predominante del registro de aceleración (f).
- Para el caso de las mediciones ortogonales determinar la función de transferencia entre las componentes horizontales de movimiento y la componente vertical. Estimar la frecuencia fundamental H/V o frecuencia de Nakamura ($f_{H/V}$).
- Filtrar la señal de aceleración utilizando un filtro Butterworth pasa alta con frecuencia de esquina de 0.1 Hz.
- Integrar la señal con el fin de obtener el registro de velocidad, que permita determinar la velocidad máxima de partícula (PPV).

- Determinar una frecuencia promedio con base en PGA y PPV ($f_{PGA/PPV}$).

La Figura que se presenta a continuación muestra el registro de aceleraciones en los tres puntos de medición se observa que como es de esperarse las aceleraciones registradas en el punto más cercano a la vía principal (Canal 0) son superiores a las aceleraciones registradas en puntos más distantes (Canal 1 y Canal 2), lo cual muestra atenuación de las vibraciones generadas por el tráfico

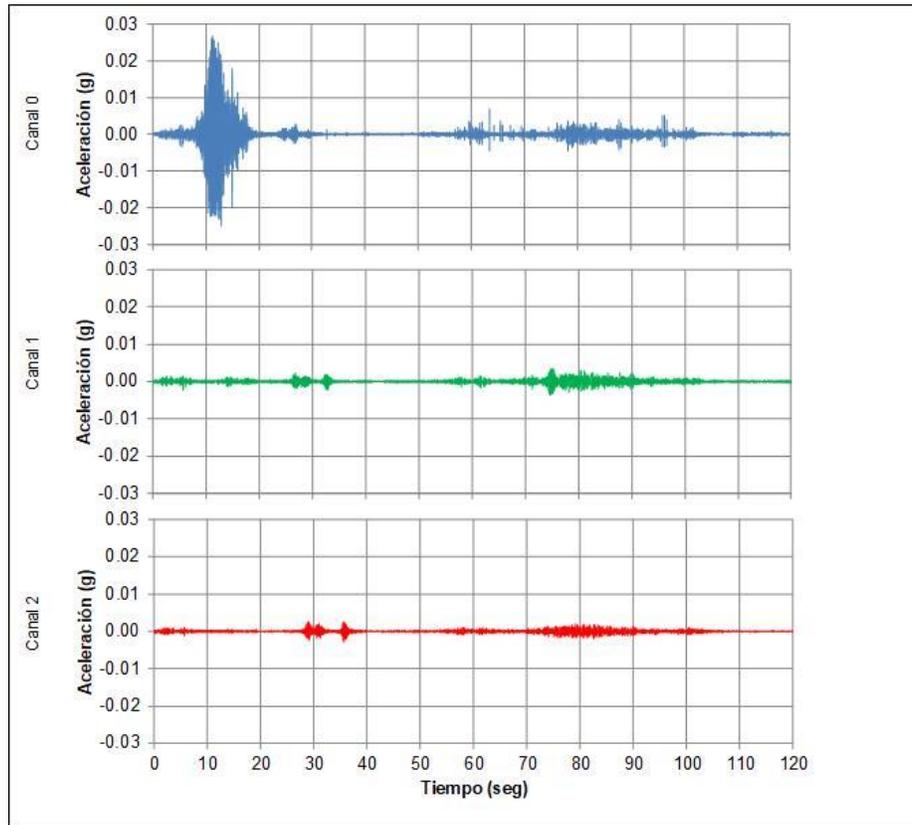


Figura 5.2.1-384 Registros de aceleración para puntos localizados a diferentes distancias desde el eje principal

El análisis HVSR se desarrollará siguiendo los conceptos planteados por Nakamura (1989) según los cuales el cociente entre la componente horizontal y la componente vertical en el dominio frecuencial es un buen estimador del efecto de sitio. Este método ha sido ampliamente implementado en los últimos años y utilizado por la fiabilidad de sus resultados y por la rapidez y economía de ejecución. La principal premisa del método de Nakamura es que la razón (H/V) o razón espectral corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales. Lo anterior está soportado en la hipótesis de que un microtemblor está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales Rayleigh, inducidas por fuentes artificiales (trenes, tráfico, etc). Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el sustrato rocoso. Se considera además que las componentes horizontales se amplifican debido a multirreflexiones de la onda S, en tanto que los microterremotos verticales lo hacen por multirreflexiones de la onda P. La velocidad de propagación de la onda P es generalmente mayor que 100 m/s, y los movimientos con frecuencias de aproximadamente 10 Hz o menos pueden no amplificarse, debido a la multirreflexión en las

capas superficiales de varias decenas de metros de espesor. Teniendo en cuenta lo anterior cuando se calcula la función de transferencia entre las componentes horizontales y la componente vertical los picos de mayor amplificación corresponden a las frecuencias fundamentales del depósito, lo cual permite caracterizar el punto de estudio con fines de definir si se presentará o no amplificación por propagación de onda (efectos locales).

La siguiente Figura presenta la ventana de trabajo en el programa Degtra A4 con los tres registros de aceleración y sus correspondientes espectros de Fourier para la ventana de tiempo en donde se registraron los niveles máximos de aceleración en un punto de análisis.

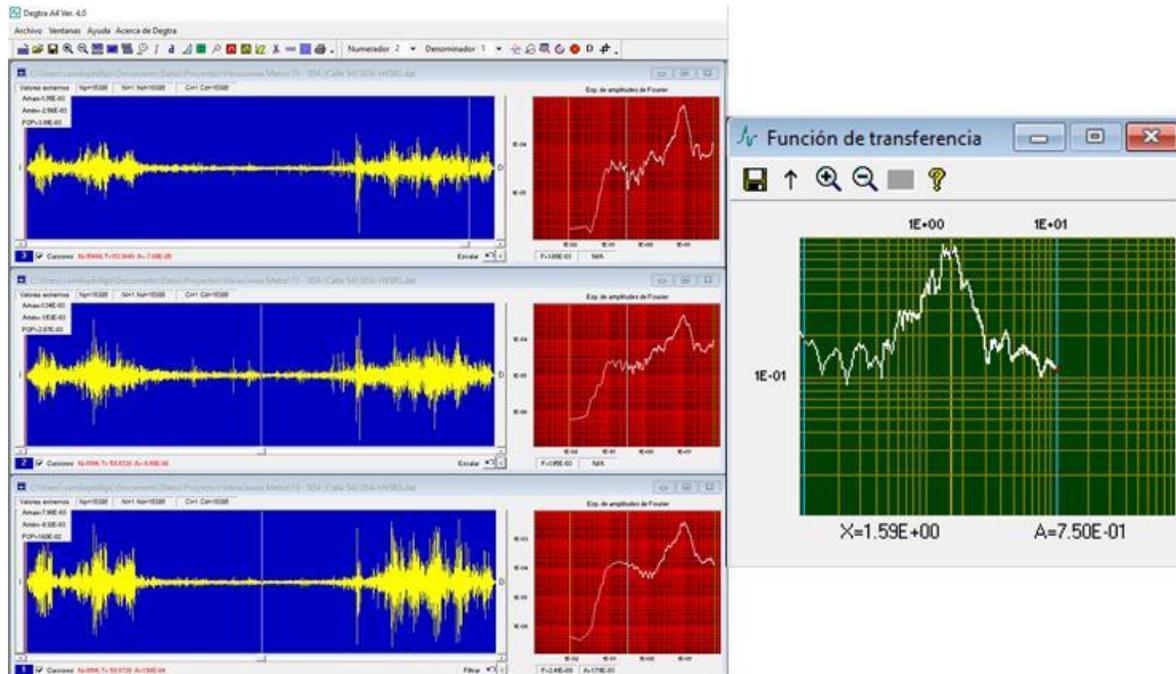


Figura 5.2.1-385 Ventanas de análisis de señales Degtra A4

5.2.1.22.1.4 Definición de umbrales de percepción humana y afectación a estructuras

En Colombia no existen normas para el control de vibraciones, razón por la cual tradicionalmente se han utilizado normas o recomendaciones europeas (en particular DIN 4150) y de Estados Unidos (USBM RI8507) con el fin de limitar y proponer medidas de mitigación en proyectos que incluyan equipos que inducen altos niveles de vibración y vehículos pesados. La definición de umbrales de vibración requiere tener claridad que las vibraciones generan efectos tanto en personas, como en estructuras y maquinaria que se encuentre en la zona cercana a la fuente de emisión de vibraciones.

El umbral de percepción para personas tradicionalmente se ha definido con base en la velocidad de partícula (PPV). La ISO 2631 define que velocidades de partícula entre 2 a 3 mm/s, en el rango de frecuencias entre 8 y 80 Hz (ISO 2631) son perceptibles para el ser humano. El estudio desarrollado por Wiss (1974) concluye que velocidades de partícula de 6 mm/s, 23 mm/s y 51 mm/s son clasificados como fácilmente perceptible para personas, intenso para personas y severo para personas respectivamente, en el caso de niveles de vibración generadas por fuentes transientes. En términos estructurales se diferencian dos niveles de daño el primero asociado con daños en elementos no estructurales y el segundo con niveles de atención de estructuras en donde los elementos estructurales principales se pueden ver afectados. En el presente caso la definición

de los umbrales de daño están asociados con la primera condición, teniendo en cuenta que la comunidad se siente afectada aun cuando los daños correspondan a fisuramiento menor que no pone en riesgo la estabilidad de la estructura.

La amplitud de deformación y por consiguiente el potencial de generación de daños inducida en una estructura por una fuente que genera vibraciones del terreno depende principalmente de las frecuencias fundamentales de la estructura y de la amplitud y frecuencia de la vibración incidente. Cuando la frecuencia fundamental de vibración coincide con una de las frecuencias fundamentales de la estructura se presenta amplificación dinámica de las solicitaciones inducidas lo cual normalmente se ve reflejado en daños estructural cuando las amplitudes de vibración superan valores umbral. En el caso estudiado las frecuencias fundamentales de las edificaciones se encuentra entre 1 y 15 Hz (rango estimado utilizando las fórmulas de cálculo de periodo estructural presentadas en la NSR-10 para edificaciones entre uno a seis pisos), teniendo en cuenta el uso de aisladores con el fin de disminuir las cargas y los niveles de vibración inducidos por el material rodante no se espera que se presenten cambios significativos de en los niveles de vibración actuales del proyecto sin embargo es posible que en las zonas cercanas al corredor de Transmilenio de la Caracas (Línea Base) se presenten niveles de vibración cercanos a los niveles de umbral de comportamiento.

Existen otras variables que deben ser consideradas en la evaluación del potencial de daño por vibraciones tales como: la duración de las vibraciones, la cantidad de ciclos de alta amplitud, la resistencia de los materiales que conforman la estructura, la calidad de la construcción, los esfuerzos estáticos preexistentes (incrementados por ejemplo por asentamientos del suelo), el nivel de mantenimiento y conservación de la estructura. Una evaluación rigurosa del potencial de daños por vibración en una serie de estructuras no es económicamente justificable en la mayoría de los casos. Por esta razón se recurre generalmente a normas y recomendaciones que relacionan características de la estructura y del suelo de cimentación con el tipo de vibración, o con los niveles de vibración (velocidad de partícula, frecuencia dominante, número de ciclos). La SIGUIENTE Figura resume diferentes criterios o límites de comportamiento ante niveles de vibración. Esta Figura es utilizada para clasificar los niveles de vibración registrados en la zona de estudio.

Para el caso de edificaciones existen diferentes recomendaciones referentes a la velocidad de partícula límite para afectación de construcciones, las recomendaciones de la DIN 4150 (2016), y CALTRANS (2013) limitan la velocidad de partícula para afectación estructuras antiguas construidas en mampostería a 12.7 mm/s (0.5 in/s) en el caso de fuentes de vibraciones transientes (poco frecuentes) y de 7.6 mm/s para el caso de fuentes de vibración continuas. Es claro que en la medida que las estructuras analizadas presentan un mayor detallamiento y un cumplimiento estricto de los requerimientos de construcción sismoresistente, el nivel de velocidad de partícula tolerable aumenta.

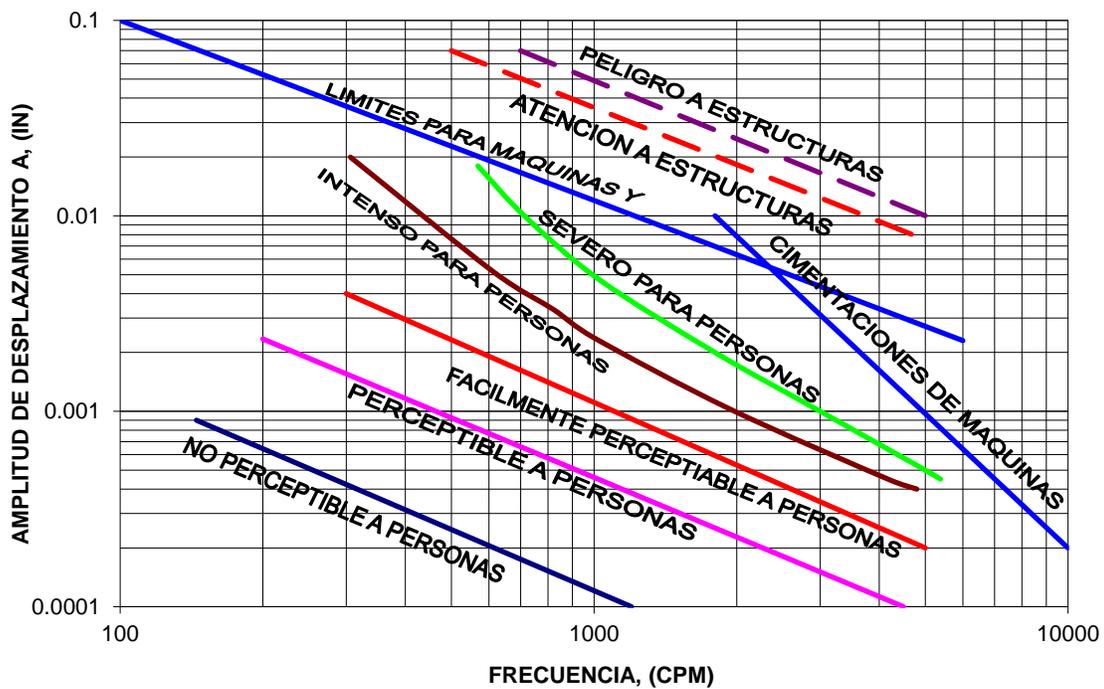


Figura 5.2.1-386 Umbrales de comportamiento ante vibraciones.

Fuente: Universidad de los Andes (2001)

5.2.1.22.1.5 Selección de los sitios de medición de vibraciones

Según las especificaciones técnicas ET-19, los puntos de muestreo se deben ubicar en los sitios donde se localizan las estaciones y el Patio-Taller. En unos casos puntuales la localización de los puntos de muestreo tuvo que ser ajustada teniendo en cuenta limitaciones de acceso a los predios y bajo el precepto de minimizar afectación en la movilidad local por el desarrollo de los muestreos.

Los puntos de monitoreo seleccionados a lo largo del corredor de la Primera Línea del Metro son los siguientes:

- Patio-Taller
- Estación Portal de las Américas
- Estación Villa Blanca
- Estación Palenque
- Estación Kennedy
- Estación Boyacá
- Estación Avenida 68
- Estación Rosario
- Estación NQS
- Estación Santander
- Estación Hospitales
- Estación Centro Histórico
- Estación Calle 26
- Estación Calle 45

- Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)
- Estación Calle 63
- Estación Calle 72
- Estación Calle 76

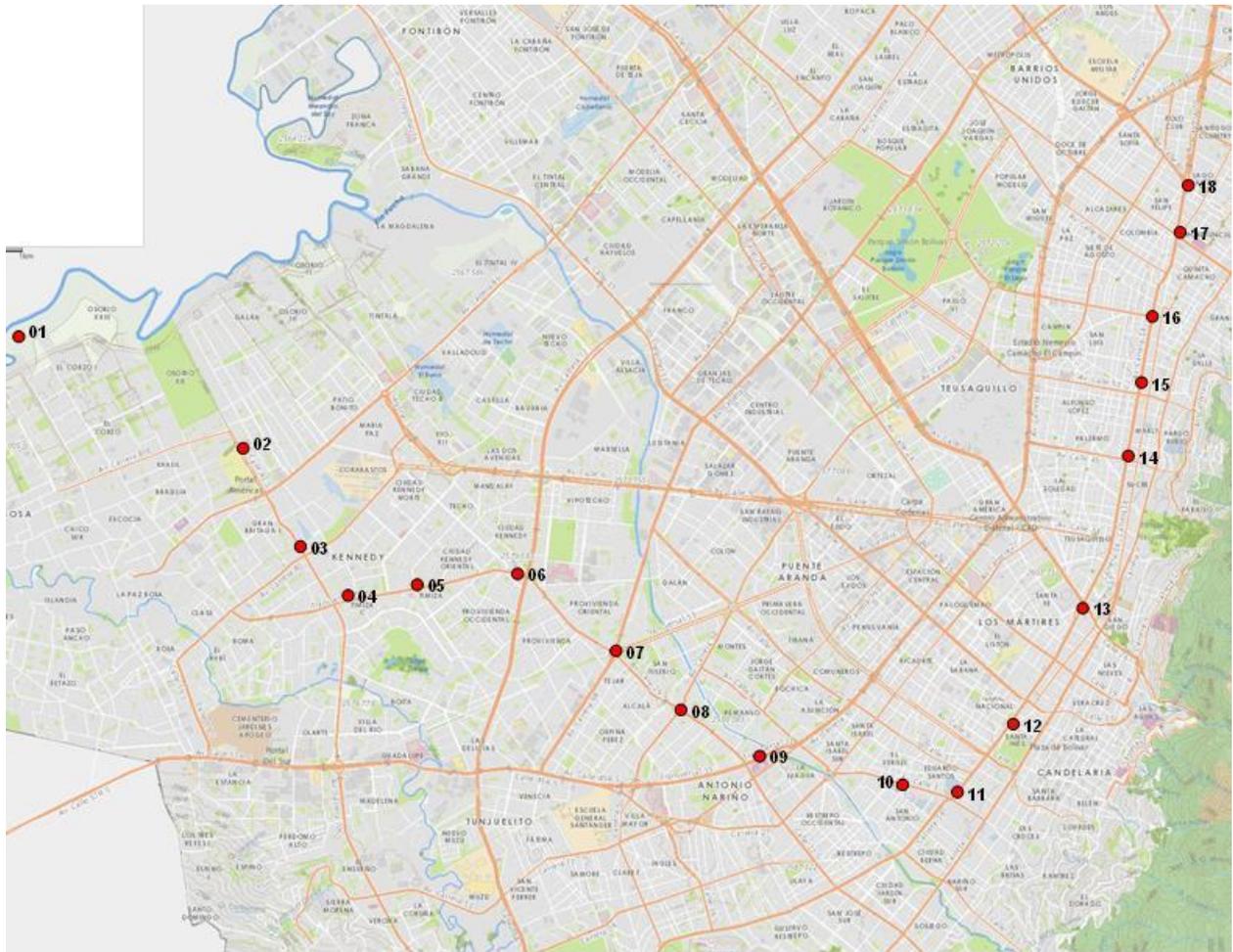
La Tabla que se presenta a continuación muestra las coordenadas de cada uno de los 18 puntos de registro de vibraciones.

Tabla 5.2.1-287 Localización de los puntos de medición de vibraciones en la zona de influencia del proyecto

Sitio de Medición	Este	Norte
01 Patio-Taller	86739	105492
02 Portal Américas	89356	104158
03 Villa Blanca	90145	102839
04 Palenque	90865	102188
05 Kennedy	91475	102264
06 Avenida Boyacá	92866	102551
07 Avenida 68	94219	101479
08 Avenida Rosario	95112	100637
09 NQS	96335	100104
10 Santander	98302	99671
11 Hospitales	98885	99727
12 Centro Histórico	99529	100553
13 Calle 26	100430	101899
14 Calle 45	101093	103916
15 SDA	101290	105009
16 Calle 63	101448	105901
17 Calle 72	101713	106942
18 Calle 76	101848	107483

La siguiente Figura presenta la localización de los puntos de registro sobre un mapa de la ciudad de Bogotá.

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



<p>● Puntos de Medición</p> <p>01 Patio Taller</p> <p>02 Portal Américas</p> <p>03 Villa Blanca</p> <p>04 Palenque</p> <p>05 Kennedy</p> <p>06 Avenida Boyacá</p> <p>07 Avenida 68</p> <p>08 Avenida Rosario</p> <p>09 NQS</p> <p>10 Santander</p> <p>11 Hospitales</p> <p>12 Centro Histórico</p> <p>13 Calle 26</p> <p>14 Calle 45</p> <p>15 Secretaria Distrital de Ambiente</p> <p>16 Calle 63</p> <p>17 Calle 72</p> <p>18 Calle 76</p>
--

Figura 5.2.1-387 Localización de los puntos de registro de vibraciones

Las Figuras que se presentan a continuación muestran la localización en detalle de cada uno de los puntos de medición de vibraciones y una fotografía del ensayo realizado.



Figura 5.2.1-388 Localización punto de registro de vibraciones 01 (Patio-Taller)



Figura 5.2.1-389 Localización punto de registro de vibraciones 02 (Portal de las Américas)

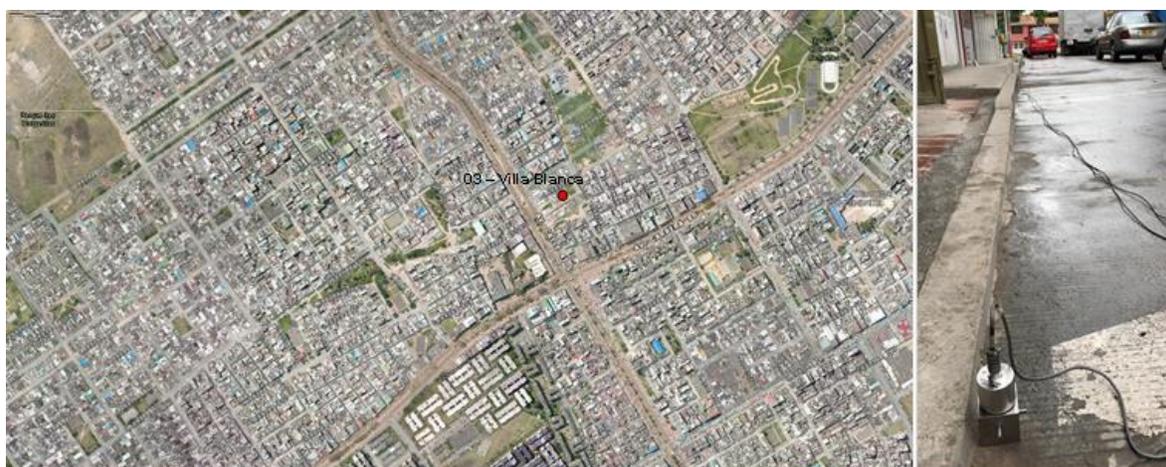


Figura 5.2.1-390 Localización punto de registro de vibraciones 03 (Villa Blanca)



Figura 5.2.1-391 Localización punto de registro de vibraciones 04 (Palenque)



Figura 5.2.1-392 Localización punto de registro de vibraciones 05 (Kennedy)



Figura 5.2.1-393 Localización punto de registro de vibraciones 06 (Av. Boyacá)



Figura 5.2.1-394 Localización punto de registro de vibraciones 07 (Av. 68)



Figura 5.2.1-395 Localización punto de registro de vibraciones 08 (Av. Rosario)



Figura 5.2.1-396 Localización punto de registro de vibraciones 09 (NQS)



Figura 5.2.1-397 Localización punto de registro de vibraciones 10 (Santander)



Figura 5.2.1-398 Localización punto de registro de vibraciones 11 (Hospitales)



Figura 5.2.1-399 Localización punto de registro de vibraciones 12 (Centro Histórico)



Figura 5.2.1-400 Localización punto de registro de vibraciones 13 (Calle 26)



Figura 5.2.1-401 Localización punto de registro de vibraciones 14 (Calle 45)



Figura 5.2.1-402 Localización punto de registro de vibraciones 15 (SDA)



Figura 5.2.1-403 Localización punto de registro de vibraciones 16 (Calle 63)

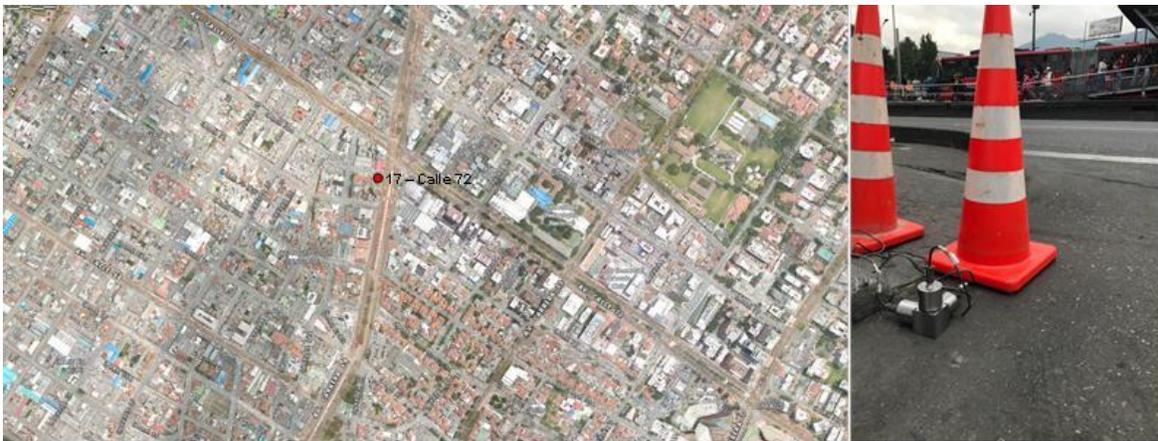


Figura 5.2.1-404 Localización punto de registro de vibraciones 17 (Calle 72)



Figura 5.2.1-405 Localización punto de registro de vibraciones 18 (Calle 76)

5.2.1.22.2 Resultados registro de vibraciones

La Tabla que se presenta a continuación muestra los resultados más relevantes del registro de vibraciones realizado en los 18 puntos a lo largo del corredor de la Primera Línea del Metro de Bogotá. En esta Tabla se presentan los valores promedio de velocidad de partícula (PGV) estimados a partir del análisis de señales desarrollado para diferentes ventanas de tiempo para las tres localizaciones de los sensores [Canal 0 (C₀), Canal 1 (C₁) y Canal 2 (C₂)], en el cual el sensor denominado Canal 0 es el más cercano al eje de la Primera Línea del Metro y el Canal 2 el más lejano. Adicionalmente se presentan las frecuencias estimadas utilizando la técnica de Nakamura entre las componentes longitudinal y vertical (f₁) y transversal y vertical (f₂), el promedio de estas dos frecuencias se reporta como f_{Nakamura}. El valor de PGV_{MAX} reportado en la Tabla corresponde a la máxima velocidad de partícula estimada para cada uno de los puntos de análisis, lo cual incluye las mediciones con el arreglo con sensores en diferentes localizaciones y las mediciones adelantadas para implementar la técnica de Nakamura (HVSR).

Tabla 5.2.1-288 Localización de los puntos de medición de vibraciones en la zona de influencia del proyecto

Sitio de Medición	Este	Norte	C ₀ (mm/s)	C ₁ (mm/s)	C ₂ (mm/s)	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)	f _{Nakamura} (Hz)	PGV _{MAX} (mm/s)
01 Patio-Taller	86739	105492	0,15	0,28	0,21	0,46	0,46	0,46	0,31
02 Portal Américas	89356	104158	0,41	0,14	0,15	0,46	0,49	0,47	0,54
03 Villa Blanca	90145	102839	0,71	0,50	0,30	0,50	0,50	0,50	0,98
04 Palenque	90865	102188	0,77	0,61	0,47	0,60	0,62	0,61	0,78
05 Kennedy	91475	102264	0,68	0,42	0,40	0,80	0,79	0,79	1,03
06 Avenida Boyacá	92866	102551	0,88	0,66	0,51	0,52	0,49	0,51	1,17
07 Avenida 68	94219	101479	0,52	0,42	0,38	0,69	0,65	0,67	0,97
08 Avenida Rosario	95112	100637	0,49	0,39	0,41	0,65	0,74	0,70	0,89
09 NQS	96335	100104	0,35	0,28	0,31	0,88	0,87	0,87	0,58
10 Santander	98302	99671	0,16	0,32	0,35	1,06	0,99	1,02	0,31
11 Hospitales	98885	99727	1,22	0,89	0,77	1,14	1,06	1,10	1,60
12 Centro Histórico	99529	100553	1,99	0,87	0,71	1,43	1,29	1,36	3,59
13 Calle 26	100430	101899	0,85	0,52	0,44	1,19	1,47	1,33	1,18
14 Calle 45	101093	103916	0,96	0,65	0,47	1,42	1,36	1,39	1,10
15 SDA	101290	105009	1,93	1,73	1,19	1,59	1,42	1,51	2,48
16 Calle 63	101448	105901	0,89	0,54	0,53	1,08	1,05	1,06	1,18
17 Calle 72	101713	106942	1,71	1,11	0,65	0,99	1,08	1,03	2,05
18 Calle 76	101848	107483	1,88	1,10	0,81	0,65	0,66	0,66	2,86

Se observa que para el punto que se calculan los mayores niveles de velocidad de partícula corresponde al Centro Histórico localizado en la Avenida Caracas con Calle 10. Por otro lado el punto con menores niveles de vibración corresponde al Patio-Taller. Lugar en el cual no existe la fuente de vibraciones del tráfico vehicular razón por la cual es el único punto de registro en el cual no se realizaron muestreos para hora valle y hora pico. Por otro lado y tal y como es de esperarse las frecuencias estimadas mediante el método de Nakamura son más altas en la zona de la Avenida Caracas en donde el perfil estratigráfico es de menor espesor y disminuyen hacia el occidente en donde el depósito aluvial alcanza su mayor espesor y en el extremo norte del

corredor de análisis en donde se encuentran los depósitos de origen lacustre en la ciudad de Bogotá. Las Figuras que se muestran a continuación presentan los resultados del registro de vibraciones en términos de PGV_{Max} y $f_{Nakamura}$.

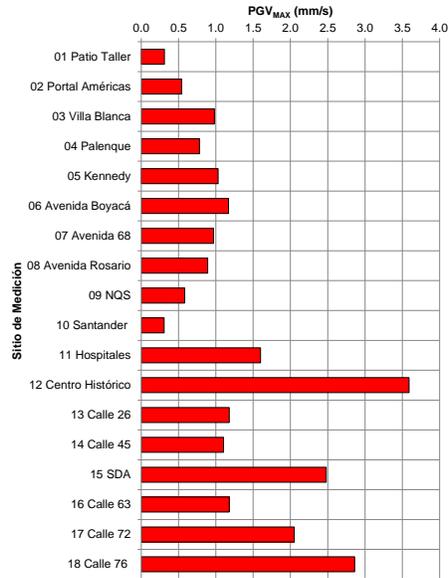


Figura 5.2.1-406 Valores de PGV_{Max}

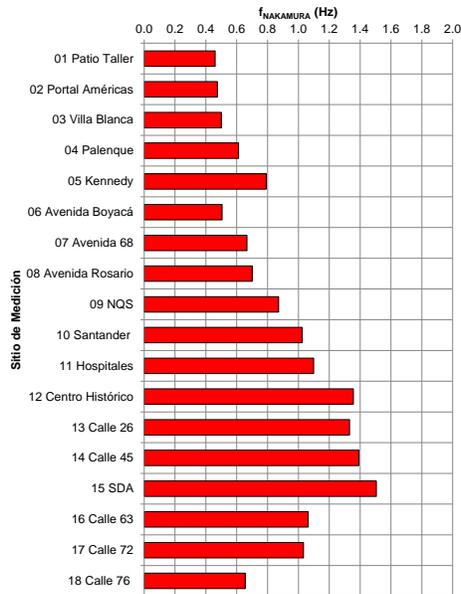


Figura 5.2.1-407 Valores de $f_{Nakamura}$

Como se mencionó anteriormente las recomendaciones de la DIN 4150 (2016), AS2187.2 (1993) y CALTRANS (2013) limitan la velocidad de partícula para afectación estructuras antiguas construidas en mampostería a 12,7 mm/s (0,5 in/s) en el caso de fuentes de vibraciones transientes (poco frecuentes) y de 7,6 mm/s para el caso de fuentes de vibración continuas. La

velocidad de partícula máxima estimada en las mediciones realizadas es de 3,59 mm/s (Centro Histórico) que es 47% del valor límite para vibraciones continuas y por lo tanto no se identifica que los niveles de vibración registrados puedan generar afectación a estructuras. Las Figuras que se presentan a continuación muestran una comparación de los registros de vibración contra los umbrales de sensibilidad humana y atención de estructuras para los puntos Centro Histórico y Patio-Taller, las Figuras para todos los puntos de registro son presentadas a manera de Anexo de este Documento. En estas Figuras se presentan las mediciones de los Canales 0, 1 y 2 (círculos rojos, rombos verdes y triángulos amarillos respectivamente) determinados con base en el análisis de señales. Como se observa que aún en el punto en el cual se registraron los mayores niveles de vibración (Centro Histórico) los mayores niveles de vibración son clasificados como entre fácilmente perceptibles a personas a intenso para personas per están por debajo de los límites para maquinaria y atención de estructuras. Por otro lado para el Patio-Taller los niveles de vibración actual son clasificados como no perceptibles para personas.

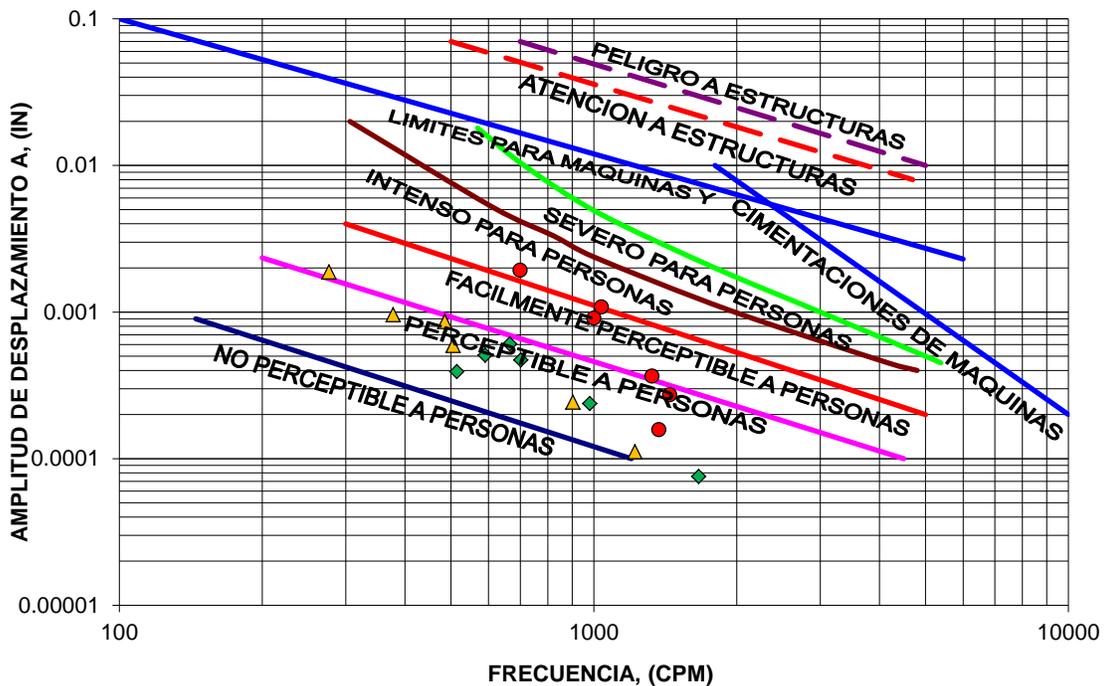


Figura 5.2.1-408 Comparación de registros de vibraciones con umbrales de movimiento para el punto 12 (Centro Histórico)

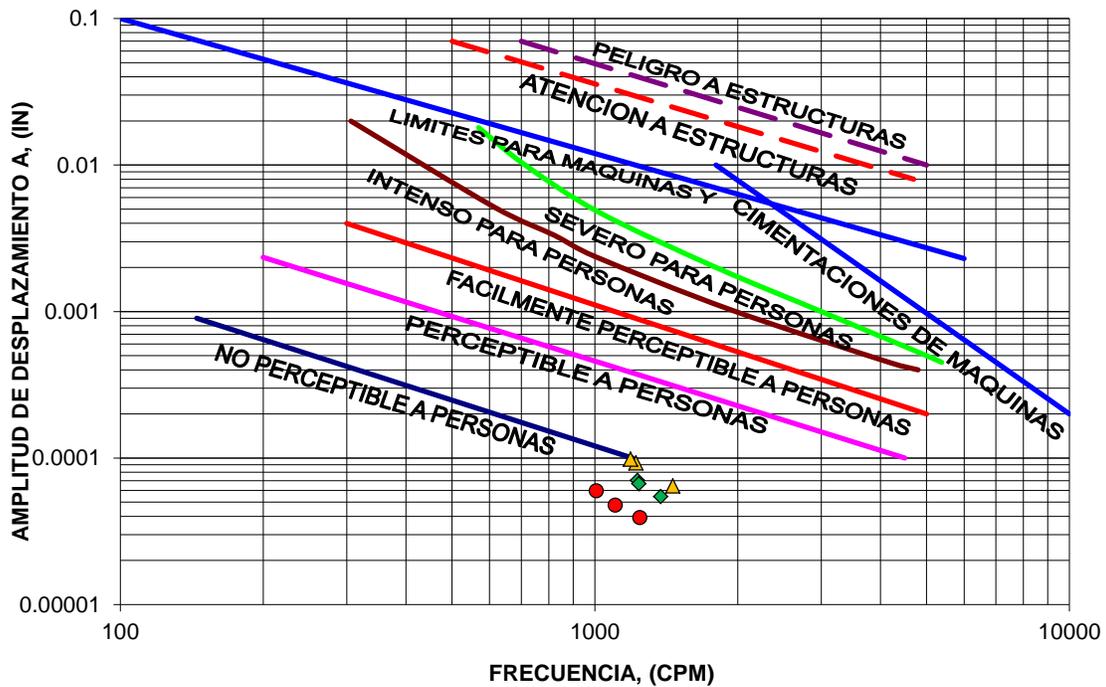


Figura 5.2.1-409 Comparación de registros de vibraciones con umbrales de movimiento para el punto 1 (Patio-Taller)

Con base en la frecuencia estimada implementando el método de Nakamura es posible calcular el periodo como el inverso de la frecuencia. La Figura que se presenta a continuación, muestra una comparación entre los periodos fundamentales de vibración del perfil estratigráfico de la ciudad e Bogotá (FOPAE, 2010) y los resultados de los análisis de HVSR (Nakamura). En general se observa que los periodos calculados mediante el método de Nakamura muestran las mismas tendencias que los periodos fundamentales del depósito con periodos mayores en los extremos occidental y norte del corredor de la Primera Línea del Metro. Sin embargo se encuentra que en las zonas con periodos fundamentales superiores a 1 segundo el método de Nakamura identifica periodos menores lo cual puede corresponder a modos superiores de vibración. Este resultado es consistente con ello encontrado en FOPAE (2010) en donde los periodos fundamentales calculados con microtrepidaciones utilizando el método de Nakamura son inferiores a los valores estimados como el modelo fundamental de la columna estratigráfica.

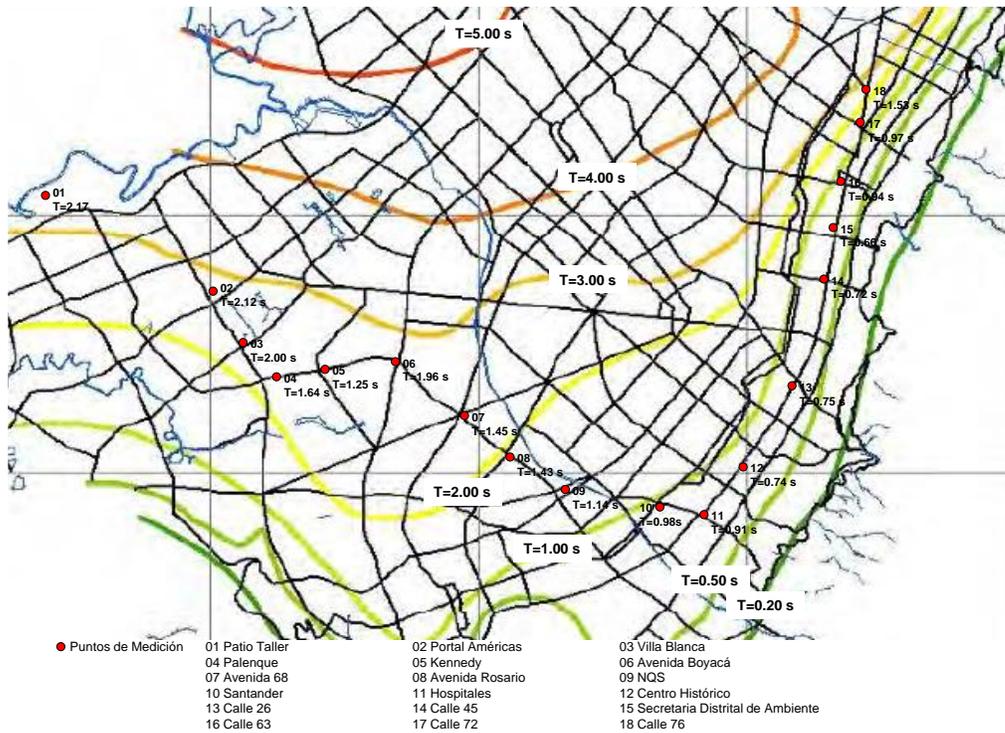


Figura 5.2.1-410 Comparación estimación periodo mediante el método de Nakamura contra los periodos fundamentales del depósito presentados en FOPAE (2010)

La siguiente Figura presenta los resultados promedio en términos de velocidad de partícula para los tres canales de medición del arreglo en el cual los sensores están en tres localizaciones diferentes. En esta Figura se puede observar que en los puntos con mayores niveles de vibración (Centro Histórico, SDA, Calle 72 y Calle 76) se encuentra una atenuación de la velocidad de partícula con la distancia entre 1,11 y 2,29 (promedio 1,63) para las mediciones realizadas en el aden y a 15 m. Lo anterior es importante teniendo en cuenta que las obras del proyecto Metro serán desarrolladas principalmente en el eje central de los corredores viales y por tanto cualquier vibración presentará atenuación y será inferior en la zona en donde se encuentran las estructuras colidantes. En puntos con bajos niveles de vibración no se observan cambios significativos con la distancia, lo cual se debe a que en estos sitios al no presentarse una fuente de vibración de mayor importancia como lo es Transmilenio, los niveles de vibración son casi los mismos en todos los puntos.

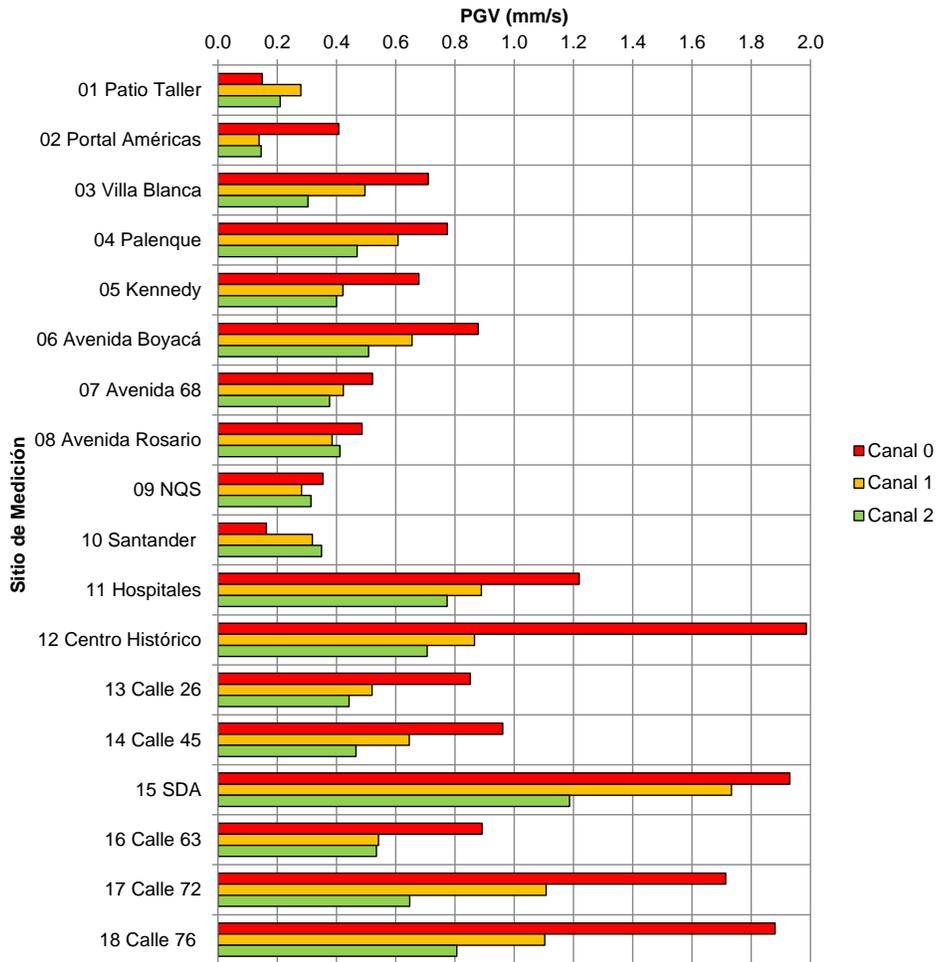


Figura 5.2.1-411 Valores de velocidad de partícula (PGV) para los tres canales de registro

5.2.1.22.2.1 Estimación de efectos durante la construcción del proyecto

Las actividades de construcción que generan mayores niveles de vibración corresponden al uso de explosivos para excavaciones en roca o el hincado de elementos de fundación (pilotes) o contención (tablestacados). En el desarrollo de la Primera Línea del Metro no se tiene previsto que se implementen actividades que involucren el uso de explosivos o el hincado de elementos de acero o concreto, con lo cual se minimiza cualquier tipo de afectación por vibraciones. Se tiene previsto que las cimentaciones profundas necesarias para la fundación del viaducto y las estaciones sean desarrolladas con pilotes pre-excavados, técnica que como lo define la norma inglesa BS7385-2 (1993) es una metodología de construcción de pilotes que genera bajos niveles de vibración y que solo en el caso de instalación de camisas de acero de gran longitud puede generar niveles de vibración que pudieran ser caracterizados como intensos para personas y que tengan capacidad de generar algún impacto en estructuras. Aun en el caso que las vibraciones asociadas con los procesos constructivos pudiesen generar valores de 1 mm/s (valor que constituye el límite superior de las casos de estudio reportados en la norma BS 5228-2:2009, para procesos constructivos que involucran pilotes pre-excavados) los niveles de vibración en la zona en el andén de los corredores viales serían inferiores al umbral de 7,6 mm/s, por otro lado y tal y

como lo presenta la siguiente Figura aún para el punto con el mayor nivel de vibración (Centro Histórico) el efecto de una vibración adicional de 1 mm/s no cambiaría la clasificación de nivel de vibraciones. Se anota que el valor de 1 mm/s se considera un nivel de vibración superior al que se espera que se genere por las actividades de construcción del viaducto y estaciones que hacen parte de la Primera Línea del Metro correspondiendo a un análisis conservador, lo anterior teniendo en cuenta que el valor de 1 mm/s corresponde al máximo valor reportado en BS 5228-2:2009 en el caso de pilotes pre-excavados cuando se alcanza roca dura en la base del pilote. Se resalta que en el caso de la Primera Línea del Metro de Bogotá los pilotes que servirán de cimentación para el viaducto y las estaciones en algunos sitios puntuales alcanzarán un estrato clasificado como roca, sin embargo, las formaciones rocosas que se pueden encontrar en la zona de estudio a las profundidades de desplante de los pilotes han sido clasificadas como rocas blandas. Al ser rocas de menor resistencia se prevé que los niveles de vibración generados durante la excavación sean menores que los niveles de vibración que se podría generar en el caso de excavación de rocas de dureza media a dura, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se considera que la estimación de un nivel máximo de vibración durante la construcción del proyecto de 1 mm/s es conservador.

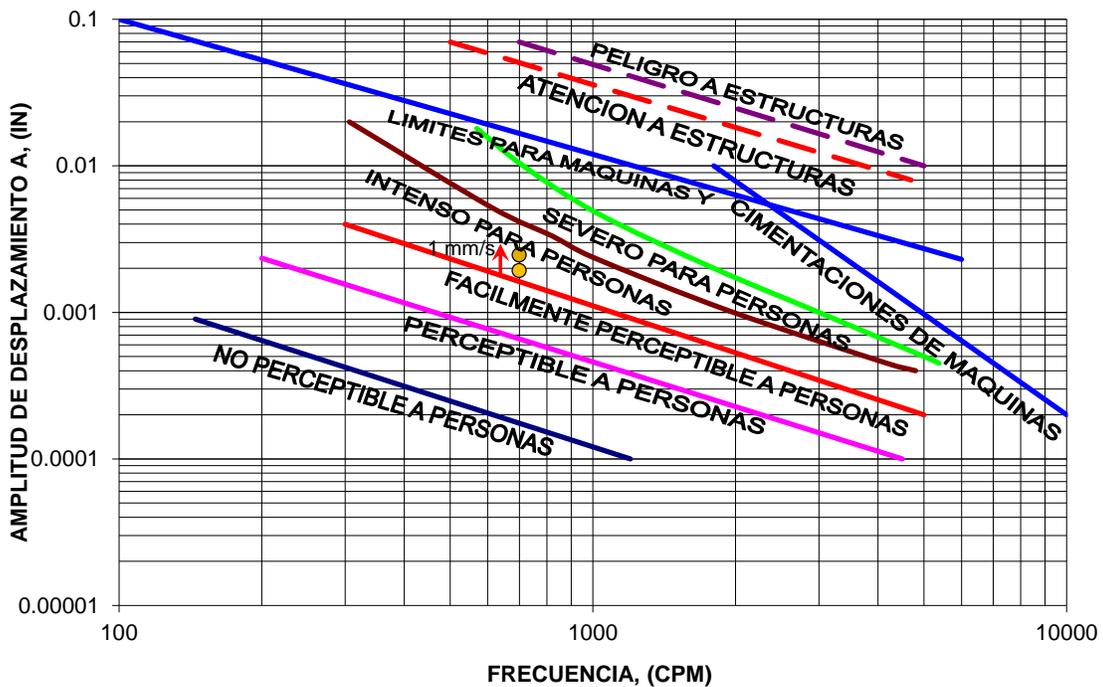


Figura 5.2.1-412 Efecto de vibraciones adicionales de con PGV de 1 mm/s durante construcción.

Adicionalmente se identifica que otra posible fuente de vibraciones durante la etapa de construcción es el tráfico de los vehículos pesados requeridos para el movimiento de tierras asociado con el proyecto, los niveles de vibración que pueden ser inducidos por el tráfico de vehículos pesados son caracterizados como menores o iguales a los que puede generar el tráfico de Transmilenio y están limitados y controlados en el Plan de Manejo de Tráfico (PMT).

Teniendo en cuenta lo anterior no se identifican impactos asociados con vibraciones durante la construcción del proyecto que pudieran generar afectación a estructuras. Es importante anotar que aunque las actividades asociadas con la construcción del proyecto no representan una fuente que pudiera generar afectación de estructuras sí podrían aumentar los niveles actuales aumentando la posibilidad que superen los límites de sensibilidad a personas.

5.2.1.22.2.2 Estimación de efectos durante la operación del proyecto

La definición de los apoyos y conectores del material rodante en la estructura del viaducto y las estaciones del Metro minimiza los efectos de vibración al tener elementos que disipan energía en la conexión de los rieles o vías del material rodante y las estructuras del Metro. La Figura que se presenta a continuación muestra los límites máximos de vibración que podrían ser generados durante la operación de la Primera Línea del Metro, se observa que los niveles de vibración previstos son muy inferiores a 1 mm/s (el nivel máximo de vibración previsto producto de la operación de la Primera Línea del Metro es ligeramente superior a 0.3 mm/s) y por tanto los efectos en términos de vibraciones del proyecto son inferiores a los estimados para la etapa de construcción, niveles que como se ha presentado anteriormente son clasificados como bajos, teniendo en cuenta los procesos constructivos previstos para el desarrollo de la Primera Línea del Metro. Con base en lo anterior no se identifican impactos por vibraciones durante la operación del proyecto que pudieran generar afectación a estructuras.

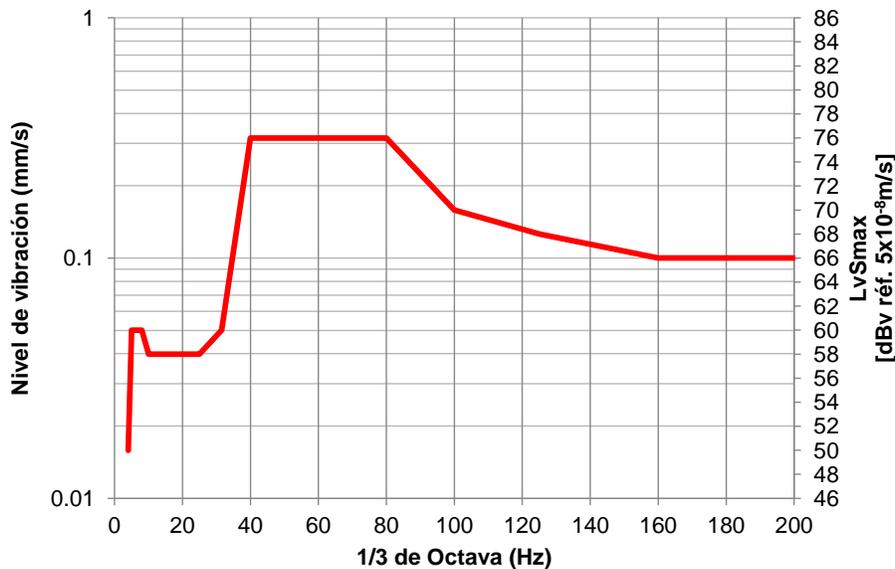


Figura 5.2.1-413 Niveles de vibración esperados a pie de pila del Metro.

5.2.1.22.2.3 Efectos de vibraciones a las estructuras adyacentes

Como se mencionó anteriormente no se espera que los niveles de vibración a lo largo del corredor de la Primera Línea del Metro se modifiquen de manera significativa durante las etapas de construcción y operación del proyecto razón por la cual no se identifica un potencial de afectación a estructuras. En algunos puntos del corredor los niveles de vibración son clasificados como fácilmente perceptibles a intensos para personas, clasificación que no variará durante la construcción y operación del proyecto. Para las estructuras que se encuentran a lo largo del corredor los niveles de aceleración y velocidad son inferiores a los umbrales de daño y muy inferiores a los espectros de diseño sísmico definidos en el Decreto 523 de 2010 para la ciudad de Bogotá. En la Figura que se presenta a continuación se observa que los niveles de aceleración registrados en el punto que presenta los mayores niveles de vibración son muy inferiores a los requerimientos del Decreto 523 de 2010 para el diseño sísmico de estructuras. Lo anterior es consistente con lo presentado en este numeral según lo cual aunque las vibraciones son

perceptibles para el ser humano (en particular en el tramo de la Avenida Caracas) están muy lejos de los umbrales de afectación de estructuras, aún para estructuras patrimoniales.

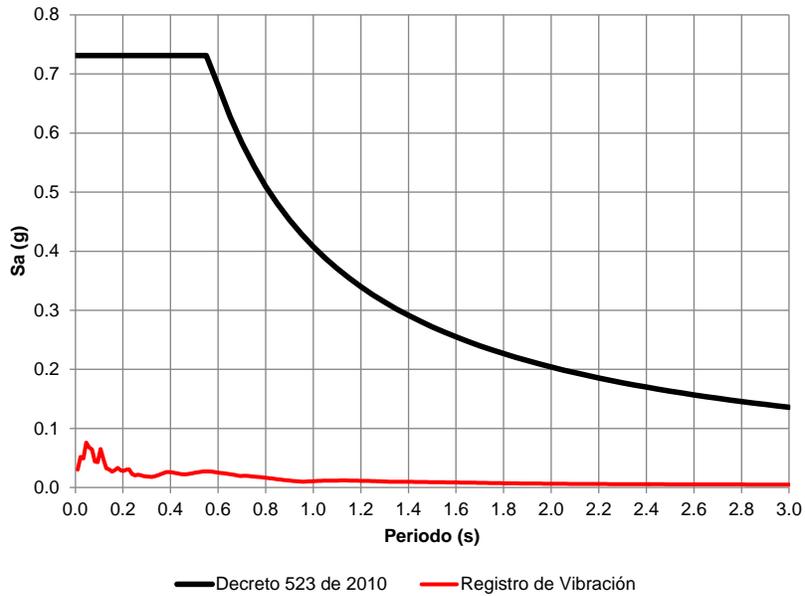


Figura 5.2.1-414 Comparación espectros de respuesta

5.2.1.23 ANEXOS

Anexo 5.2.1.1 Fuentes de Emisión (Bases de Datos - SDA)

Anexo 5.2.1.2 Calidad del aire (monitoreos)

Anexo 5.2.1.3 Modelo de dispersión (Informe y anexos)

Anexo 5.2.1.4 Ruido Ambiental (Monitoreo)

Anexo 5.2.1.5 Modelo de Ruido (Informe y anexos)

Anexo 5.2.1.6 Receptores de los niveles de ruido

Anexo 5.2.1.7 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0008_RA

Anexo 5.2.1.8 ETPLMB-ET19-L04-PLA-I-0019A_RA

Anexo 5.2.1.9 Vibraciones

Anexo 5.2.1.10 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0005_RA.

Anexo 5.2.1.11 ETPLMB-ET19-L04-PLA-I-0011_RA

Anexo 5.2.1.12 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0004_RA

Anexo 5.2.1.13 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0003_RA

Anexo 5.2.1.14 ETPLMB-ET19-L04-PLA-G-0006_RA

Anexo 5.2.1.15 ETPLMB-ET14-L00-PLA-J-0001_RC