

LAGOS DE TORCA

FASE I. Actualización de los estudios conceptuales del Contrato EAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca

PRODUCTO 3: ESTUDIO DE SUELOS, GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

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



Bogotá D.C., 6 de mayo de 2020

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificación	Folios
00	2019-04-02	Versión Original	84
01	2019-05-09	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-028 de fecha 23 de abril de 2019)	257
02	2019-06-07	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-041 de fecha 21 de mayo de 2019)	356
03	2019-07-05	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-052 de fecha 2 de julio de 2019)	356
04	2019-10-22	Observaciones de Interventoría: comunicaciones: <ul style="list-style-type: none"> • H2O-FDLT-0001-IWSP-064 de fecha 19 de julio de 2019 • H2O-FDLT-0001-IWSP-094 de fecha 19 de septiembre de 2019 • H2O-FDLT-0001-IWSP-097 de fecha 30 de septiembre de 2019 	452
05	2020-01-23	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-106 de fecha 5 de noviembre de 2019)	470
06	2020-02-28	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-115 de fecha 3 de febrero de 2020)	511
07	2020-04-06	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-121 de fecha 11 de marzo de 2020)	527
08	2020-04-22	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-127 de fecha 13 de abril de 2020)	546
09	2020-05-06	Observación de Interventoría (comunicación H2O-FDLT-0001-/WSP-129 de fecha 29 de abril de 2020)	551

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

Validado por	Revisado por	Aprobado por
Pablo Antonio Garzón C.	Rodrigo Ballén	Danilo Arturo Rodríguez C.
Especialista en Geotecnia	Coordinador	Director de proyecto

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	20
2 OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS.....	21
3 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	22
4 METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS	24
5 INFORMACIÓN DE REFERENCIA (RECOPIADA).....	31
6 ESTUDIO GEOLÓGICO	39
7 ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO	51
8 ANÁLISIS MULTITEMPORAL	65
9 ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	95
10 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO	291
11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	516
12 REFERENCIAS.....	530

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Localización general del proyecto	23
Figura 2 Esquema propuesto para la construcción de la base de datos.....	26
Figura 3 Flujo de trabajo y elementos a considerar durante el desarrollo o actualización de un modelo hidrogeológico conceptual.....	28
Figura 4 Integración del Modelo Hidrogeológico Conceptual	29
Figura 5 Mapa de Amenaza por remoción en masa.....	32
Figura 6 Mapa de Amenaza por inundación.....	33
Figura 7 Mapa de Amenaza por Avenidas Torrenciales – Mapa General.....	34
Figura 8 Mapa de Amenaza por Avenidas Torrenciales - Detalle.....	35
Figura 9 Mapa de Zonas de Respuesta Sísmica de Bogotá.....	37
Figura 10 Número de perforaciones según rango de profundidad.....	38
Figura 11 Mapa geológico general de la Sabana de Bogotá.	40
Figura 12 Mapa Geológico de Bogotá.....	42
Figura 13 Columna estratigráfica de la Sabana de Bogotá	44
Figura 14 Esquema de jerarquización - Geomorfología	52
Figura 15 Mapa geomorfológico del área de estudio (2019)	62
Figura 16 Procesos morfodinámicos área del proyecto.....	64
Figura 17 Fotointerpretación 1956-1971 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)	65
Figura 18 Fotointerpretación 1971-1984 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)	66
Figura 19 Fotointerpretación 1984-1998 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)	66
Figura 20 Fotointerpretación 1998-2004 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)	67
Figura 21 Análisis multitemporal año 1956	70
Figura 22 Análisis multitemporal año 1960	71
Figura 23 Análisis multitemporal año 2007	72
Figura 24 Análisis multitemporal año 2010	73
Figura 25 Análisis multitemporal año 2014	74
Figura 26 Análisis multitemporal año 2016	75
Figura 27 Análisis multitemporal año 2019	76
Figura 28 Quebrada Aguas Calientes, cambios morfológicos	78
Figura 29 Quebrada Patiño, cambios morfológicos.....	80
Figura 30 Cambios morfológicos, quebrada San Juan.....	82
Figura 31 Cambios morfológicos, quebrada La Floresta	85
Figura 32 Cambios morfológicos, quebrada Torca.....	87
Figura 33 Cambios morfológicos, quebrada Tibabita	88
Figura 34 Cambios Morfológicos, Quebrada Novita	90
Figura 35 Cambios Morfológicos, quebrada Cañizares.....	92
Figura 36 Zona inundable aledaña, al trazado original de la quebrada Pilas.....	93
Figura 37 Cambios Morfológicos, quebrada Pilas	94
Figura 38 Mapa de Zonas Geotécnicas de Bogotá	96
Figura 39 Nivel freático reportado en las perforaciones existentes	110
Figura 40 Variación de propiedades índice - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO	112
Figura 41 Carta de Plasticidad - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO.....	113
Figura 42 Variación de resistencia al corte - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO	114

Figura 43 Variación de propiedades índice - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE	116
Figura 44 Carta de Plasticidad - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE.	117
Figura 45 Variación de resistencia al corte - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE	118
Figura 46 Variación de propiedades índice - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190...	120
Figura 47 Carta de Plasticidad - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190.....	121
Figura 48 Variación de resistencia al corte - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190 ...	122
Figura 49 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO	124
Figura 50 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO	125
Figura 51 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO	126
Figura 52 Variación de propiedades índice - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	128
Figura 53 Carta de Plasticidad - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	129
Figura 54 Variación de resistencia al corte - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	130
Figura 55 Variación de propiedades índice - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	132
Figura 56 Carta de Plasticidad - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	133
Figura 57 Variación de resistencia al corte - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	134
Figura 58 Variación de propiedades índice - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	136
Figura 59 Carta de Plasticidad - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	137
Figura 60 Variación de resistencia al corte - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	138
Figura 61 Variación de propiedades índice - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	140
Figura 62 Carta de Plasticidad - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	141
Figura 63 Variación de resistencia al corte -CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	142
Figura 64 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	144
Figura 65 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	145
Figura 66 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	146
Figura 67 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1	148
Figura 68 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1.....	149
Figura 69 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1	150

Figura 70 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2.....	152
Figura 71 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2	153
Figura 72 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2.....	154
Figura 73 Variación de propiedades índice - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	156
Figura 74 Carta de Plasticidad - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	157
Figura 75 Variación de resistencia al corte - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	158
Figura 76 Variación de propiedades índice - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	160
Figura 77 Carta de Plasticidad - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	161
Figura 78 Variación de resistencia al corte - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	162
Figura 79 Variación de propiedades índice - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	164
Figura 80 Carta de Plasticidad - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	165
Figura 81 Variación de resistencia al corte - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	166
Figura 82 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	168
Figura 83 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	169
Figura 84 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	170
Figura 85 Variación de propiedades índice - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	172
Figura 86 Carta de Plasticidad - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	173
Figura 87 Variación de resistencia al corte - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	174
Figura 88 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1.	176
Figura 89 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1	177
Figura 90 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1.	178
Figura 91 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	180
Figura 92 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2	181
Figura 93 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	182
Figura 94 Variación de propiedades índice - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	184
Figura 95 Carta de Plasticidad - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	185
Figura 96 Variación de resistencia al corte - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	186
Figura 97 Variación de propiedades índice - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.	188
Figura 98 Carta de Plasticidad - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA	189

Figura 99 Variación de resistencia al corte - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.	190
Figura 100 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.	192
Figura 101 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN	193
Figura 102 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.	194
Figura 103 Variación de propiedades índice - . AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	196
Figura 104 Carta de Plasticidad - AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	197
Figura 105 Variación de resistencia al corte - . AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	198
Figura 106 Variación de propiedades índice - . AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	200
Figura 107 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA	201
Figura 108 Variación de resistencia al corte - . AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	202
Figura 109 Variación de propiedades índice - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL	204
Figura 110 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL	205
Figura 111 Variación de resistencia al corte - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL	206
Figura 112 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210.	208
Figura 113 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	209
Figura 114 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	210
Figura 115 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1.....	212
Figura 116 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	213
Figura 117 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1.....	214
Figura 118 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	216
Figura 119 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	217
Figura 120 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	218
Figura 121 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1	220
Figura 122 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1	221
Figura 123 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1	222

Figura 124 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2	224
Figura 125 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2	225
Figura 126 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2	226
Figura 127 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	228
Figura 128 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	229
Figura 129 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	230
Figura 130 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	232
Figura 131 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	233
Figura 132 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	234
Figura 133 Variación de propiedades índice - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7	236
Figura 134 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7	237
Figura 135 Variación de resistencia al corte - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7	238
Figura 136 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	240
Figura 137 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	241
Figura 138 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	242
Figura 139 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	244
Figura 140 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	245
Figura 141 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	246
Figura 142 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	248
Figura 143 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	249
Figura 144 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	250
Figura 145 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	252
Figura 146 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	253
Figura 147 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	254

Figura 148 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	256
Figura 149 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	257
Figura 150 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	258
Figura 151 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).	260
Figura 152 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).....	261
Figura 153 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).	262
Figura 154 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	264
Figura 155 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	265
Figura 156 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	266
Figura 157 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.....	268
Figura 158 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN	269
Figura 159 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.	270
Figura 160 Variación de propiedades índice - HACIENDA SAN SIMÓN	272
Figura 161 Carta de Plasticidad - HACIENDA SAN SIMÓN	273
Figura 162 Variación de resistencia al corte - HACIENDA SAN SIMÓN	274
Figura 163 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).	276
Figura 164 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	277
Figura 165 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).	278
Figura 166 Variación de propiedades índice - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA.....	280
Figura 167 Carta de Plasticidad - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA	281
Figura 168 Variación de resistencia al corte - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA.....	282
Figura 169 Variación de propiedades índice - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.....	284
Figura 170 Carta de Plasticidad - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.....	285
Figura 171 Variación de resistencia al corte - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.....	286
Figura 172 Variación de propiedades índice - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES.....	288
Figura 173 Carta de Plasticidad - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES.....	289

Figura 174 Variación de resistencia al corte - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES.....	290
Figura 175 Red de piezómetros monitoreados por el Consorcio Borde Norte (2011).....	292
Figura 176 Líneas de isopropfundidades de niveles de la tabla de agua (primer nivel saturado)	293
Figura 177 Características de los piezómetros instalados por el Consorcio Borde Norte Bogotá (2011).....	295
Figura 178 Estado actual red de monitoreo	306
Figura 179 Localización de los piezómetros construidos en el presente proyecto.....	308
Figura 180 Diseño y características constructivas de los cuatro piezómetros levantados en el presente estudio.....	309
Figura 181 Diseño del piezómetro PZ-WSP-1.....	310
Figura 182 Diseño del piezómetro PZ-WSP-2.....	311
Figura 183 Diseño del piezómetro PZ-WSP-3.....	312
Figura 184 Diseño del piezómetro PZ-WSP-4.....	313
Figura 185 Evaluación de la red de monitoreo en 6 campañas Vs Precipitación -valores mensuales	327
Figura 186 Precipitación Vs Niveles de la tabla de agua en todas las campañas en datos diarios.....	328
Figura 187 Variaciones de nivel de la tabla de agua (cota) Vs precipitación	338
Figura 188 Variaciones de nivel de la tabla de agua (cota) Vs precipitación	338
Figura 189 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 1 a lo largo de las seis campañas.....	340
Figura 190 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 2 a lo largo de las seis campañas.....	342
Figura 191 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 3 a lo largo de las seis campañas.....	344
Figura 192 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 4 a lo largo de las seis campañas.....	346
Figura 193 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 1 (Primera lectura).....	349
Figura 194 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 1 (Segunda lectura).....	350
Figura 195 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 2 (21 de mayo al 18 de junio)	351
Figura 196 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 3 (18 de junio al 17 de julio)	352
Figura 197 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 4 (18 de julio al 16 de agosto)	353
Figura 198 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 5 (17 de agosto – al 13 de septiembre)	354
Figura 199 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 6 (14 de septiembre al 9 de octubre)	355
Figura 200 Resultados pH	365
Figura 201 Resultados Temperatura [°C].....	366
Figura 202 Resultados Conductividad.....	369
Figura 203 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo I. Aguas subterráneas y superficiales.....	370
Figura 204 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo II. Aguas subterráneas y superficiales.....	371
Figura 205 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo III. Aguas subterráneas y superficiales.....	372
Figura 206 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo IV. Aguas subterráneas y superficiales.....	373

Figura 207 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-1 Acueducto EAB.....	374
Figura 208 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-2 FAC.	375
Figura 209 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-3 Guaymaral.	376
Figura 210 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-4 Predio Valmaria. ...	377
Figura 211 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Datos promedio de todos los piezómetros.	378
Figura 212 Resultados Solidos Disueltos Totales y Solidos Totales Volátiles	379
Figura 213 Resultados Oxígeno Disuelto	381
Figura 214 Resultados Sulfatos	382
Figura 215 Resultados Coliformes Totales	384
Figura 216 Resultados PH en fuentes superficiales-Quebradas y humedales	385
Figura 217 Resultados PH en piezómetros fuentes subterráneas	386
Figura 218 Resultados temperatura en fuentes superficiales-Quebradas y humedales .	387
Figura 219 Resultados temperatura en fuentes subterráneas piezómetros	388
Figura 220 Resultados conductividad en fuentes subterráneas piezómetros	388
Figura 221 Resultados conductividad en fuentes superficiales-Quebradas y humedales	389
Figura 222 Esquema conceptual del balance hídrico	391
Figura 223 Corte hidrogeológico esquemático de la sabana de Bogotá.....	392
Figura 224 Perfil Geológico NW – SE,	395
Figura 225 Modelo hidrogeológico esquemático de la cuenca de la sabana de Bogotá .	398
Figura 226 Balance hídrico a nivel anual de la sabana de Bogotá	400
Figura 227 Estructura del modelo numérico construido por JICA.....	401
Figura 228 Definición de la grilla del modelo geológico 3D	402
Figura 229 Distribución en superficie de las perforaciones usadas para la construcción del modelo 3D	403
Figura 230 Representación espacial de los caudales de explotación en la zona de estudio.	405
Figura 231 Sectorización de los niveles en función de los abatimientos. Esto se hace para realizar el análisis de la evolución temporal del nivel.	407
Figura 232 Localización y evolución temporal de los pozos localizados en el grupo 3. Izquierda: Localización y el valor puntual entre la diferencia de nivel medido entre la más reciente a la más antigua, derecha: Evolución temporal de los niveles	408
Figura 233 Mapa de Isopiezas Subsuperficiales en el Distrito Capital	409
Figura 234 Precipitación diaria estaciones analizadas	413
Figura 235 Precipitación datos mensuales multianuales.	413
Figura 236 Precipitación datos mensuales 2019.....	414
Figura 237 Recarga Potencial para el Área de Lagos de Torca	417
Figura 238. Gráfica de la distribución de la recarga potencial al acuífero a lo largo del año.	437
Figura 239 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-1 Acueducto EAB.....	438
Figura 240 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-2 FAC	438

Figura 241 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-3 Guaymaral.	439
Figura 242 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-4 Predio Valmaría.	439
Figura 243 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua promedio de los PZ-1, PZ-2, PZ-3 y PZ-4.	440
Figura 244 Registro eléctrico PZ-WSP-1-Predio EAB.	441
Figura 245 Registro eléctrico PZ-WSP-2-Predio FAC.	442
Figura 246 Registro eléctrico PZ-WSP-3-Predio EL MIMBRE.	442
Figura 247 Registro eléctrico PZ-WSP-4-Predio VALMARIA.	443
Figura 248 Interpretación Registro eléctrico PZ-WSP-1-Predio EAB.	444
Figura 249 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-2-Predio FAC.	445
Figura 250 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-3-Predio EL MIMBRE.	446
Figura 251 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-4-Predio VALMARIA.	447
Figura 252 Secciones de análisis del modelo geométrico.	448
Figura 253 Modelo geométrico del acuífero somero de Lagos de Torca.	449
Figura 254 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 1 (Primera lectura)	451
Figura 255 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 1 (Segunda lectura)	452
Figura 256 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 2.	453
Figura 257 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 3.	454
Figura 258 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 4.	455
Figura 259 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 5.	456
Figura 260 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 6.	457
Figura 261 Esquema de prueba de carga hidráulica.	461
Figura 262 Mapa de Unidades Hidrogeológicas en el área de estudio Lagos de Torca.	471
Figura 263 Tipos de agua encontrados en los pozos de la Formación Sabana.	472
Figura 264 Modelo hidrogeológico conceptual lagos de Torca (MHC).	477
Figura 265 Malla y celdas del modelo numérico.	480
Figura 266 Detalle de la malla.	481
Figura 267 Configuración vertical del modelo.	482
Figura 268 Vista 3D exagerada para visualizar las capas.	482
Figura 269 Identificación por colores de las capas.	482
Figura 270 Asignación de elevación para el área de evaluación.	483
Figura 271 Configuración vertical del modelo – Detalle de elevación, Vista 3D.	483
Figura 272 Asignación de parámetros hidráulicos por capa- componente x. Incluye distribución a profundidad.	486
Figura 273 Distribución de parámetros hidráulicos para unidades en superficie.	487
Figura 274 Asignación de parámetros hidráulicos en profundidad del Acuícludo - Formación Chía.	487
Figura 275 Asignación de parámetros hidráulicos – Figura de detalle en profundidad del Acuícludo - Formación Chía.	488
Figura 276 Relación de vacíos y porosidad en diferentes tipos de material.	488
Figura 277 Asignación de cabezas hidráulicas y piezómetros de observación.	490
Figura 278 Asignación de puntos de observación.	491
Figura 279 Inserción - Humedal Lagos de Torca.	492
Figura 280 Asignación de la recarga.	493
Figura 281 Calibración del modelo.	494
Figura 282 Modelo numérico en elementos finitos – Cabezas hidráulicas.	495

Figura 283 Modelo numérico – Presiones-planta	496
Figura 284 Modelo numérico – Cabezas hidráulicas en perfil	496
Figura 285 Isopiezas Simuladas Vs Isopiezas Campaña Mes de Mayo	497
Figura 286 Balance general en estado estacionario.....	498
Figura 287 Balance humedal - acuícludo en estado estacionario.....	498
Figura 288 Balance Acuícludo en estado estacionario	499
Figura 289 Mapa de coberturas y usos proyectados para el Borde Norte, Decreto 088 de 2017.	501
Figura 290 Modelo transitorio asignación de Conductividades.....	502
Figura 291 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 1.....	503
Figura 292 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 2.....	503
Figura 293 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 3.....	504
Figura 294 Modelo transitorio asignación de Conductividades capas superficiales.....	505
Figura 295 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 0.....	506
Figura 296 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 1	506
Figura 297 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 1 y 182,5 días.....	507
Figura 298 Modelo transitorio resultados de la simulación 2	507
Figura 299 Modelo transitorio resultados de la simulación 3D	508
Figura 300 Valores de recarga en serie de tiempo transitorio	508
Figura 301 Modelo transitorio resultados de la simulación 3D-recarga	509
Figura 302 Variación del nivel piezométrico en planta	510
Figura 303 Variación del nivel piezométrico en perfil	510
Figura 304 Isopiezas en estado transitorio Vs Isopiezas.....	511
Figura 305 Calibración cabezas hidráulicas en modelo transitorio	512
Figura 306 Balance de masas general en estado transitorio	513
Figura 307 Balance de masas general en estado transitorio en los tiempos 365, 547.5 y 730 días.....	513
Figura 308 Balance de masas general en estado estacionario	514
Figura 309 Balance de masas a través del tiempo en estado transitorio - zona impermeabilizada.....	514
Figura 310 Balance de masas en estado transitorio - Humedal	515
Figura 311 Balance de masas en estado estacionario - Humedal.....	515

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Descripción de las zonas de respuesta sísmica	36
Tabla 2 Unidades geológicas presentes en el área de estudio	43
Tabla 3 Unidades geomorfológicas para el área de estudio	54
Tabla 4 Descripción de las zonas geotécnicas.....	95
Tabla 5 Número de perforaciones por Zona Geotécnica	97
Tabla 6 Relación de perforaciones por cada tramo vial.....	101
Tabla 7 Propiedades geotécnicas promedio - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO.....	111
Tabla 8 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE	115
Tabla 9 Propiedades geotécnicas promedio - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190.	119
Tabla 10 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO.....	123
Tabla 11 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	127
Tabla 12 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	131
Tabla 13 Propiedades geotécnicas promedio - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	135
Tabla 14 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	139
Tabla 15 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	143
Tabla 16 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1	147
Tabla 17 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2	151
Tabla 18 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	155
Tabla 19 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	159
Tabla 20 Propiedades geotécnicas promedio - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	163
Tabla 21 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	167
Tabla 22 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	171
Tabla 23 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1	175
Tabla 24 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	179
Tabla 25 Propiedades geotécnicas promedio - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.....	183
Tabla 26 Propiedades geotécnicas promedio - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.....	187
Tabla 27 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.....	191

Tabla 28 Propiedades geotécnicas promedio - AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	195
Tabla 29 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.....	199
Tabla 30 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL.....	203
Tabla 31 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210.....	207
Tabla 32 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1.....	211
Tabla 33 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	215
Tabla 34 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1.....	219
Tabla 35 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2.....	223
Tabla 36 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1.....	227
Tabla 37 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2.....	231
Tabla 38 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7.....	235
Tabla 39 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1.....	239
Tabla 40 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2.....	243
Tabla 41 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210.....	247
Tabla 42 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1.....	251
Tabla 43 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2.....	255
Tabla 44 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).....	259
Tabla 45 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	263
Tabla 46 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.....	267
Tabla 47 Propiedades geotécnicas promedio - HACIENDA SAN SIMÓN.....	271
Tabla 48 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).....	275
Tabla 49 Propiedades geotécnicas promedio - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA.....	279
Tabla 50 Propiedades geotécnicas promedio - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.....	283
Tabla 51 Propiedades geotécnicas promedio - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES.....	287
Tabla 52 Resumen de Inventario de piezómetros.....	294

Tabla 53 Resumen de las visitas realizadas a los piezómetros instalados por el Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011; y los puntos de monitoreo realizados en los cementerios. ...	296
Tabla 54 Características de los piezómetros construidos.....	314
Tabla 55 Piezómetros monitoreados en 6 campañas durante la actual red de monitoreo.	321
Tabla 56 Tabla compilada de los niveles piezométricos “in situ” monitoreados en las – Campañas 1, 2, 3, 4, 5 y 6	322
Tabla 57 Evaluación de la red de monitoreo (Altura del nivel de la tabla de agua -cota) en 6 campañas Vs Precipitación.....	325
Tabla 58 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 1	329
Tabla 59 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 2	330
Tabla 60 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 3	331
Tabla 61 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 4	331
Tabla 62 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 5.....	332
Tabla 63 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 6	333
Tabla 64 Piezómetros con <i>Divers</i> instalados.....	336
Tabla 65 Niveles de la tabla de agua (cota) evaluados en las seis campañas (Pz-WSP)	337
Tabla 66 Valores estadísticos calculados para cada campaña	339
Tabla 67 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-1-PREDIO EAB.....	360
Tabla 68 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-2-PREDIO FAC.....	361
Tabla 69 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE	362
Tabla 70 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA	363
Tabla 71 Estaciones pluviográficas área de estudio.....	412
Tabla 72 Variables y evaluación de zonas de recarga	414
Tabla 73. Precipitación mensual acumulada del año 2019 en las estaciones meterológicas del estudio.	420
Tabla 74. Componentes del coeficiente de infiltración según la metodología de Schosinsky & Losilla, 2000.	422
Tabla 75. Conductividad hidráulica de suelo saturado de acuerdo con la clasificación textural del suelo.....	423
Tabla 76. Valores de conductividad hidráulica específicos y promedio ponderado con respecto al área total de estudio.	423
Tabla 77. Características del suelo según su clasificación textural.	428
Tabla 78. Estaciones meteorológicas para datos de T y Ps.	429
Tabla 79. Registros de temperatura media mensual para el año 2019 en el área de estudio.	429
Tabla 80. Registros de porcentaje de horas de sol con respecto al periodo entre 10-2017 y 09-2018 en el área de estudio.	430
Tabla 81. Profundidad de raíces según el tipo de vegetación.	431
Tabla 82. Conversión de variables de peso por porcentaje de suelo seco a milímetros.	431
Tabla 83. Variables de entrada para el balance hídrico de suelos.	435
Tabla 84. Variables calculadas y resultados del balance hídrico suelos.....	436
Tabla 85 Descripción de las capas del modelo geométrico del acuífero somero de Lagos de Torca.	449

Tabla 86 Valores de permeabilidad estimados para sedimentos.....	458
Tabla 87 Clasificación de sedimentos según su permeabilidad.	458
Tabla 88 Valores de permeabilidad hallados en cada piezómetro de Lagos de Torca ...	459
Tabla 89 Rangos de permeabilidad hasta los 8 m de espesor	460
Tabla 90 Rangos de permeabilidad entre los 8 y 14 m de profundidad.	462
Tabla 91 Clasificación General para la definición de unidades hidrogeológicas.	463
Tabla 92 Definición de unidades hidrogeológicas estudio Lagos de Torca	465
Tabla 93 Valores de Permeabilidad por capa, Lagos de Torca	484
Tabla 94 Valores de permeabilidad por capa, Lagos de Torca -Argumento de Inserción	485
Tabla 95 Valores de porosidad por capa, Lagos de Torca	489
Tabla 96 Tipos de condiciones de borde.....	490
Tabla 97 Resumen de perforaciones ejecutadas en la zona de estudio	522
Tabla 98 Resumen de asignación de perforaciones por tramo vial	523

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1 Formación Plaeners (Ksgp), sobre la cordillera oriental.	45
Fotografía 2 Limite entre la Formación Guaduas (Kpgg) y la Formación Sabana (Qsa), ubicada en el cerro la Conejera.	46
Fotografía 3 Se ve el límite entre el Grupo Guadalupe y la Formación Sabana (Qsa1) ...	47
Fotografía 4 Formación Chía (Qch1)	48
Fotografía 5 Depósitos de pendientes (Qdp1), sobre la cordillera oriental, limitados por la Formación Plaeners (Ksgp).	49
Fotografía 6 Rellenos antrópicos (Qra1)	49
Fotografía 7 Planos y rellenos antrópicos (Ar) dentro del área de estudio	55
Fotografía 8 Lago ubicado en el costado occidental del cementero Jardines de Paz.....	59
Fotografía 9 Contacto entre Fpi y Fpla.....	60
Fotografía 10 Planicie de inundación cerca de Bima.....	61
Fotografía 11 Quebrada Aguas Calientes	77
Fotografía 12 Quebrada Patiño.....	79
Fotografía 13 Quebrada San Juan.....	81
Fotografía 14 Quebrada la Floresta, costado occidental de la autopista, canalización paralela al centro comercial Bima.	83
Fotografía 15 Quebrada la Floresta	84
Fotografía 16 Canalización quebrada Torca	86
Fotografía 17 Foto Quebrada Novita sobre el costado occidental de la autopista Norte. .	89
Fotografía 18 Quebrada Cañizares sobre la carrera séptima	91
Fotografía 19 Piezómetro PZ-3, Conjunto residencia San Simón 1.....	298
Fotografía 20 Piezómetro PZ-5, Conjunto Residencial San Simón 2	298
Fotografía 21 Piezómetro PZ-6, Centro comercial Bima	299
Fotografía 22 Piezómetro PZ-13, Colegio el Rosario Campestre	299
Fotografía 23 Piezómetro PZ-16, Colegio La Enseñanza.....	300
Fotografía 24 Piezómetro PZ-19, Escuela Colombiana de Ingeniería	300
Fotografía 25 Piezómetro PZ-22, Megaoutlet.....	301
Fotografía 26 Piezómetro PZ-25, Makro Autonorte	301
Fotografía 27 Piezómetro JP POZO N3, Cementerio Jardines de Paz.....	302
Fotografía 28 Piezómetro JP POZO N6, Cementerio Jardines de Paz.....	302
Fotografía 29 Piezómetro JP POZO N10, Cementerio Jardines de Paz.....	303
Fotografía 30 Piezómetro JP POZO N2, Cementerio Jardines del Recuerdo.....	303
Fotografía 31 Piezómetro JP POZO N4, Cementerio Jardines del Recuerdo.....	304
Fotografía 32 Piezómetro JP POZO N5, Cementerio Jardines del Recuerdo.....	304
Fotografía 33 Piezómetro JP POZO N6, Cementerio Jardines del Recuerdo.....	305
Fotografía 34 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-1-PREDIO EAB e instalación del diver (serial AR-137).....	315
Fotografía 35 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-2-PREDIO FAC e instalación del diver (Serial AR-133).....	316
Fotografía 36 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE e instalación del diver (Serial AR-206).....	317
Fotografía 37 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA e instalación del Diver (Serial W6000).....	318

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Planos

Anexo B Mapa de localización de perforaciones existentes respecto a la Zonificación Geotécnica

Anexo C Listado de coordenadas y profundidad de perforaciones existentes

Anexo D Tabla resumen de resultados de ensayos de laboratorio y pruebas de campo e Información recopilada de cada perforación

Anexo E Reportes diarios de construcción de piezómetros e informe de instalación de piezómetros y divers

Anexo F Certificados de calibración de los divers

Anexo G Fotografías empleadas en los análisis multitemporales (medio digital)

Anexo H Archivos extensión Shape (medio digital)

Anexo I Registros litológicos de Piezómetros (existentes y nuevos) y Pruebas de carga

Anexo J Coordenadas de los Piezómetros nuevos (Levantamiento topográfico)

Anexo K Monitoreo de Piezómetros: Informes de campañas y Registro fotográfico

Anexo L Análisis de Muestras de Agua Superficial y Subterránea: Acreditaciones de laboratorios y resultados de ensayos de laboratorio

Anexo M Registro fotográfico – Campañas de monitoreo de calidad de agua

Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología, Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo Numérico

Anexo O Información meteorológica

Anexo P Batimetrías de los humedales



1 INTRODUCCIÓN

El presente informe incluye el denominado Producto 3: Estudio de Suelos, Geológicos y Geomorfológicos y que hace parte del proyecto: “Fase I. Actualización de los estudios conceptuales del contrato EAB- ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca”.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS

En los siguientes subnumerales se incluyen los objetivos y alcance del presente documento.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo General

El presente informe tiene como principal objetivo presentar el Producto 3: Estudio de Suelos, Geológicos y Geomorfológicos de acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018).

2.1.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del presente documento son los siguientes:

- Validar la información disponible referente a geología, geomorfología, hidrogeología y geotecnia; dicha información fue revisada e incluida dentro del Informe de Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia.
- Incluir dentro de los acápites de Estudio Geomorfológico y Estudio Geológico y Geotécnico, los requerimientos particulares dados en de acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018).
- Presentar la variación del nivel de la tabla de agua en los diferentes puntos de monitoreo y las direcciones de flujo someras en el área de estudio, lo anterior, con base en los datos obtenidos luego de la lectura de los piezómetros. Además, presentar el comportamiento de los cuatro (4) piezómetros instalados en desarrollo del presente proyecto.
- Presentar el modelo hidrogeológico del área de estudio del proyecto Lagos de Torca, tomando como base los modelos hidrogeológicos elaborados previamente e integrando las actividades de monitoreo desarrolladas durante el proyecto, en este sentido actualizar las direcciones de flujo y variaciones de los niveles piezométricos en relación con la recarga derivada de la infiltración

2.2 ALCANCE

De acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018), el alcance del PRODUCTO 3: ESTUDIO DE SUELOS, GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS es: “revisar, validar y, de ser requerido, actualizar toda la información disponible referente a la geomorfología, geología, hidrogeología y geotecnia dentro del área del LAGOS DE TORCA”; lo anterior, debe presentarse en un informe que incluya los mapas actualizados en formatos GIS y CAD.

3 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

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

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

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

El Fideicomiso Lagos de Torca contrató con esta consultoría la realización de los diseños técnicos que sirvan para la construcción de las obras de carga general del proyecto Lagos de Torca acogido mediante el Decreto 088 de 2017, y su modificación contenida en el Decreto 049 de 2018, que tienen por objeto establecer las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - POZ Norte. El Área de Ciudad Lagos

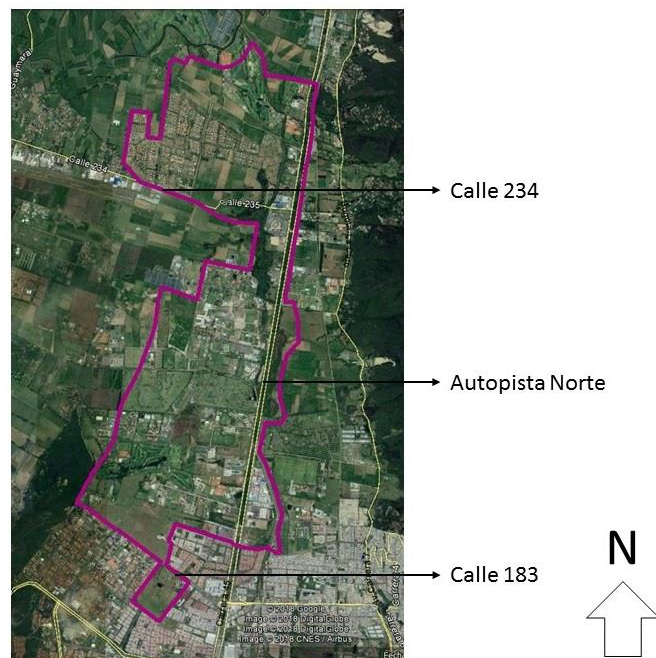
de Torca se encuentra delimitada en el artículo 3º del Decreto No. 088 de 2018 y el Plano No. 1 “Ámbito y Clasificación del Suelo” anexo, en la siguiente manera: DELIMITACIÓN LÍMITE Norte Con el municipio de Chía y perímetro urbano del Distrito Capital. Oriente Con el perímetro urbano del Distrito Capital y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá Sur Con las calles 189, 191 (Trazado Avenida Tibabita), 192, 193, la Unidad de Planeamiento Zonal la Uribe y la calle 183 (Avenida San Antonio) Occidente Con el perímetro urbano y la Unidad de Planeamiento Rural – UPR Zona Norte que contiene la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas van der Hammen”.

En términos generales el proyecto de desarrollo se enmarca en los siguientes límites:

- Norte Con el municipio de Chía y perímetro urbano del Distrito Capital.
- Oriente Con el perímetro urbano del Distrito Capital y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá
- Sur Con las calles 189, 191 (Trazado Avenida Tibabita), 192, 193, la Unidad de Planeamiento Zonal la Uribe y la calle 183 (Avenida San Antonio)
- Occidente Con el perímetro urbano y la Unidad de Planeamiento Rural – UPR Zona Norte que contiene la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas van der Hammen”.

El área de estudio comprende un total de 1400 Ha situadas entre la calle 185 y el club Guaymaral y la Autopista norte y futura Av Boyacá. En la siguiente Figura se muestra el área de estudio del Proyecto:

Figura 1 Localización general del proyecto



Fuente: WSP; 2019

4 METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS

El presente documento incluye la revisión de la información geomorfológica, geológica, hidrogeológica y geotécnica existente en el área del proyecto y disponible en Entidades tales como: Empresa de Acueducto de Bogotá, EAB; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU; Servicio Geológico Colombiano, SGC; y Secretaría Distrital de Ambiente, SDA; entre otras. Adicionalmente, en dicha revisión se incluyen los informes del proyecto: FACTIBILIDAD TÉCNICA AMBIENTAL ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL BORDE NORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011).

Por otra parte, se requieren efectuar mesas de trabajo con Ingeniería Especializada de la Empresa de Acueducto de Bogotá con el fin de acordar aspectos relacionados con:

- Información disponible en el Sistema de Información Geotécnico, SISGEO.
- Normatividad vigente en el Sistema Técnico, SISTEC; a saber: Normas Técnicas de Servicio y de Producto.
- Alcance del Monitoreo hidrogeológico de acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018),.

En general, la metodología propuesta se divide en dos etapas, una primera etapa de adquisición, revisión y análisis de información existente, y una segunda etapa de procesamiento de información elaboración de informes finales (cartografía y memorias técnicas). La primera etapa fue desarrollada e incluida dentro del documento: Informe Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia.

4.1 ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

Inicialmente, se realiza la revisión de vuelos en la base de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, y posteriormente, la adquisición de fotografías aéreas de diferentes épocas que sirvan para determinar la evolución temporal con énfasis en la geomorfología de cuerpos de agua y acciones de origen antrópico que han incidido sobre el área de estudio. Dicho estudio es complementado con las imágenes satelitales que se encuentren disponibles o las fotos del levantamiento Lidar.

Otros alcances de este estudio son:

- Análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes de satélite de la geomorfología de la zona de intervención y su evolución temporal con énfasis a cambios de geomorfología de cuerpos de agua y los efectos de la acción antrópica.
- Reconstrucción de trazados originales de los cuerpos de agua, presentándolos en planos con el soporte documental de los archivos en formatos CAD y shape.
- Análisis geomorfológico a una escala más detallada de tramos de los cuerpos de agua, analizando el efecto de la acción antrópica sobre la geomorfología de estos tramos de los cuerpos en relación con la estabilidad, el análisis geotécnico y la erosión.

4.2 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

El estudio geológico buscará establecer las características geológicas regionales de las diferentes formaciones que se encuentran en el área del proyecto, identificando tanto su distribución como sus características geotécnicas correspondientes. Dichos estudios parten de la revisión de información geológica y geomorfológica disponible.

Por otra parte, para el estudio geotécnico se propone una metodología enfocada en obtener la caracterización de cada uno de los tramos viales analizados en el Estudio de Factibilidad Borde Norte (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011); lo anterior, será la base para efectuar los análisis geotécnicos a nivel de Ingeniería Básica y que hacen parte del Producto 8.

Otros alcances de este estudio son:

- Análisis geológico de la zona de estudio que permita plantear los efectos de la geología sobre las corrientes en la zona con un análisis sobre el tipo de sedimentos transportados en las corrientes.
- Identificar las zonas con procesos erosivos dentro del área de influencia de los cuerpos de agua y plantear a nivel conceptual las posibles medidas de mitigación.

4.3 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

El control y el seguimiento de las aguas subterráneas cobra relevancia la hora de estudiar los recursos hidrogeológicos para de esta forma poder establecer medidas de protección de los recursos disponibles. Dado lo anterior, inicialmente se proponen acciones frente a la red de piezómetros existente y para lo cual es necesario realizar una mesa de trabajo con Ingeniería Especializada de la Empresa de Acueducto de Bogotá con el fin de:

- Concertar la localización de 4 nuevos piezómetros a fin de fortalecer la red existente.
- Definir la metodología para efectuar el modelo hidrogeológico; se propondrá que se tengan en cuenta los aspectos relacionados en el modelo hidrogeológico numérico realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Al respecto de los piezómetros, se prevén de 15 metros de profundidad y que permitan la toma del nivel de agua cada 20 minutos; adicionalmente, se espera que puedan ser ubicados en puntos claves en el área de intervención para permitir estimar las variaciones y direcciones de flujo sub-superficial, mediante análisis de permeabilidad y porosidad del suelo para diferentes profundidades en cada piezómetro.

Las labores de monitoreo durarán 6 meses; periodo en el cual se debe hacer toma de muestras de calidad de agua de los nuevos piezómetros y a fin de analizar: carbono orgánico total, DBO5, DQO, Sólidos Disueltos, Sólidos Volátiles, coliformes totales y fecales, Estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, Nitrógeno total Keldhal, nitratos, amonio, fosfatos, sulfatos, pH, temperatura, conductividad, cadaverina(1,5-pentanodiamina/amina alifática) y putrescina (1-4 butanodiamina); éstas últimas dos pruebas en los piezómetros ubicados en inmediaciones de los cementerios.

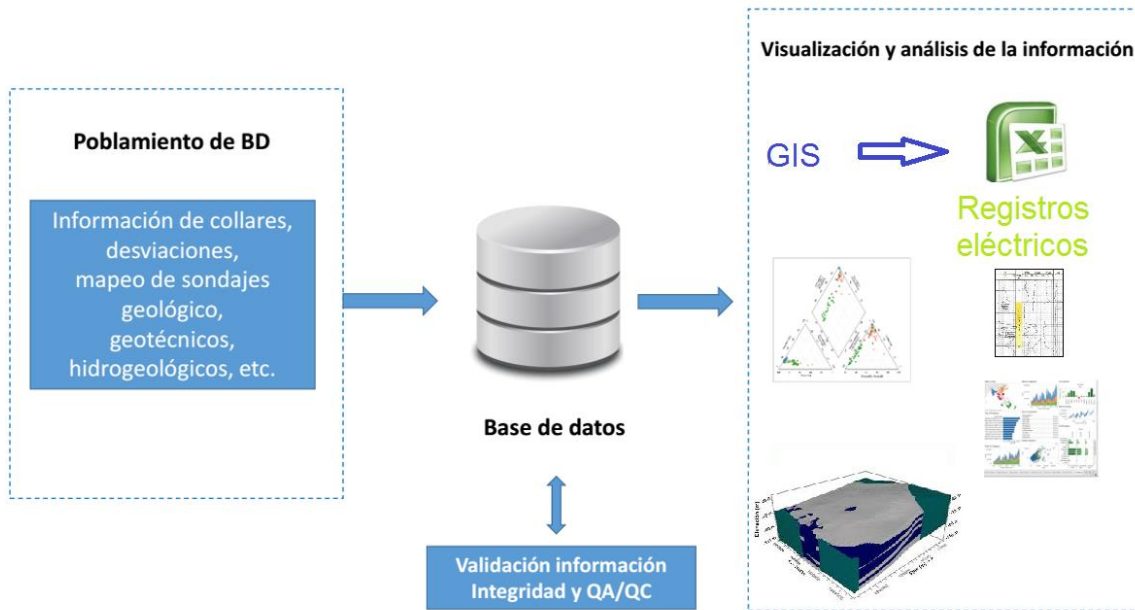
A continuación, se presentan las metodologías para elaboración de modelos hidrogeológicos a nivel conceptual y numérico.

4.3.1 Metodología Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC)

Se propone ordenar la información en una base de datos hidrogeológica que permita la integración de la información en plataformas SIG y cumplir los Términos de referencia. La base de datos propuesta permitirá:

- La organización e ingreso de todos los datos capturados en campo, niveles piezométricos de los 4 piezómetros instalados en este estudio, niveles piezométricos de la Red existente, muestreos fisicoquímicos, registros eléctricos y registros de perforación asociados a los piezómetros instalados procesados y validados.
- Asegurar la integridad de la información aplicando criterios de calidad, con el objetivo de obtener una Base de Datos robusta, de rápido manejo y adecuada para el análisis geológico e hidrogeológico y futuras actualizaciones de modelos.
- Asegurar la trazabilidad de datos nuevos ingresados, extendiéndose a los distintos tipos de información que se manejen.

Figura 2 Esquema propuesto para la construcción de la base de datos



Para el procesamiento y la visualización de los datos se utilizarán software de análisis espacial y temporal. Se utilizará ArcGis como plataformas GIS y herramientas de visualización de series de tiempo. Se generará una geodatabase que integre toda la información disponible tanto información espacial (coordenadas, topografía, etc.) como información geológica, geotécnica, hidrogeológica etc.

El acople de estas herramientas con la Base de Datos y entre sí permite mayor eficiencia en la integración de los datos y su interpretación, así como la posibilidad de compartir la información.

La generación de una base de datos confiable para cualquier usuario es de vital importancia, ya que se transforma en una herramienta primordial desde de la captura, procesamiento y monitoreo de información básica que se requiere para desarrollar y actualizar modelos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos.

Para la definición y construcción del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico en la zona ámbito de estudio, se considerarán los siguientes aspectos:

- Descripción y caracterización de los límites hidrogeológicos del sistema objeto de modelación (sistema hidrogeológico de referencia), donde deberá quedar incluido la zona de influencia de Torca.
- Delimitación de las vertientes hidrológicas y relación con los límites hidrogeológicos definidos.
- Definición del modelo geológico 3D haciendo uso de la información disponible, incluyendo geología, logueos asociados a la construcción de los 4 piezómetros, geofísica (registros eléctricos de los 4 piezómetros construidos), estructuras, etc.
- Caracterización de las unidades hidrogeológicas definidas en el sistema hidrogeológico, definiendo la litologías, espesores, parámetros hidrodinámicos característicos y rango de variabilidad más probable (análisis estadístico y probabilístico en función de datos disponibles); así como calidad hidroquímica de las aguas.
- Caracterización de la relación entre cauces y unidades hidrogeológicas haciendo uso de la caracterización hidrológica de la zona de estudio y datos piezométricos registrados cada 20 minutos.
- Trazado de mapas de hidroisohipsas en planta y superficie freática en perfiles para constatación de gradientes hidrogeológicos y análisis del comportamiento temporal (estacionalidad) y tendencias.
- Se ejecutará el balance hidrogeológico en régimen natural (Línea Base), considerando los procesos de recarga natural al sistema hidrogeológico definido, la variación de almacenamiento del sistema, así como sus descargas naturales y artificiales.
- Se homogenizará las distintas áreas de modelación, levantando para ello previamente toda la información geológica validada:
 - Unidades geológicas.
 - Estratigrafía.
 - Geología estructural (fallas, pliegues, zonas de alteración).
 - Perfiles geológicos.
 - Registros eléctricos de los 4 piezómetros construidos (Geofísica).
 - Niveles de agua subterránea.

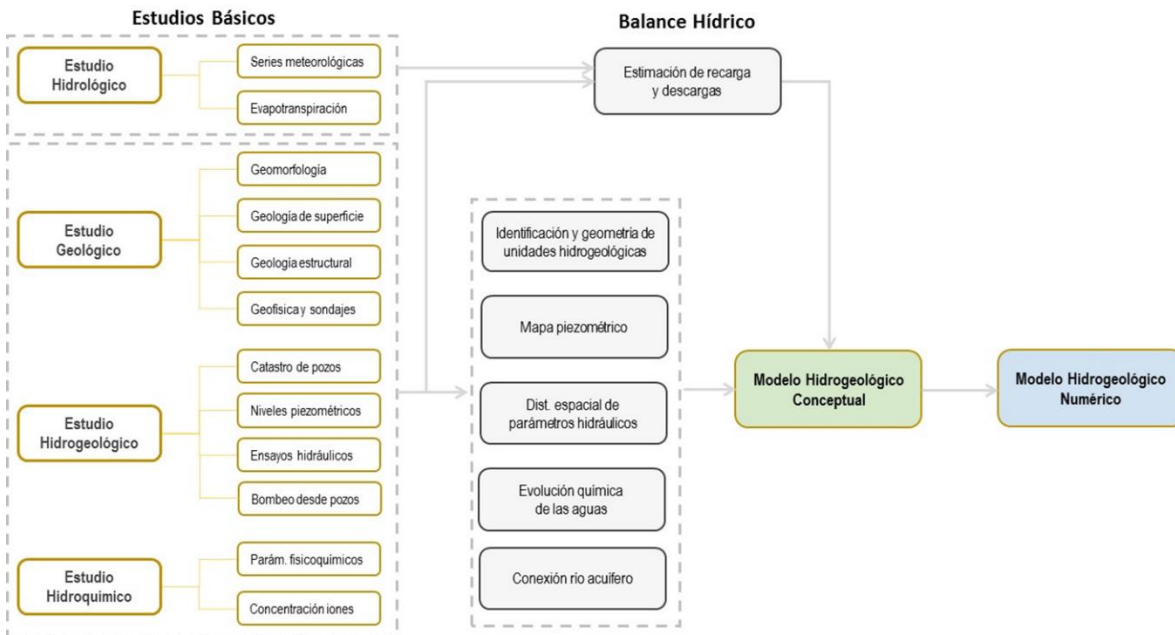
En referencia a la información se completará la tarea de definición del Modelo Conceptual Hidrogeológico (MCH) y se ejecutará de forma que se alcancen los siguientes objetivos:

- Identificar y/o validar las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio.
- Estimar la recarga superficial que se produce en el sistema hidrogeológico definido, la escorrentía superficial y las salidas de la cuenca.
- Establecer la piezometría para el sistema hidrogeológico identificado en la zona de estudio.

- Caracterizar las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona de estudio tomando los parámetros hidráulicos (conductividad hidráulico y almacenamiento) y geométricos (espesores) característicos relacionados en el modelo hidrogeológico de Bogotá.
- Establecer las zonas de recarga/descarga, la dirección del flujo y su magnitud.
- Establecer relaciones de la precipitación y fluctuaciones del nivel piezométrico

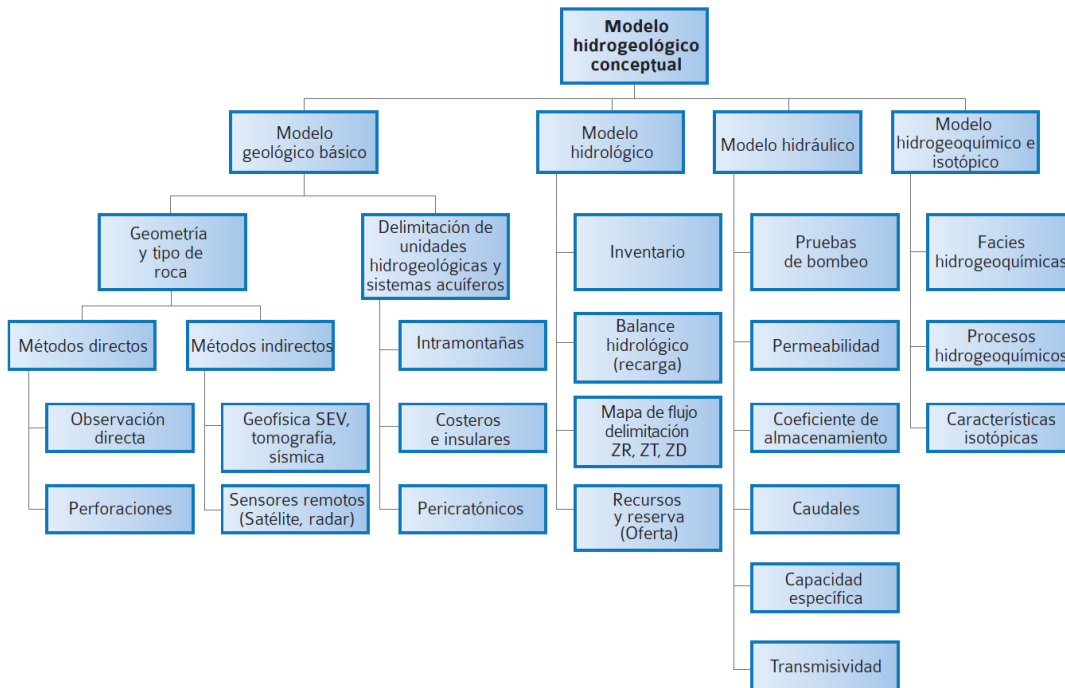
En la Figura 3 se resume los conceptos que serán considerados para la generación del Modelo de Funcionamiento Conceptual para Torca, donde se integra la información procedente de estudios básicos; se caracterizan las unidades hidrogeológicas.

Figura 3 Flujo de trabajo y elementos a considerar durante el desarrollo o actualización de un modelo hidrogeológico conceptual



Adicionalmente el modelo hidrogeológico conceptual (MHC), integrará la información geológica y geofísica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica e isotópica (disponible) para representar la dinámica espacial del flujo subterráneo, esto teniendo en cuenta los lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del Agua (IDEAM, 2013), tal como se sugiere en la Figura 4.

Figura 4 Integración del Modelo Hidrogeológico Conceptual



Fuente: Tomado de: Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua (IDEAM, 2013)

4.3.2 Modelo Hidrogeológico Numérico (MHN)

Se empleará un software de uso exclusivo para modelación de aguas subterráneas, Modflow o Feflow, teniendo en cuenta la caracterización previa, condiciones hidrogeológicas y complejidad litológica y estructural.

A partir de la información levantada, procesada e interpretada para la construcción del MHC se definirán los límites y condiciones de frontera del área de estudio del proyecto Lagos de Torca para la construcción de un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas.

Se debe emplear un software de flujo de aguas subterráneas que simule el flujo actual. Adicionalmente se presentarán las suposiciones implícitas del software empleado y limitaciones del mismo para las simulaciones efectuadas, se describirán las técnicas de solución empleadas, ecuaciones, condiciones de contorno, parámetros y variables, y cómo todos estos factores pueden afectar los resultados del modelo. Se discutirá la incertidumbre de los resultados obtenidos.

En este sentido, esta actividad implica modelo numérico que plasme los elementos establecidos en el modelo conceptual a una formulación matemática, que permita establecer una estimación cuantitativa más precisa de las variaciones del nivel piezométrico y su relación con la precipitación y características geomorfológicas.

Por tanto, haciendo uso del modelo conceptual hidrogeológico desarrollado se implementará el modelo numérico mediante una malla en diferencias 3 dimensiones y elementos no estructurados que permitan modelar el flujo subterráneo en la zona del proyecto Lagos de Torca en la condición actual.

La zona para incluir en el modelo corresponderá a los límites definidos para el sistema hidrogeológico en el modelo conceptual y será la suficiente para comprender el área de influencia directa del proyecto Lagos de Torca.

El objetivo del modelo numérico tridimensional se enfocará en representar una simulación de la variación de la superficie piezométrica en relación con el régimen de precipitación y la geomorfología.

En la configuración del modelo numérico se considerarán los siguientes aspectos:

- Software, que debe ser un software de uso exclusivo para modelación de aguas subterráneas, justificando su selección.
- Código Numérico, debe describirse el código numérico empleado y discutir la incertidumbre de los resultados.
- Dominio del modelo, presentando el área de estudio del modelo numérico con una imagen georreferenciada superpuesta sobre un plano topográfico y que debe corresponder con los límites hidrogeológicos identificados en el Modelo Hidrogeológico Conceptual.
- Geometría y malla del modelo: describiendo las características de la malla seleccionada y justificando la discretización horizontal y vertical de acuerdo con los elementos hidrogeológicos del dominio y de la geometría del proyecto Lagos de Torca.

5 INFORMACIÓN DE REFERENCIA (RECOPIADA)

A continuación, se incluye la información de referencia y relacionada con amenazas y perforaciones existentes.

5.1 ASPECTOS DE AMENAZAS

A continuación, se presentan las zonificaciones vigentes de amenaza por remoción en masa, inundación, avenidas torrenciales y sísmica en el área de estudio.

5.1.1 Amenaza por Remoción en masa

La zonificación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa corresponde al Plano Normativo 3 del Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de Bogotá D.C., 2004), el cual fue actualizado el 7 de junio de 2018 mediante la Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018); en la Figura 5 se presenta dicho plano.

En general, la zona donde se encuentra el proyecto Ciudad Lagos de Torca no presenta amenaza por remoción en masa, sin embargo, en la zona cercana al cerro La Conejera se observan niveles de amenaza baja y media.

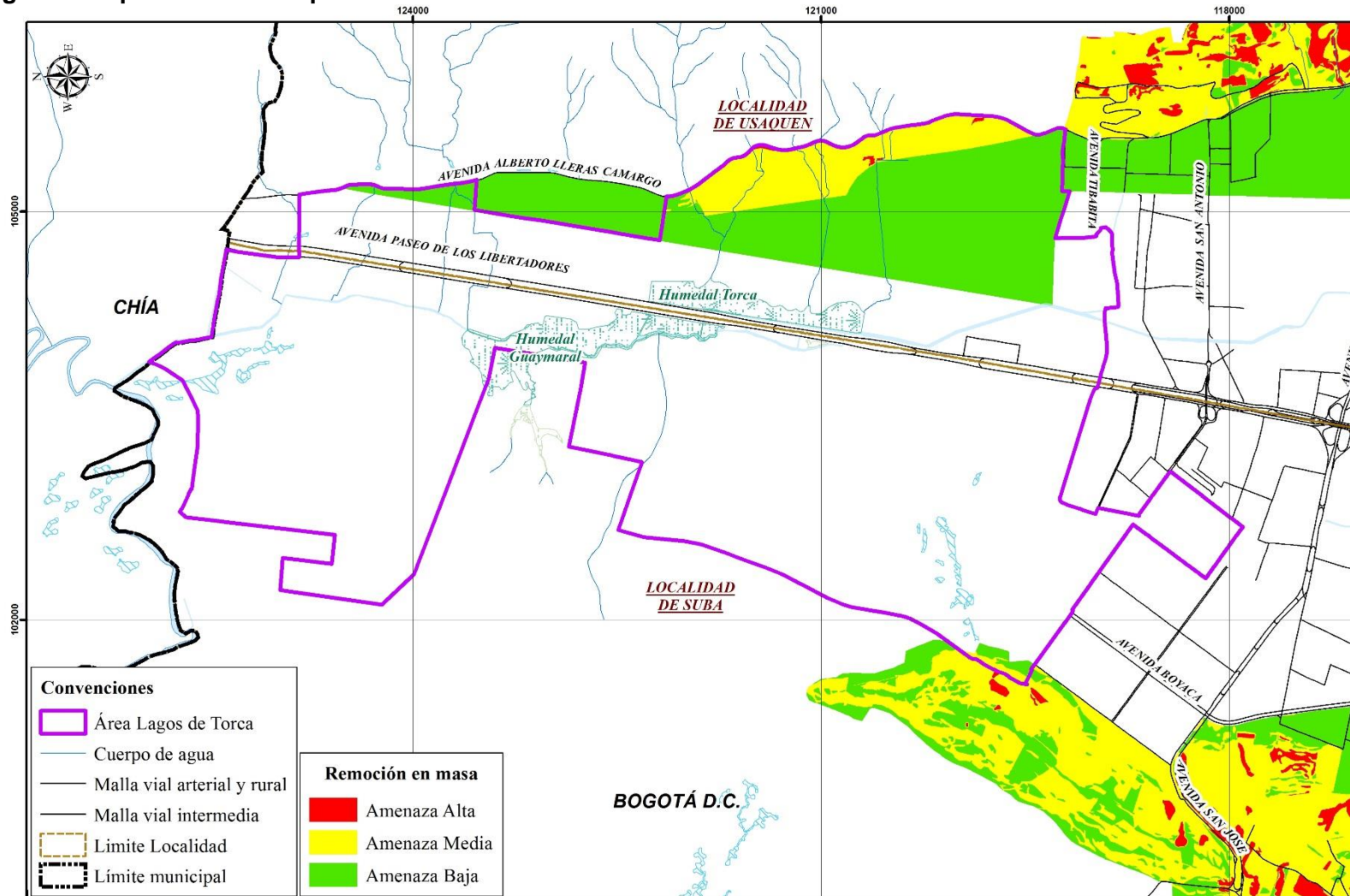
5.1.2 Amenaza por Inundación

En la Figura 6 se presenta el plano de amenaza por inundación; es importante anotar que este plano fue actualizado mediante la Resolución 1060 de 19 de julio de 2018 "Por la cual se actualiza el Mapa No. 4 "Amenaza por Inundación" del Decreto Distrital 190 de 2004" (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018); de manera general se observa que en el sector norte del proyecto se presenta amenaza baja, media y alta, siendo éstos últimos asociados con la presencia de los Humedales Guaymaral y Torca y las rondas hidráulicas de ríos.

5.1.3 Amenaza por Avenidas Torrenciales

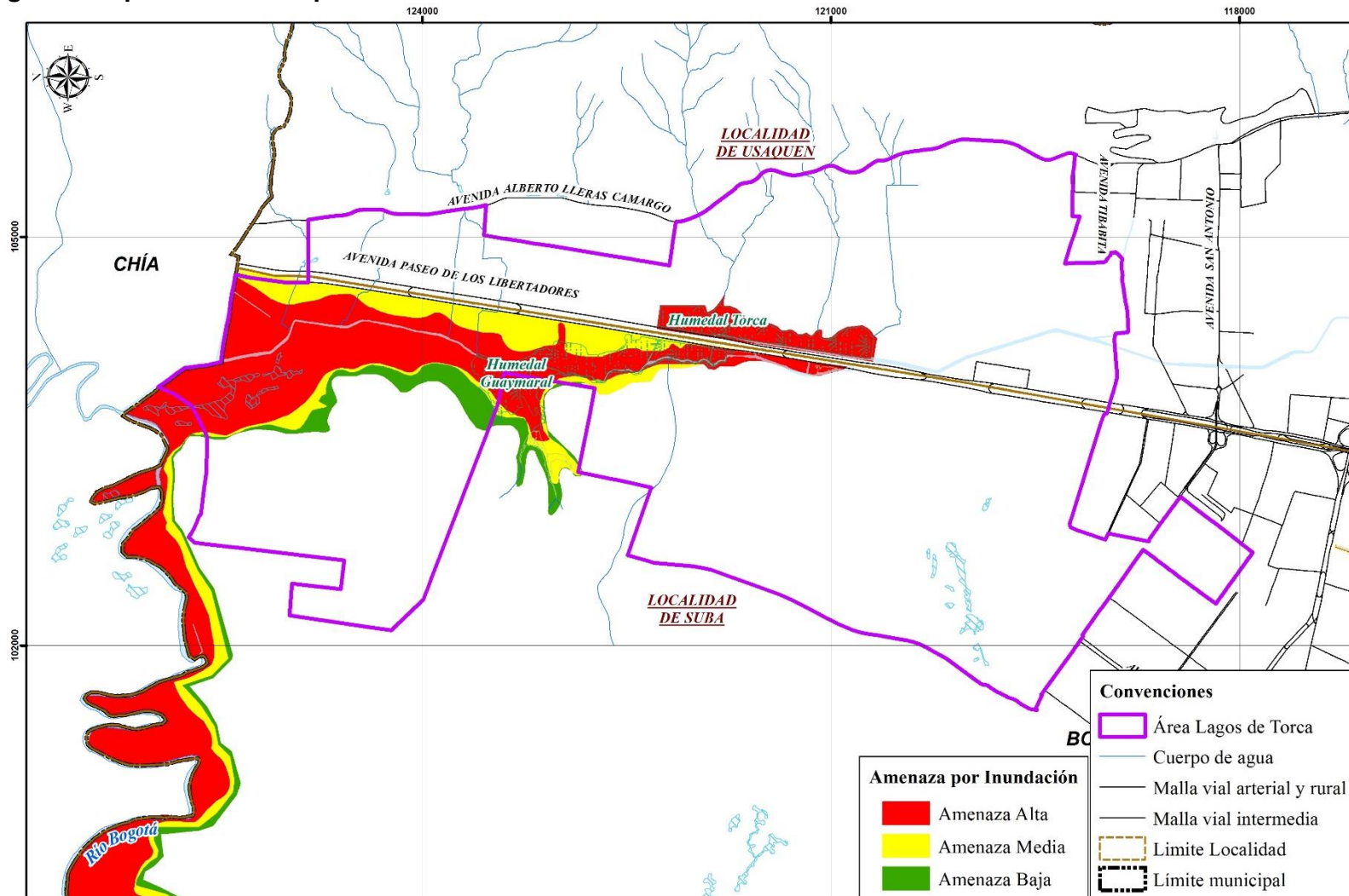
En la Figura 7 se muestra la amenaza por avenidas torrenciales; de acuerdo con lo anterior, en el sector donde se encuentra el proyecto Ciudad Lagos de Torca presentan amenaza por avenidas torrenciales las quebradas Aguas Calientes, Patiño y San Juan (Figura 8), caracterizadas por desembocar en el humedal Torca.

Figura 5 Mapa de Amenaza por remoción en masa



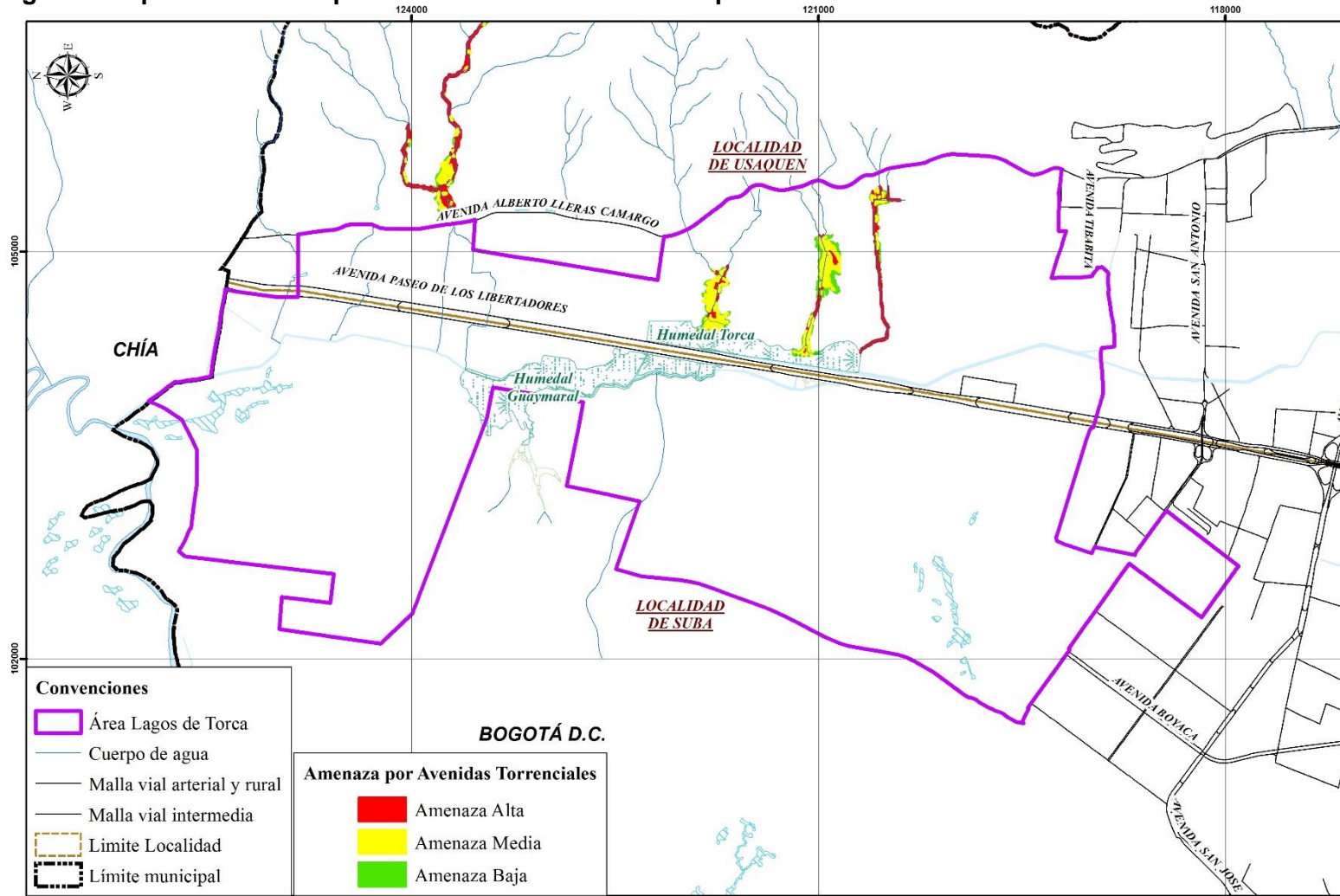
Fuente: Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 “Por la cual se actualiza el Mapa No. 3 “Amenaza por Remoción en Masa” del Decreto Distrital 190 de 2004” (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018)

Figura 6 Mapa de Amenaza por inundación



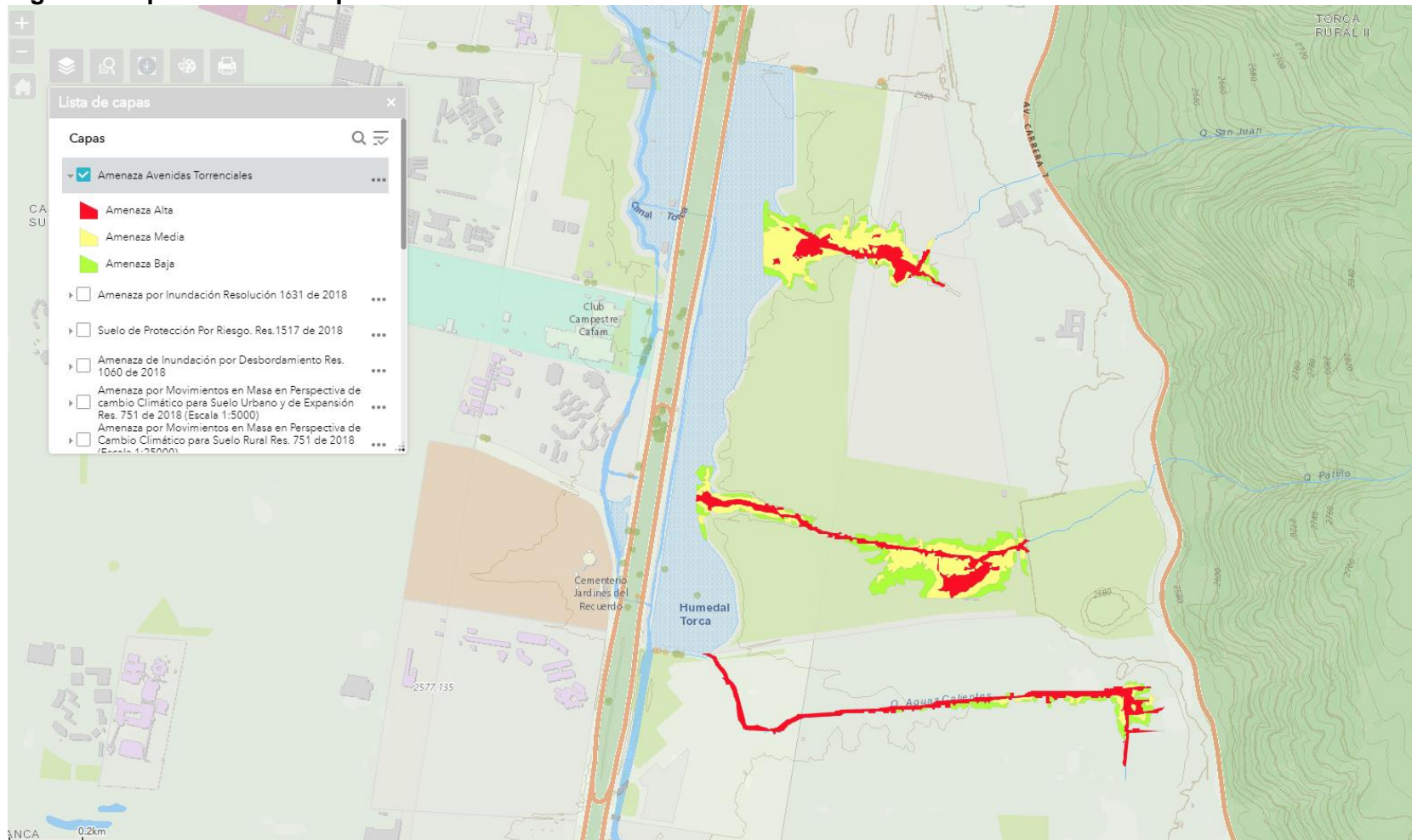
Fuente: Fuente: Resolución 1060 de 19 de julio de 2018 "Por la cual se actualiza el Mapa No. 4 "Amenaza por Inundación" del Decreto Distrital 190 de 2004" (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018)

Figura 7 Mapa de Amenaza por Avenidas Torrenciales – Mapa General



Fuente: <http://idiger.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=70acbce1a3cf4bbfad219be0cf5035f0> (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER, 2018)

Figura 8 Mapa de Amenaza por Avenidas Torrenciales - Detalle



Fuente: <http://idiger.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fa4b277533584c3a95a9208b4d542e19> (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER, 2018)

5.1.4 Amenaza Sísmica

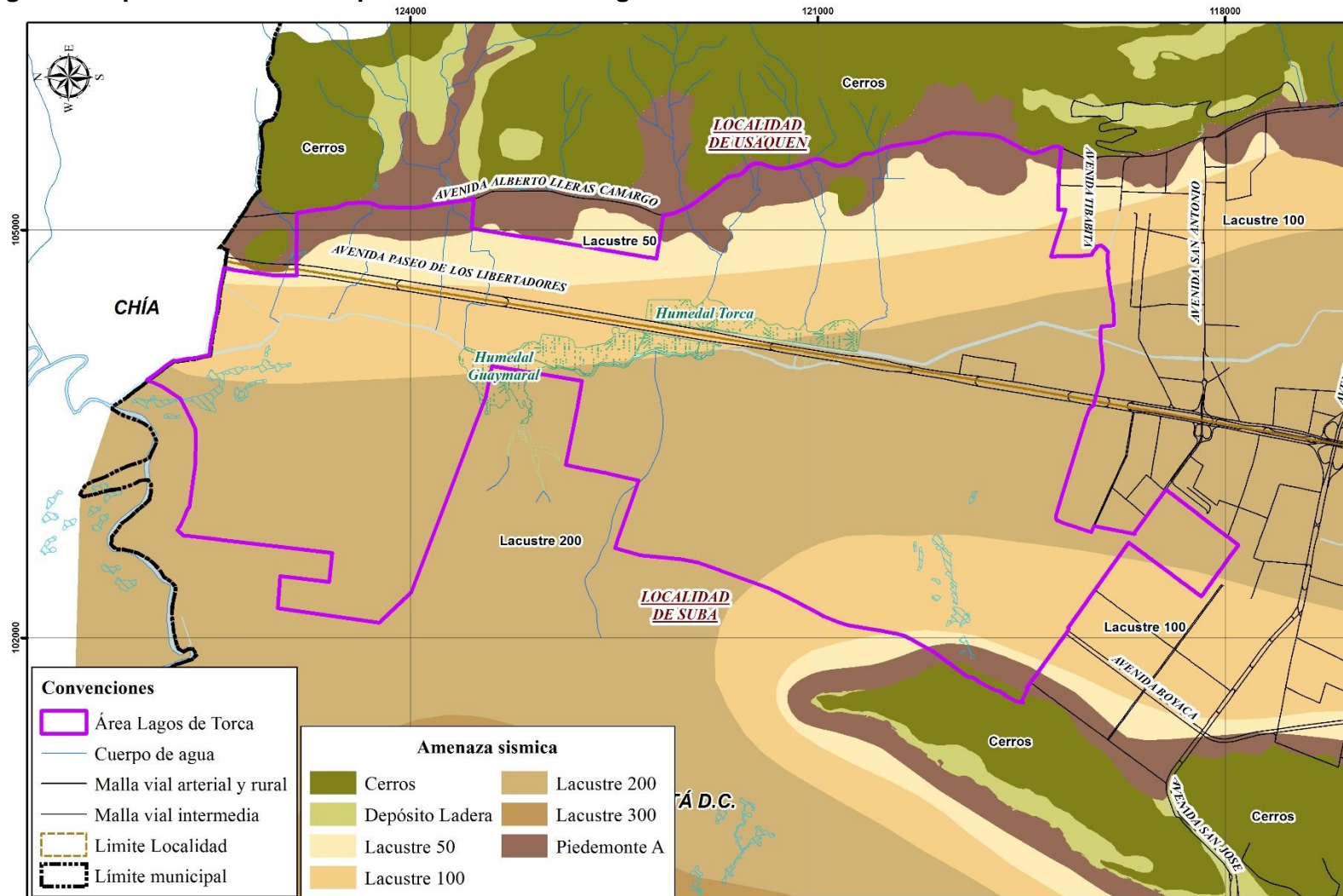
De acuerdo el DECRETO 523 DE 2010. (Diciembre 16) “Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.” (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010), el proyecto Ciudad Lagos de Torca atraviesa por la zona de respuesta sísmica LACUSTRE 50, LACUSTRE 100, LACUSTRE 200, PIEDEMONTE A y CERROS (Ver Figura 9); en la Tabla 1 se incluyen la descripción de la mencionada zona.

Tabla 1 Descripción de las zonas de respuesta sísmica

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs [m/s]	Humedad promedio 50 m [%]	Efectos de sitio relacionados
Lacustre 50	<50	1.0 -1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	<175	>80	Amplificación
Lacustre 100	50-100	1.5 - 2.5				
Lacustre 200	100-200	2.5 – 3.5				
Piedemonte A	<50	0.3 – 0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 – 750	10 – 80	Topográfico, amplificación
Cerros	-	<0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	>750	<10	Topográfico

Fuente: DECRETO 523 DE 2010. (Diciembre 16). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010)

Figura 9 Mapa de Zonas de Respuesta Sísmica de Bogotá



Fuente: DECRETO 523 DE 2010. (Diciembre 16). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010)

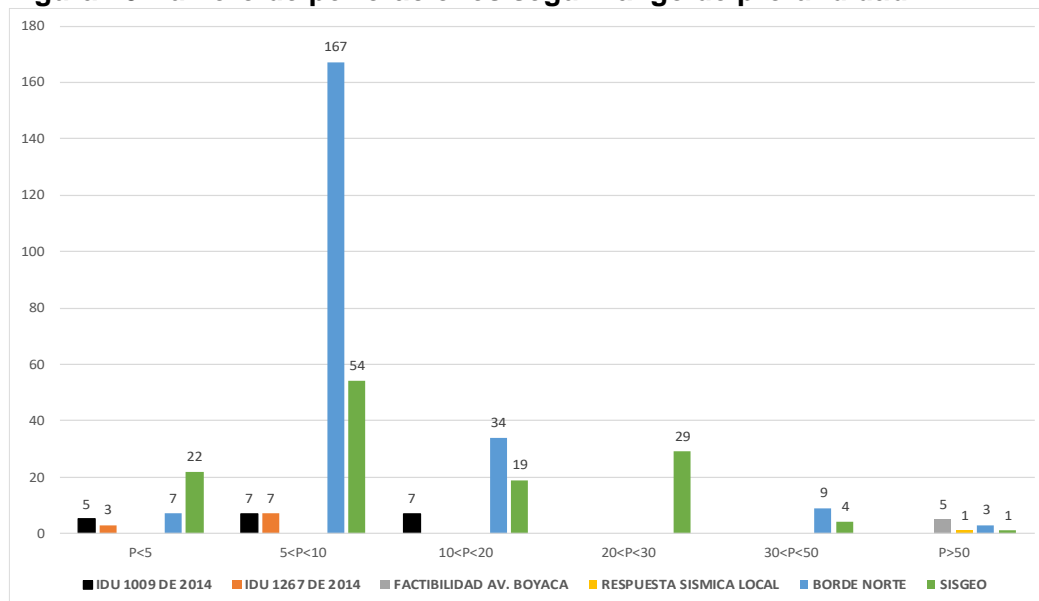
5.2 ASPECTOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con el Informe Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia, fueron revisadas las siguientes fuentes de información con el fin de obtener información de perforaciones:

- Estudios y diseños de la Av. Boyacá (Av. Cra 72) desde la Av. San José (Calle 170) hasta la avenida San Antonio (Calle 183) en Bogotá D.C. (Consortio Estudios Avenida Boyacá, 2014) [**IDU 1009 DE 2014**]
- Estudios y diseños de la Avenida San Antonio (AC 183) desde la Avenida Boyacá (AK 72) hasta la carrera 54D, en Bogotá D.C. (SP Concorcio, 2014) [**IDU 1267 DE 2014**]
- Informe de factibilidad proyecto “Estudios y diseños para la Av. Boyacá desde la calle 183 a conectarse con la troncal del peaje y conexión Autonorte por Av. Guaymaral” (Consortio E&D Av Boyacá, 2018) [**FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ**]
- Estudio de Respuesta sísmica Local [**RESPUESTA SÍSMICA LOCAL**]
- Informe de Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011) [**BORDE NORTE**]
- Sistema de Información Geotécnica SISGEO del Acueducto de Bogotá [**SISGEO**]

En total se encontraron 384 sondeos realizados con profundidades variables, la localización de cada una de ellas se presenta en el Anexo A Planos; en la Figura 10 se incluye la distribución en profundidad de dichas perforaciones, mientras que en el Anexo C se incluyen las coordenadas y profundidad de cada perforación. Por otra parte, en el Anexo D se incluyen la tabla resumen de los resultados de laboratorio y pruebas de campo existentes y además, los registros de perforación con las memorias de los ensayos compilados.

Figura 10 Número de perforaciones según rango de profundidad



Fuente: WSP, 2019

6 ESTUDIO GEOLÓGICO

A continuación, se presenta el estudio de geología a nivel regional y local.

6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente el área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca de la cordillera oriental (ECB), en la rama oriental de los Andes de Colombia. Se encuentra limitada hacia el occidente por la Cuenca del Valle medio de Magdalena (MMB), al este con la cuenca de los Llanos Orientales (LIAB), en la parte norte se encuentra limitada por Venezuela por la cuenca de Maracaibo (MB), y hacia la parte noroccidental encontramos la subcuenca de la Serranía del Perijá (SP).

El altiplano de la Sabana de Bogotá y sectores aledaños se localiza sobre la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia y se ubica a una altura promedio de 2600 m. Constituye una provincia Geomorfológica en la cual se diferencian dos zonas: la primera una zona plana, ubicada hacia la parte central del área; y la segunda un área con relieve montañoso de características variadas.

La zona plana y montañosa son drenadas por los ríos Bogotá que corre en sentido NNE-SSW con sus afluentes principales, Tunjuelito, Fucha, Juan Amarillo, Subachoque, Los Andes, Frío, Susagúa, Neusa, Tejar, Chivata, Siecha y Teusacá, San Francisco, y quebradas de menor caudal que corren en diferentes sentidos.

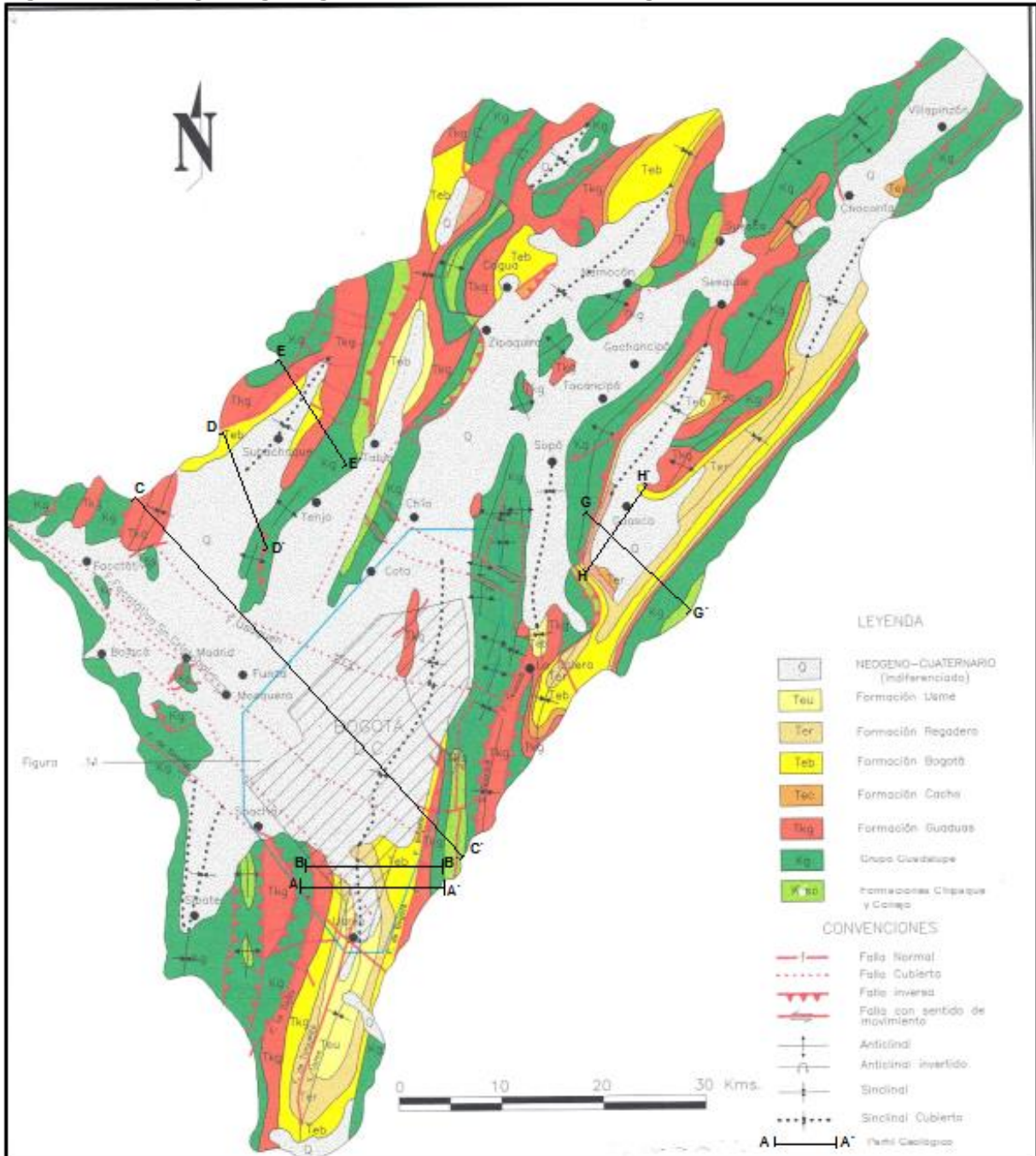
Geológicamente, la zona plana que conforma la Sabana de Bogotá se localiza sobre un extenso relleno sedimentario, constituido por depósitos de origen fluvial, lacustre y fluvialacustre, que tiene una composición litológica variada; y la parte montañosa que conforma los cerros, constituida por rocas sedimentarias de tipos areniscas, lutitas, arcillolitas, limolitas, calizas y conglomerados.

La nomenclatura para la secuencia del Cretácico Superior (Cenomaniano hasta el Santoniano), corresponde a la Formación Chipaque y al Occidente a las Formaciones Simijaca, La Frontera y Conejo definidas en la región de Chiquinquirá y Villa de Leyva (Etayo, 1968 y 1979). Mientras para las unidades de edad Campaniano y Maastrichtiano, la nomenclatura utilizada son las formaciones que conforman el Grupo Guadalupe: Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna que fueron definidas formalmente por Pérez & Salazar (1978), al Oriente de Bogotá y se aplicará para toda el área.

Para las unidades litoestratigráficas paleógenas y neógenas, la nomenclatura que se utiliza son las Formaciones Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera, Usme y Tilatá. Para el Cuaternario se usan denominaciones que tienen que ver con el tipo de depósito y con la nomenclatura de Helmes y Van der Hammen (1995).

En la Figura 11 se presenta el mapa geológico general de la Sabana de Bogotá.

Figura 11 Mapa geológico general de la Sabana de Bogotá.



Fuente: Lobo Guerrero 1992, Vander Hammen y Helmens 1995: INGEOMINAS 2004.

6.1.1 Geología estructural

La Sabana de Bogotá se puede enmarcar dentro de un sinclinorio de mucha complejidad estructural, cuyo origen está asociado con la evolución geológica de la Cordillera Oriental de Colombia.

La configuración estructural de la cordillera se puede explicar, en forma general, mediante una tectónica que ha operado en dos fases principales:

La primera fase precretácica en esta se pueden observar esfuerzos distensionales lo que genera en los límites de la cuenca una serie de fallas normales hacia el costado oriental y occidental. Definiendo así el límite de esta cuenca pre-cretácica.

Se puede interpretar una fase posterior comprendida desde el Neogeno hasta la actualidad, donde actúan fuerzas compresionales en los límites de la cuenca, estos esfuerzos plegaron y fracturaron las rocas preneógenas y produjo el levantamiento de la cordillera, adicionalmente las fallas que anteriormente tenían un comportamiento normal cambian su movimiento formando fallas inversas con comportamiento de rumbo, este suceso se atribuye al choque de las placas tectónicas de Nazca y Suramérica.

Regionalmente el área de la sabana de Bogotá presenta una serie de sinclinales y anticlinales dispuestos en la cuenca, los sinclinales que sobresalen son los de Usme, Tunjuelito, Checua, Sisga, Soacha, Subachoque, río Frío, Siecha, Teusacá - Suesca, Nemocón y Sesquile, estos plegamientos también dan origen a estructuras en forma de anticlinal regionalmente el área de la sabana de Bogotá presenta los siguientes anticlinales: Bogotá, Usaquén, Sopó, Guatavita - Chocontá, Guanagua, Suesca y Nemocón.

La mayoría de las fallas abundantes son inversas, con vergencia tanto al oriente como al occidente, pero son comunes fallas transcurrentes, las cuales se caracterizan por ser de movimiento de rumbo izquierdo. Por las primeras sobresalen las fallas Bogotá, La Cajita, Río Tunjuelito, Teusacá, La Calera y del Sisga.

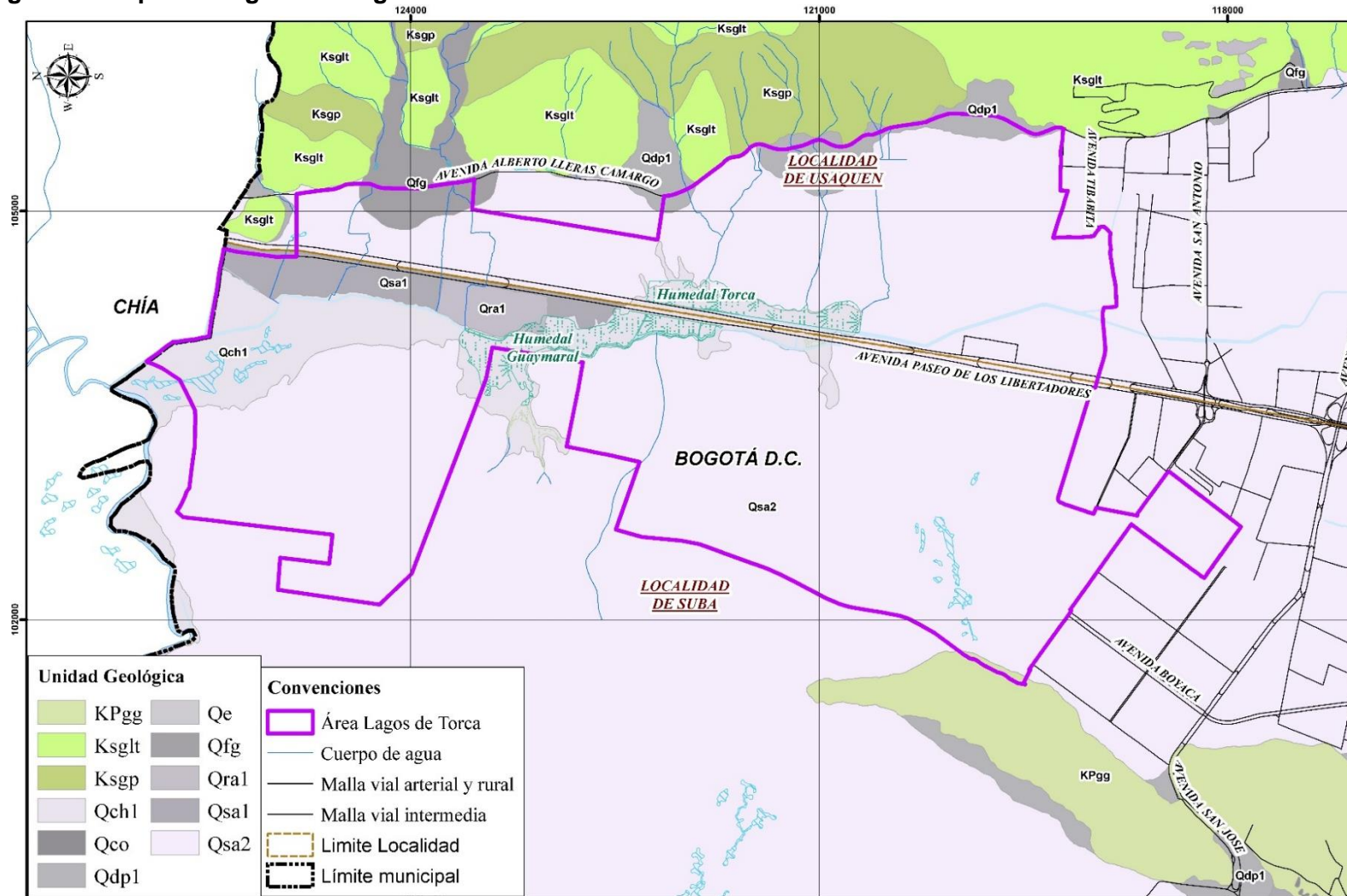
6.2 GEOLOGÍA LOCAL

6.2.1 Descripción de unidades litoestratigráficas

Fue consultado el Mapa Geológico (escala 1:5000) realizado dentro de las actividades de la actualización del plano normativo de remoción en masa e incluida en la Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018). De acuerdo con lo anterior, en el sector donde se encuentra localizado el Plan Ciudad Lagos de Torca, se encuentran materiales pertenecientes a la Formación Sabana (Qfa), Formación Guaduas (KPgg) y Formación Plaeners (Ksgp); estas formaciones se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos de edad Cuaternario tales como, depósitos Fluvioglaciares (Qfg), Formación Chía (Qch), depósitos de piedemonte (Qdp) y rellenos antrópicos (Qra). Es importante resaltar que esta información fue validada y utilizada nuevamente para la realización del mapa geológico del área de estudio (ver Figura 12).

A continuación, se describen las unidades geológicas, basadas en la información secundaria tomada del Servicio Geológico Colombiano (SGC). De igual forma se realizó una homologación de acuerdo con la edad y la posición estratigráfica de cada unidad.

Figura 12 Mapa Geológico de Bogotá



Fuente: Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 “Por la cual se actualiza el Mapa No. 3 “Amenaza por Remoción en Masa” del Decreto Distrital 190 de 2004” (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2018)

En la Figura 13 se observa la columna estratigráfica generalizada del área de estudio, donde se pueden observar el espesor aproximado de las formaciones, presentes en el área.

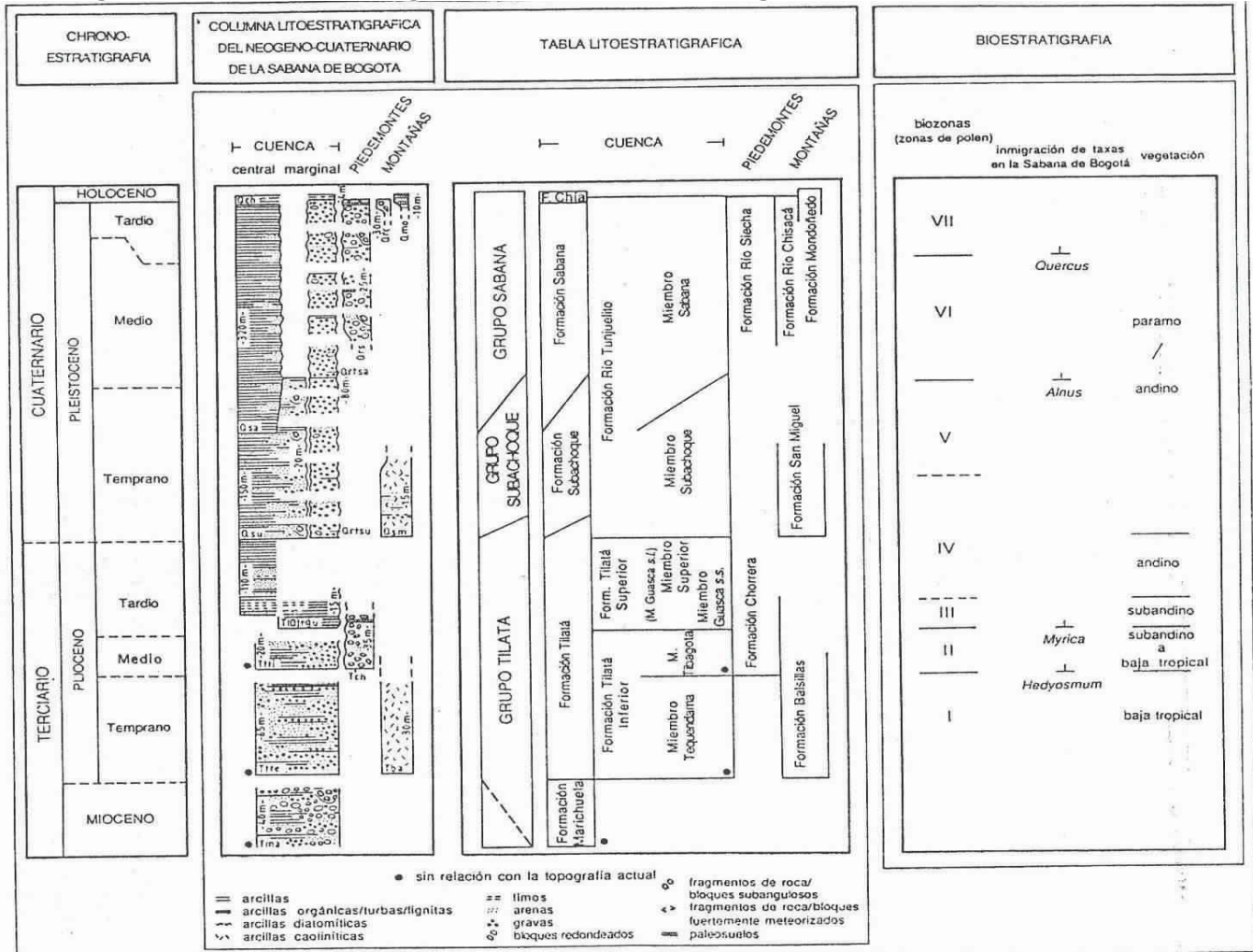
Tabla 2 Unidades geológicas presentes en el área de estudio

EON	ERA	PERIODO	ÉPOCA	UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO
Fanerozoico	Mesozoico	Cretácico	Superior	Formación Plaeners	Ksgp
			Superior (Maastrichtiano)	Formación Guaduas	KPgg
	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Formación Sabana	Qsa1 – Qsa2
				Formación Chía	Qch1
				Depósitos Fluvioglaciares	Qfg
				Depósitos de Pendiente	Qdp1
				Rellenos antrópicos	Qra1

Fuente: WSP, 2019.

A continuación, se relacionan las formaciones geológicas aflorantes con una descripción generalizada.

Figura 13 Columna estratigráfica de la Sabana de Bogotá



Fuente: Secuencia litoestratigráfica, bioestratigrafía y cronoestratigrafía general de los sedimentos del Neógeno- Cuaternario del área de la Sabana de Bogotá. El límite Plioceno-Pleistoceno corresponde a 2.4 ma. (Van der Hammen y Heleen, 1995)

En el área de influencia se encuentran siete (7) unidades geológicas de edad Cretácica hasta edad Cuaternaria, están representadas por rocas de la Formación Plaeners (Ksgp), Formación Guaduas (Kpgg), Formación Sabana (Qsa), Formación Chía (Qch), depósitos fluvio-glaciares (Qfg), depósitos coluviales (Qc) y rellenos antrópicos (Qar).

6.2.1.1 Grupo Guadalupe

Este grupo este compuesto por tres (3) formaciones, de base a techo, tenemos la Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y la Formación Arenisca de Labor -Tierna. Consta de areniscas intercaladas con limolitas, arcillolitas, lodolitas y a veces liditas.

Su depósito tuvo lugar, en forma alternante, en un ambiente litoral y sublitoral más interior, enmarcado fisiográficamente en una llanura de marea con características litológicas, inorgánicas y biológicas bien definidas. Dentro de este ambiente la Arenisca Dura constituye un depósito de llanuras de arena y llanuras de sedimentos mezclados con intervalos esporádicos de sedimentación lodosa. El depósito de los Plaeners representa un intervalo de sedimentación lodosa, mucho mayor y más uniforme que aquellos de la Arenisca Dura. En el depósito de la Arenisca de Labor la sedimentación en llanuras mezcladas y canales fue muy importante; esta última es predominante en la mayor parte de la Arenisca Tierna con suministro de material más grueso y consiguiente aumento en las condiciones energéticas del medio. La secuencia se depositó en una cuenca sometida a subsidencia moderada, y el levantamiento relativo del continente determinó una regresión marina.

6.2.1.1.1 Formación Plaeners (Ksgp)

La Formación Plaeners hace parte del grupo Guadalupe, este nombre formalizado por Pérez & Salazar (1978), para la unidad litológica que reposa concordantemente sobre la Formación Arenisca Dura y es suprayacida por la Formación Arenisca de Labor; en la sección tipo tiene un espesor de 73 m y está representada por arcillolitas, liditas, limolitas y en menor proporción por areniscas de grano muy fino. Al oriente del área de estudio, sobre la cordillera oriental.

Litológicamente está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas. El espesor de la unidad es variable y oscila entre 156 y 212 m para la parte nororiental y suroccidental de Bogotá, y entre 60 y 300 m para la región occidental y noroccidental de la sabana. La depositación de esta formación ocurrió en un ambiente marino.

Fotografía 1 Formación Plaeners (Ksgp), sobre la cordillera oriental.



Fuente: WSP, 2019.

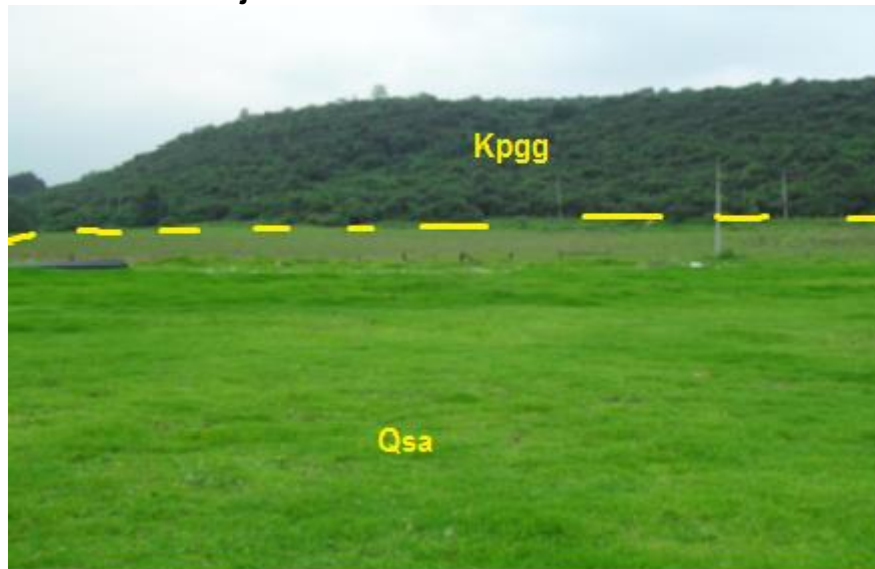
6.2.1.2 Formación Guaduas (KPgg)

Esta unidad fue referenciada originalmente por Hettner en 1892. Aflora en varios sectores del piedemonte de los cerros que bordean la sabana, se encuentra aflorando en el área de estudio en el cerro de la Conejera.

Está compuesta por tres miembros fácilmente diferenciables: la base está compuesta por arcillolitas y areniscas de grano fino y mantos de carbón, la parte intermedia está compuesta por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de grano fino a grueso, con algunas intercalaciones de arcillolitas, y su techo, constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso y mantos de carbón.

Los sedimentos de la Formación Guaduas se depositaron en un ambiente marino para la parte inferior, y en un ambiente transicional y aluvial para la parte media y superior. Su edad se considera Maastrichtiano tardío - Paleoceno temprano (Sarmiento, 1995, y Martínez, 1990). Esta unidad contiene el carbón para uso comercial en la Sabana de Bogotá. Las arcillas como producto de meteorización de la roca parental se utilizan para la fabricación de ladrillo, bloque, teja y tubería. El nivel intermedio se considera importante como acuífero y como fuente de arena para la construcción (INGEOMINAS, 2004)

Fotografía 2 Limite entre la Formación Guaduas (Kpgg) y la Formación Sabana (Qsa), ubicada en el cerro la Conejera.



Fuente: Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011.

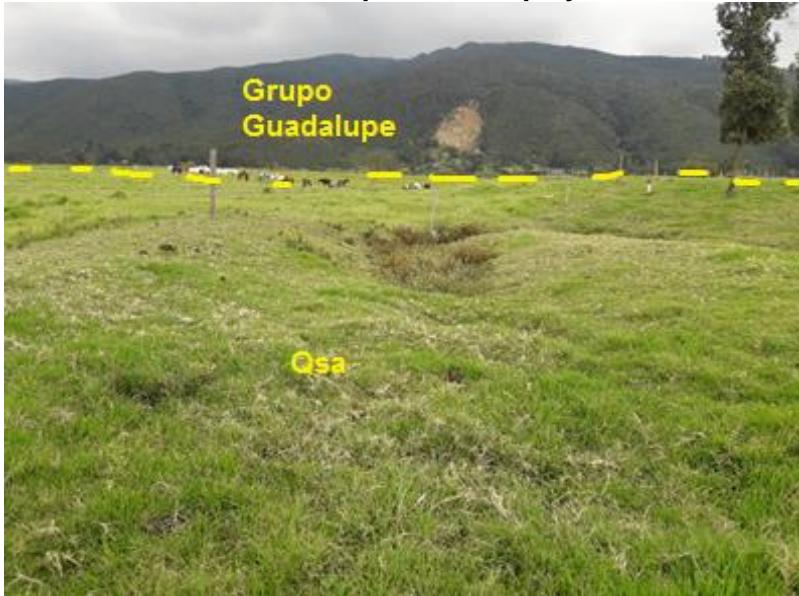
6.2.1.3 Formación Sabana (Qsa1 – Qsa2)

Referenciada inicialmente por Hubach (1957). Se encuentra altiplano gran parte de las planicies de la sabana de Bogotá, suprayaciendo la Formación Subachoque y otras unidades. Comprende sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas. Hacia los márgenes de la cuenca existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas. En el centro de la cuenca representa aproximadamente 300 m de espesor,

disminuyendo hacia los bordes. La edad es inferior a 1 millón de años, perteneciendo al Pleistoceno Medio a Tardío.

Los datos palinológicos indican que fue depositada en un lago (ambiente lacustre) con fluctuaciones del nivel de agua, mostrando una relación estrecha con los cambios de las condiciones climáticas y de vegetación. La depositación cesó hace cerca de 30.000 (A.P.) años con la desaparición del lago de la Sabana (INGEOMINAS, 2004).

Fotografía 3 Se ve el límite entre el Grupo Guadalupe y la Formación Sabana (Qsa1)



Fuente: WSP, 2019.

6.2.1.4 Formación Chía (Qch1)

Corresponde a sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales, localizados a lo largo de los ríos principales que cruzan la Sabana, algo por debajo de la planicie general; está constituida principalmente por arcillas de color gris claro, oscuro y amarillo; localmente puede contener limos y arcillas orgánicas. Su espesor máximo puede alcanzar los 5.00 m (INGEOMINAS, 2004).

Se pueden interpretar como arcillas de inundación, de una edad Pleistoceno Tardío a Holoceno. Durante los últimos años, los ríos depositaron mayor cantidad de sedimentos limosos, principalmente en las regiones más áridas; están asociadas con erosión en las pendientes que rodean la Sabana en esas áreas secas, relacionadas con deforestación causada por el hombre. En el área de estudio esta formación se encuentra sobre la planicie de inundación asociada al Humedal de Torca.

Fotografía 4 Formación Chía (Qch1)



Fuente: WSP, 2019.

6.2.1.5 Depósitos Fluvioglaciares (Qfg)

Estos depósitos están restringidos a cuencas pequeñas dispersas en el sector oriental del área de estudio, son de poca extensión, estos depósitos presentan formas en valles en U y están compuestos principalmente por gravas y arenas de grano fino, no consolidadas, las gravas son granosportadas con tamaños guijos de 4 cm y en menor proporción de 6 cm, envueltos en una matriz arenosa.

6.2.1.6 Depósitos de pendiente (Qdp1)

Estos depósitos fueron depositados en los valles aluviales de las microcuencas, su pendiente varía entre un 5 %-15%. Estos depósitos son de tipo coluviones, llamados también flujos de lodo y escombros sin diferenciar, formados por materiales heterogéneos de arcillolitas y limolitas de diversos tamaños, se encuentran diferentes tamaños desde guijarro hasta areniscas finas imbuidos en matriz arcillo- arenosa, estos depósitos se extienden de manera continua por el piedemonte de la cordillera oriental.

Fotografía 5 Depósitos de pendientes (Qdp1), sobre la cordillera oriental, limitados por la Formación Plaeners (Ksgp).



Fuente: WSP, 2019.

6.2.1.7 Rellenos antrópicos (Qra1)

Son los depósitos que han resultado de acciones antrópicas para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico, principalmente en zonas pantanosas y deprimidas, donde el material utilizado es el sobrante sacado de las excavaciones.

Fotografía 6 Rellenos antrópicos (Qra1)



Fuente: WSP, 2019.

6.2.2 Neotectonica y geología estructural del área del proyecto

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

7 ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

A nivel geomorfológico se validó la información incluida en el Anexo 3 del subproducto 4.1.1 del Informe de Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011), y el cual se complementó con imágenes satelitales del año 2019, y modelos de elevación digital (DEM), por lo cual se definen las áreas de inundación (fpi), se delimitan unidades lagunares (FI) y se anexan rellenos antrópicos (ar).

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

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

Para un estudio y caracterización adecuada de la evolución de los tipos de relieve, se requiere tener en cuenta la definición de cuatro conceptos muy importantes empleados en el estudio geomorfológico que relacionan al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales, los cuales son:

- **Morfogénesis:** Este aspecto involucra la definición del origen de las diferentes geoformas, entre lo que abarca las causas y procesos que dieron origen a las formas de terreno, ya que el origen de un paisaje depende de los procesos y agentes que interactúan para darle las formas a la superficie terrestre en diferentes intensidades y proporciones y durante intervalos de tiempo geológico.
- **Morfografía:** Corresponde a las características o aspectos relacionados con la geometría de las unidades geomorfológicas.
- **Morfodinámica:** Este aspecto se focaliza en los procesos denudativos que han afectado, están afectando y se pueden activar en el futuro, concepto que permite comprender la evolución y cambio que puede tener la superficie terrestre también permite evidenciar el grado de movilidad o de actividad relacionada a un paisaje, determina los procesos y su intensidad en la conformación de las geoformas.
- **Morfoestructura:** Corresponde al análisis de las formas de tipo estructural que imperan sobre el relieve, en donde se evidencia la influencia geológica-estructural en la conformación del relieve.

A continuación se presentan los estudios y análisis geomorfológicos, los cuales fueron realizados con base en la geomorfología propuesta por (INGEOMINAS, 2010), la cual relaciona las escalas de trabajo con la subdivisión geomorfológica, la génesis y los ambientes morfogenéticos (ver Figura 14).

Figura 14 Esquema de jerarquización - Geomorfología



7.1 GEOMORFOESTRUCTURA

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea (Megageoformas de origen tectónico). Se consideran como geomorfoestructuras: Los escudos, los bloques de origen continental (Plateaus Orogénicos ó Epirogénicos), grandes cuencas de sedimentación, cuencas intracratónicas y Rift Valleys, plataformas y cinturones orogénicos. (INGEOMINAS, 2010).

La evolución del paisaje presente corresponde a la interacción de diferentes procesos modeladores, los cuales han actuado a lo largo del tiempo, en diferente grado de preponderancia, ha sufrido procesos de sedimentación y levantamientos orogénicos y epirogénicos, con plegamientos y fallamientos, asociados a la actividad tectónica, así como metamorfismo y magmatismo, todos estos procesos le han dado su conformación geológica y geomorfológica actual.

De acuerdo con la jerarquización geomorfológica (INGEOMINAS, 2010), el área del proyecto se localiza en la geomorfoestructura correspondiente al cinturón Orogénico Andino.

7.2 PROVINCIAS GEOMORFOLÓGICAS

Las provincias geomorfológicas se definen como un conjunto de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar, estas se limitan teniendo en cuenta las características geológicas, morfológicas y geográficas, localmente para el área de estudio el 100% se encuentra en la provincia llamada cordillera Oriental.

7.3 REGIÓN GEOMORFOLÓGICA

Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente. Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos.

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

En el área de estudio se identificaron cuatro (4) ambientes morfogenéticos, ambiente antropogénico (A), ambiente denudacional (D), ambiente fluvial (F) y ambiente estructural (S).

7.3.1 Ambiente Antropogénico (A)

Corresponde a geoformas de terreno que son producto de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre (INGEOMINAS, 2010).

7.3.2 Ambiente Denudacional (D)

Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas preexistentes (INGEOMINAS, 2010).

7.3.3 Ambiente Fluvial y lagunar (F)

Corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas respectivamente (INGEOMINAS, 2010).

7.3.4 Ambiente Estructural (S)

Corresponde a geoformas de terreno que son producto de procesos tectónicos, se pueden asociar con plegamientos o fallamientos del terreno (INGEOMINAS, 2010).

7.4 UNIDADES Y SUB UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

El término unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo (Acumulación o erosión); está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos. En la Tabla 3 se pueden observar las unidades del área de estudio.

Tabla 3 Unidades geomorfológicas para el área de estudio

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA	REGIÓN	UNIDAD	SUB-UNIDAD	SÍMBOLO
SISTEMA OROGENICO ANDINO	CORDILLERA ORIENTAL	Antropogénico (A)	Planos y llenos antrópicos	Rellenos antrópicos	Ar
				Áreas Urbanizadas	Aru
		Morfoestructural (S)	Homoclinal la conejera	Laderas Estructurales denudadas y residuales	Slead
		Denudacional (D)	Piedemonte	Conos y Lóbulos coluviales y de soliflucción	Dco
				Flujos torrenciales	Flujo Torrencial
		Fluvial y lagunar (F)	Peniplanicies	Planicies y Deltas lacustrinos	Fpla
				Planicie de inundación	Fpi
			Cuerpos de agua	Lagos y lagunas	Fl
			Aluviales	Conos de Deyección	Fcdy

Fuente: WSP, 2019.

7.4.1 Unidades Antropogénicas (A)

Hacen parte las áreas comerciales dentro del área de estudios, cuyas geoformas han sido modificadas antrópicamente

7.4.1.1 Planos y llenos antrópicos (Ar) y áreas urbanizadas (Aru)

7.4.1.1.1 Morfogénesis

Tipo de relieve plano, hechos técnica o artesanalmente con relleno de escombros en terrenos anegadizos para las construcciones industriales. Y en algunos sectores para áreas urbanas.

7.4.1.1.2 Morfografía

Tipos de relieve planos artificiales, presentan pendientes entre 1 y 3 en la mayor parte de su área, los drenajes que se presentan son de canales artificiales, zonas generalmente estables.

7.4.1.1.3 Morfodinámica

Presenta erosión antrópica en algunos sectores, donde se ha removido toda la vegetación para dejar el terreno denudado.

7.4.1.1.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay alguna evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), para esta unidad geomorfológica.

Fotografía 7 Planos y rellenos antrópicos (Ar) dentro del área de estudio



Fuente: WSP, 2019.

7.4.2 Unidades de origen estructural (S)

7.4.2.1 Laderas estructurales denudadas y residuales (Slead)

Se encuentra localizada sobre el cerro de la Conejera sobre el costado oriental, en el límite de los depósitos cuaternarios pertenecientes a la Formación Sabana (Qsa) y la Formación Guaduas (Kpgg) al suroccidente del área de estudio.

7.4.2.1.1 Morfogénesis

Ladera estructural de Anticlinal, se forma debido a los esfuerzos compresionales de las capas tectónicas, que deforman las rocas a gran grado, presentando estructuras regionales en forma de Anticlinal, localmente presenta diaclasamiento. Es definida por la disposición de los estratos inclinados encontrados y la pendiente del terreno.

7.4.2.1.2 Morfometría

Presenta superficies ligeramente inclinadas, con una pendiente moderada de longitud corta, de forma escalonada con los estratos. Los estratos de la Formación Guaduas se encuentran en el plano estructural.

7.4.2.1.3 Morfodinámica

Esta unidad presenta procesos morfodinámicos asociados a la caída de rocas a nivel regional, dentro de esta estructura se observan escarpes de erosión menor, que no tienen ninguna obra de mitigación geotécnica lo que ocasiona el desprendimiento del material. Dentro del área de estudio esta unidad no presenta ningún proceso morfodinámico.

7.4.2.1.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay alguna evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), para esta unidad geomorfológica.

7.4.3 Unidades de origen Denudacional (D)

7.4.3.1 Conos y Lóbulos coluviales y de solifluxión

Los conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco) se encuentran en la parte oriental del área de estudio, corresponden a las zonas pendientes moderadas, está siendo cortada por diferentes cauces aluviales a nivel local.

7.4.3.1.1 Morfogénesis

El origen de esta geoforma está relacionado con procesos de tipo denudacional, que deterioran las rocas, y modelan esta unidad geomorfológica, acción del tectonismo regional y erosión diferencial, geoforma en forma de cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas. Se originan respectivamente por acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturados. Está constituido por materiales de diferentes tamaños con una matriz arcillosa.

7.4.3.1.2 Morfometría

Superficie en declive caracterizada por la repetición de lomos, con índice de relieve bajo, las geoformas que presenta espesores de 5 a 35 metros altura, de forma elongada con morfología ondulada con pendientes convexas.

7.4.3.1.3 Morfodinámica

Se presentan procesos morfodinámicos como erosión laminar con intensidad leve.

7.4.3.1.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), debido a que no hay evidencia de actividad neotectónica en el área.

7.4.3.2 Flujo torrencial (Dlfb)

7.4.3.2.1 Morfogénesis

Su origen es relacionado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial. Su origen se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrenciales, donde una corriente desemboca en una zona plana, siendo más profundos cerca al piedemonte y más someros al alejarse de él (INGEOMINAS, 2004).

7.4.3.2.2 Morfometría

Superficie caracterizada por presentar conos de origen torrencial, el espesor de esta geoforma varia siendo más espeso cerca al piedemonte de los cerros orientales, presenta inclinaciones suaves entre 1 - 7 °, presenta sedimentos de tamaño guijo cerca al piedemonte, en la parte distal de la geoforma se observan sedimentos de tamaño arena fina y arcilla.

7.4.3.2.3 Morfodinámica

Normalmente no presenta procesos de erosión o remoción en masa.

7.4.3.2.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay alguna evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), para esta unidad geomorfológica.

7.4.4 Unidades de origen Fluvial y Lagunar (F)

7.4.4.1 Conos de deyección (Fcdy)

7.4.4.1.1 Morfogénesis

Su origen está relacionado con puntos donde los canales o quebradas llegan a los valles amplios, se presenta una depositación de materiales de diferentes tamaños arcilla, grava y arena de espesores de hasta 5 metros.

7.4.4.1.2 Morfometría

Geoforma en forma de cono en planta, presenta pendientes entre 5° - 10° de inclinación, se extiende desde algunos metros hasta decenas de metros sobre valles amplios (INGEOMINAS, 2004).

7.4.4.1.3 Morfodinámica

Normalmente no presenta procesos de erosión o remoción en masa.

7.4.4.1.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay alguna evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), para esta unidad geomorfológica.

7.4.4.2 Lagos y Lagunas (FI)

7.4.4.2.1 Morfogénesis

Son pequeños cuerpos de agua su origen se debe a la inundación de antiguas depresiones durante la época de alta pluviosidad, las cuales pueden permanecer en épocas secas ya que son pobremente drenadas, en el área de estudio se encuentran algunas lagunas de origen antrópico.

7.4.4.2.2 Morfometría

Depósito natural de agua, de dimensiones inferiores tanto en área como en profundidad a los lagos, son cuerpos elongados de aproximadamente 15 m.

7.4.4.2.3 Morfodinámica

Normalmente no presenta procesos de erosión o remoción en masa.

7.4.4.2.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), debido a que no indicios de actividad neotectónica en el área.

Fotografía 8 Lago ubicado en el costado occidental del cementero Jardines de Paz



Fuente: WSP, 2019.

7.4.4.3 Planicie y delta lacustrino (Fpla)

7.4.4.3.1 Morfogénesis

Se formó como producto del desplazamiento lateral del Río dentro de su llanura aluvial y controlada hacia el oriente por los cerros orientales, en donde se mezcla con los depósitos dejados por las corrientes que bajan de las zonas montañosas.

7.4.4.3.2 Morfometría

Planicies extensas de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de 2 –20 m de altura. Se constituye de arcillas grises con locales intercalaciones de arenas finas y delgados niveles de gravas y turbas, en capas paralelas producto de la acumulación de materiales en la cuenca ocupada por el antiguo lago de la Sabana de Bogotá. Espesores de 20 - 300 m (INGEOMINAS, 2004)..

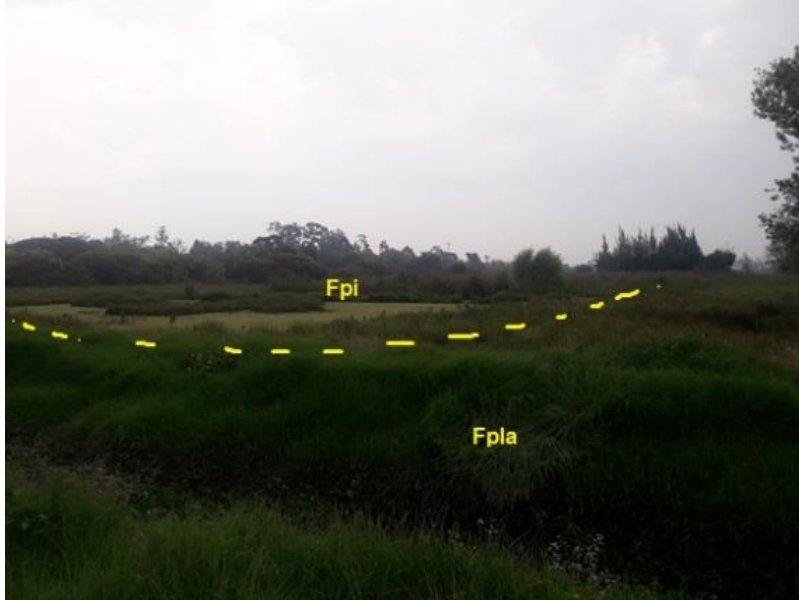
7.4.4.3.3 Morfodinámica

Esta geoforma no presenta movimientos en masa dada su baja pendiente.

7.4.4.3.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), debido a que no indicios de actividad neotectónica en el área.

Fotografía 9 Contacto entre Fpi y Fpla



Fuente: WSP, 2019.

7.4.4.4 Plano o llanura de inundación (Fpi)

7.4.4.4.1 Morfogénesis

Se generan por la depositación y divagación de los principales drenajes del área de estudio y por el Humedal de Torca.

7.4.4.4.2 Morfometría

Franja de terreno plana baja de morfología ondulada de 0.05 –5 km, eventualmente inundable, se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de 3 - 5 m de arcillas y limos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “U” y “V”, conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos (INGEOMINAS, 2004).

7.4.4.4.3 Morfodinámica

Esta geoforma no presenta movimientos en masa dada su baja pendiente.

7.4.4.4.4 Morfoestructura

En el área de estudio no hay evidencia de morfoestructuras (fallas, pliegues o lineamientos), debido a que no indicios de actividad neotectónica en el área.

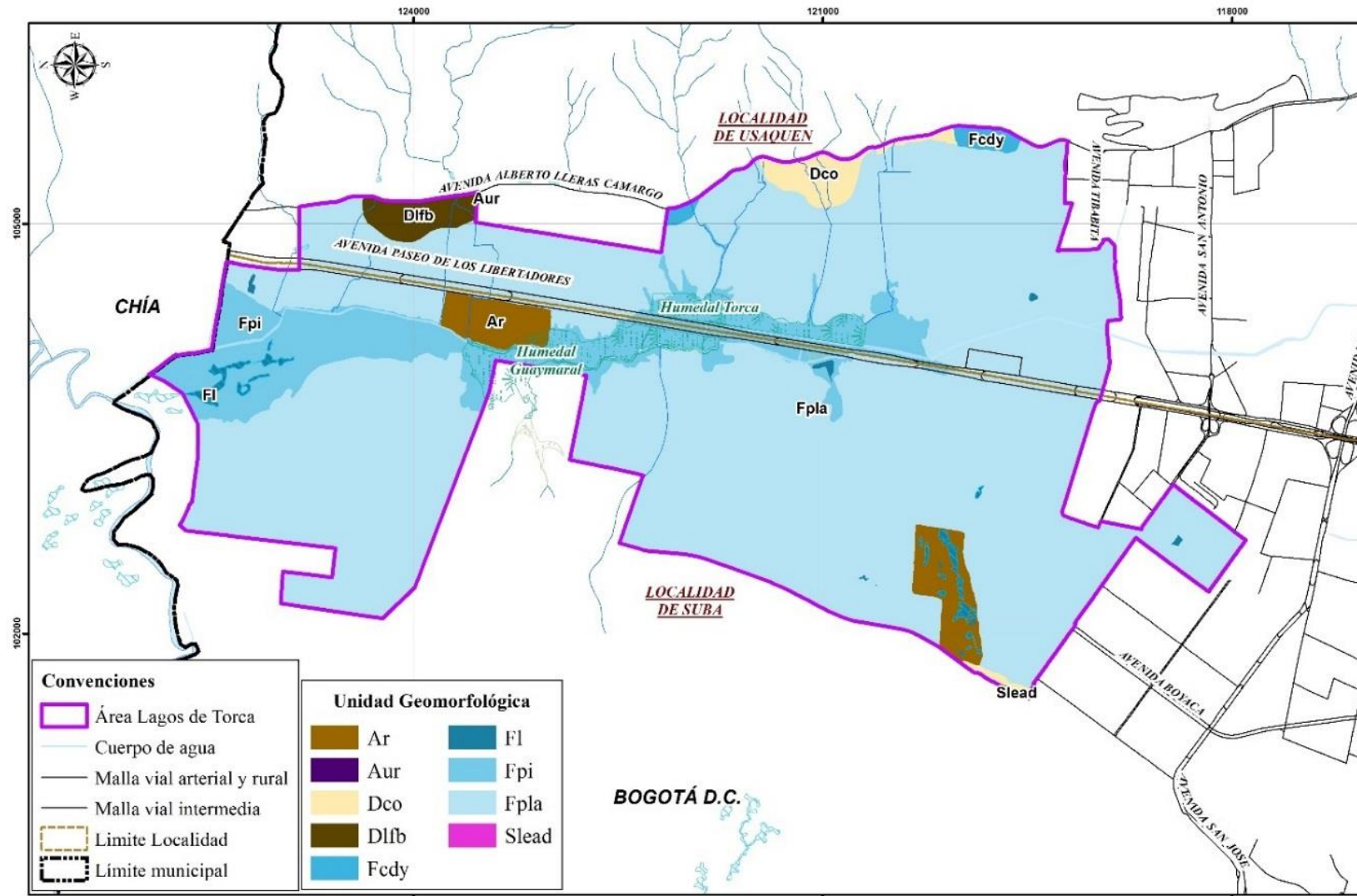
Fotografía 10 Planicie de inundación cerca de Bima



Fuente: WSP, 2019.

Con base en lo anterior, en la Figura 15 y Anexo A Planos se muestra el Mapa Geomorfológico del área de estudio.

Figura 15 Mapa geomorfológico del área de estudio (2019)



Fuente: WSP, 2019.

7.5 PROCESOS MORFODINÁMICOS

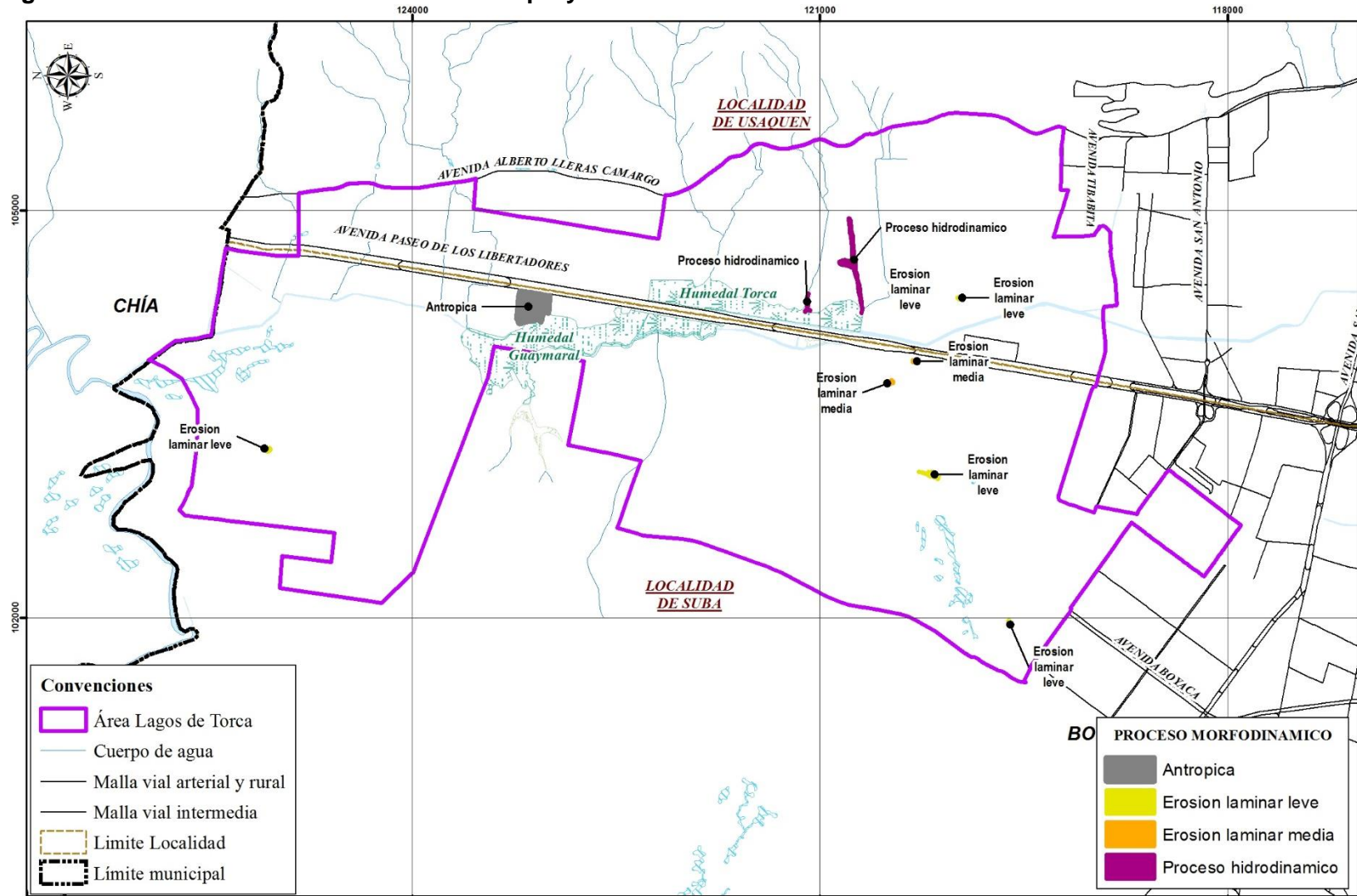
La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o Unidades de terreno (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2010)

La generación del atributo morfodinámico se ha hecho a través de un proceso de agrupamiento, el cual se construye a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos, de la fotointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM (RR). Es través de este agrupamiento que obtenemos una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento del relieve asociado a las características del material (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2010).

En el área de estudio se lograron identificar procesos morfodinámicos de poca extensión, de carácter puntual relacionados principalmente a erosiones laminares, surcos (no cartografiables) y socavación lateral de los cauces actuales.

A continuación, se presenta el mapa del área del proyecto, donde se encuentran los principales procesos morfodinámicos identificados mediante salidas de campo y análisis de las imágenes satelitales. (ver Figura 16).

Figura 16 Procesos morfodinámicos área del proyecto



Fuente: WSP, 2019.

8 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

En el estudio de Factibilidad Borde Norte (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011) se adelantó un análisis multitemporal, a partir de la fotointerpretación geológica y geomorfológica, y que permitió apreciar la evolución de los cuerpos de agua en la zona Norte de Bogotá; a continuación se resumen dichos análisis y además se presenta un actualización de los análisis multitemporales para años posteriores y para los cuales se consultaron las siguientes fotografías:

- Análisis multitemporal 1960: Fotografías aéreas del vuelo.
- Análisis multitemporal 2007: fotografías aéreas pertenecientes al vuelo C:2802 a escala 1:39600, fotografías 105, 106, 107 y 108. Fotografías del vuelo C:2803 a escala 1.41409.
- Análisis multitemporal 2010: Fotomosaico 110010001512012010, fotografías 885, 886, 887, 888 y 889. Interpretadas a escala 1:5000.
- Análisis multitemporal 2014: Fotomosaico 251750000718032014, fotografías 789, 790, 791, 792, 862, 863, 864, 865 y 866. Interpretadas a escala 1:5000.
- Análisis multitemporal 2016: Fotomosaico 110010002527012016, fotografías 1584, 1585, 1586, 1587 y 1588. Interpretadas a escala 1:5000.

8.1 ANÁLISIS 1956-2004 (CONSORCIO BORDE NORTE BOGOTÁ, 2011)

Se realizó una revisión de las líneas de vuelo entre las décadas de los 50 y años 2000, con escalas que varían entre 1:9000 y 1:21000. Las fotografías utilizadas corresponden a los años: 1956, 1971, 1984, 1998 y 2004; y las ventanas de tiempo analizadas fueron: 1956-1971; 1971-1984; 1984-1998 y 1998-2004; de la Figura 17 a la Figura 20 se incluyen los resultados de la fotointerpretación realizada; en general, se realizó el análisis de contrastes en los cauces y cuerpos de agua, que han afectado los humedales de Torca y Guaymaral.

Figura 17 Fotointerpretación 1956-1971 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)

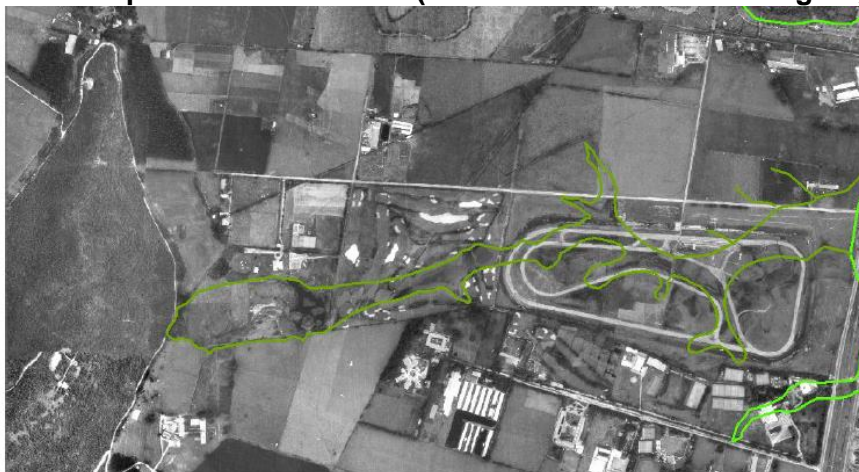


Ilustración 1 Foto de 1984 donde se demarca la antigua área de un brazo del Humedal Torca, el cual para este año fue rellenado. Vuelo IGAC C-2128-1984.

Fuente: Anexo 1 del subproducto 4.1.1 Análisis Geomorfológico y Estudio Geológico y Geotécnico - Consortio Borde Norte Bogotá, 2011

Figura 18 Fotointerpretación 1971-1984 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)



Ilustración 3 Área de afectación y relleno de la parte sur del Humedal Torca para el lapso 1971-1984. El área demarcada de color verde es el área rellena, y el área de color verde pálido es el límite actual del humedal. Fotografías del vuelo IGAC C-2128-1984.



Ilustración 4 Brazo del Humedal Guaymaral, con forma de Herraduras, que comienza a ser relleno para el lapso 1971-1984. Fotografías del Vuelo IGAC C-2128-1984.

Fuente: Anexo 1 del subproducto 4.1.1 Análisis Geomorfológico y Estudio Geológico y Geotécnico - Consortio Borde Norte Bogotá, 2011

Figura 19 Fotointerpretación 1984-1998 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)



Ilustración 5 Canal al W del Canal Guaymaral que es clausurado completamente. Izquierda fotografía del Vuelo IGAC C-2128-1984. Derecha fotografía del Vuelo IGAC - SAV-415-1998.

Fuente: Anexo 1 del subproducto 4.1.1 Análisis Geomorfológico y Estudio Geológico y Geotécnico - Consortio Borde Norte Bogotá, 2011

Figura 20 Fotointerpretación 1998-2004 (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)

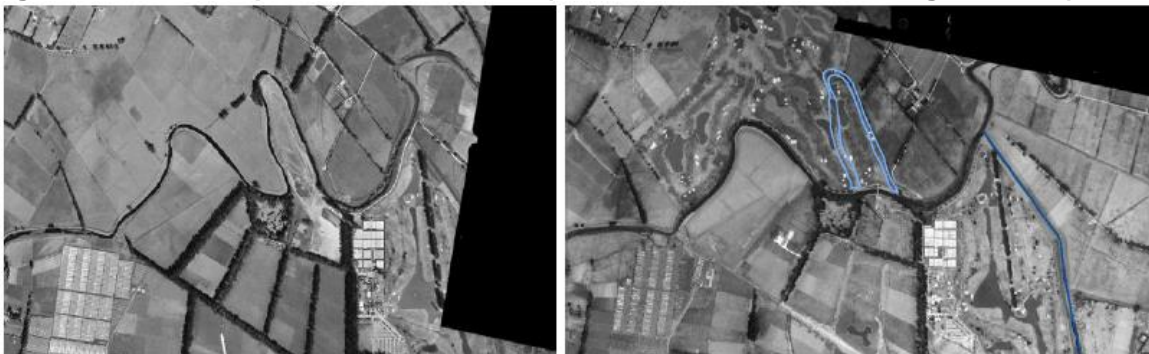


Ilustración 6 Meandro del Río Bogotá que fue cortado y rellenado para el lapso 1998-2004. Izquierda fotografía del Vuelo IGAC SAV-425-1998. Derecha fotografía del Vuelo IGAC C-2717-2004.



Ilustración 7 Algunos de los cauces que a través del tiempo han sido intervenidos o han disminuido sus cauces. Las demarcaciones azules son los representan los cauces actuales. Izquierda fotografía del Vuelo IGAC SAV-415- 1998. Centro y Derecha fotografías del Vuelo IGAC C-2717-2004.

Fuente: Anexo 1 del subproducto 4.1.1 Análisis Geomorfológico y Estudio Geológico y Geotécnico - Consortio Borde Norte Bogotá, 2011

8.2 AÑO 1956 Y 1960

En la imagen del año 1956 y 1960 (Figura 21 y Figura 22) se puede observar la extensión del humedal en la parte sur y occidental de la autopista, en la imagen se ve que los cauces alrededor del humedal no estaban afectados, la quebrada aguas calientes mostraba tres brazos que daban aguas en el costado occidental, actualmente estos brazos no se encuentran debido a que en esta área se encuentra el cementerio Jardines de Paz. La quebrada Patiño en esta época tenía su curso natural, actualmente esta quebrada se encuentra canalizada y los sedimentos que transporta son de tamaño arena fina.

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

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

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

8.3 AÑO 2007

En la Figura 23 se incluye el análisis realizado; para el año 2007, a diferencia del año 2004, se puede observar una construcción antrópica en el costado occidental de la avenida paseo los libertadores, ocupando parte del Humedal Guaymaral para relleno, se puede observar en el área el crecimiento urbano para viviendas en la parte norte del Humedal. Las principales quebradas del área de estudio no tuvieron ninguna afectación en el lapso entre 2004 y 2007, esto debido a que gran parte de estas quebradas se encuentran canalizadas por lo cual su cauce y rumbo están controlados por estas construcciones, tales como la quebrada Aguas Calientes, quebrada Patiño, Quebrada La Floresta, Quebrada la Novita y Quebrada Torca. También se puede observar la quebrada San Juan que a pesar de no estar canalizada no sufrió de ningún cambio notorio en este tiempo, debido a que su curso se encuentra limitado por una topografía plana y no tiene que atravesar ninguna clase de obstáculo para desembocar en el canal de Torca.

8.4 AÑO 2010

Para el año 2010, se puede observar el crecimiento de infraestructura dentro del humedal Guaymaral, en el costado occidental de la avenida paseo de los libertadores se puede observar nuevos rellenos antrópicos dentro del área del humedal; adicionalmente al costado occidental, oriental y norte del Humedal se puede evidenciar el gran crecimiento de casas, conjuntos y centros educativos en el área. Las quebradas a diferencia del año 2007 no presentan cambios significativos. Lo anteriormente descrito se muestra en la Figura 24.

8.5 AÑO 2014

Para el año 2014 se puede observar que el desarrollo urbano sigue incrementando, parte del humedal se ve limitado por algunos predios privados en el sector occidental, las quebradas aguas calientes, Patiño, La Floresta, Novita y Torca, siguen sus cursos canalizados por lo cual no han tenido ningún cambio y estos desembocan al canal de Guaymaral (ver Figura 25).

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

8.6 AÑO 2016

Para el año 2016, se observa que el crecimiento urbano es evidente, más áreas modifican el uso del suelo para sectores de comercio, viviendas y educación (ver). Dentro de la planicie de inundación (Fpi) perteneciente al humedal de Guaymaral se observan más construcciones que están afectando directamente este sistema. Para el año 2016 también es evidente que al sur de Bima se realizó un relleno antrópico, causando erosión antrópica en el área, dejando los suelos completamente denudados y afectando las zonas de infiltración del humedal en esta zona. Lo anteriormente descrito se muestra en la Figura 26.

8.7 AÑO 2019

Para el año 2019 se puede observar que las quebradas Aguas Calientes, Patiño, La Floresta, la Novita y Torca no han sufrido alguna afectación debido a que se encuentran canalizadas antes del 2004, y su curso se ha mantenido constante a lo largo del tiempo. También se puede observar la quebrada San Juan presenta leves cambios de dirección en su curso, que hace parte del comportamiento natural de la misma (ver Figura 27).

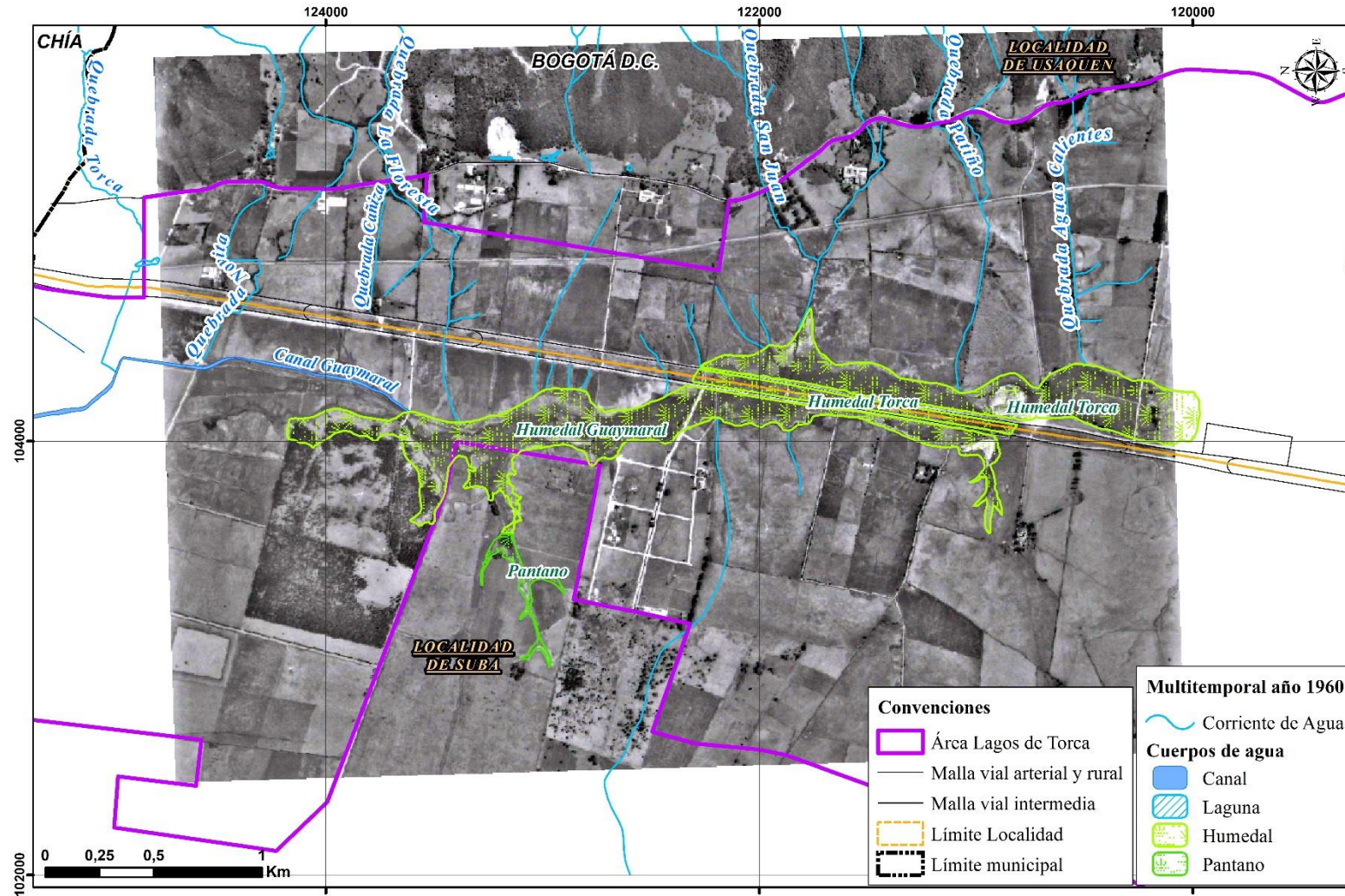
En el sector norte del Humedal se observa un gran crecimiento urbano, muchas parcelas fueron construidas. La planicie de inundación del Humedal no ha sido afectada, manteniendo sus sectores verdes igual que el año 2016.

Figura 21 Análisis multitemporal año 1956



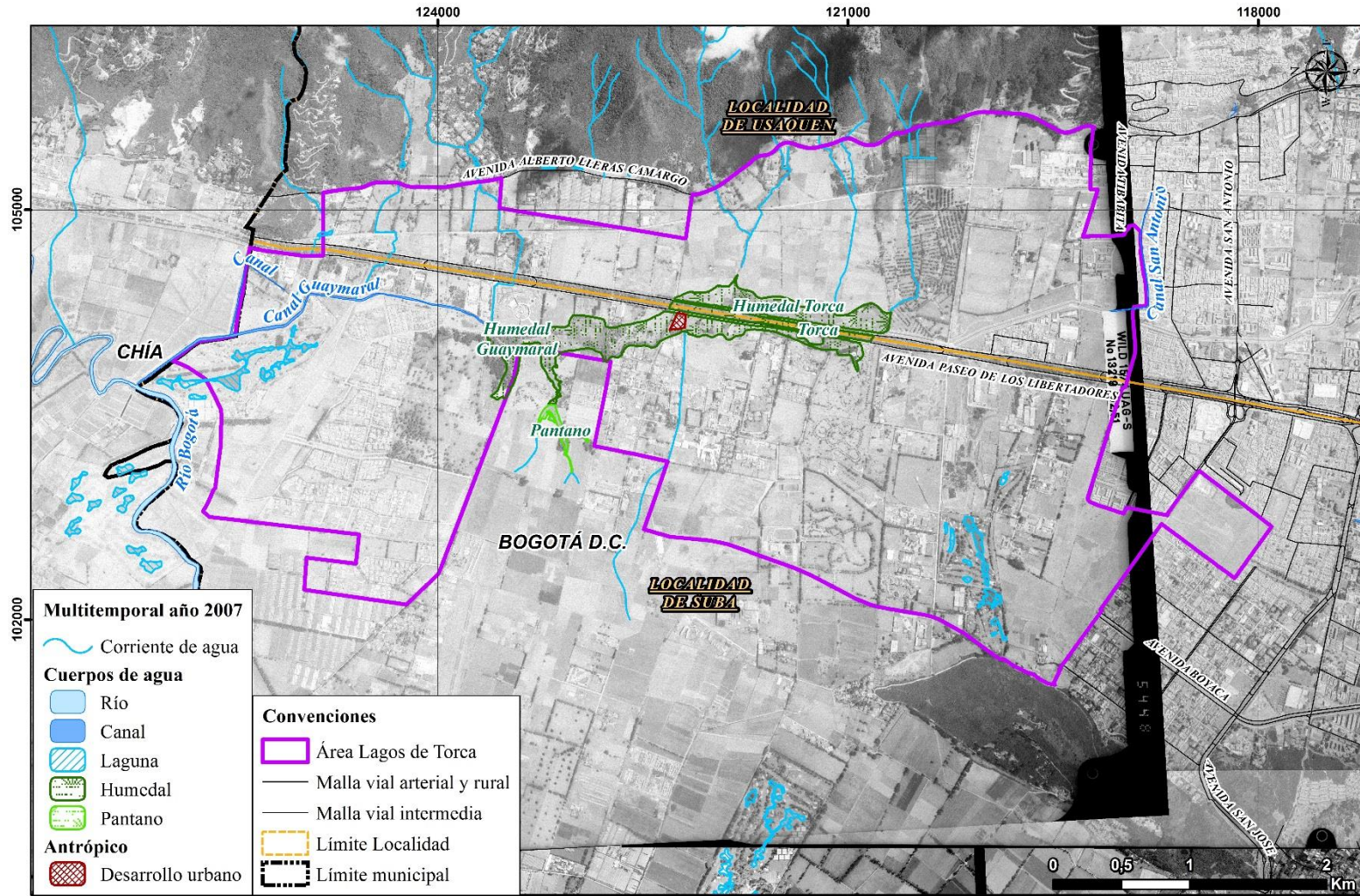
Fuente: WSP, 2019.

Figura 22 Análisis multitemporal año 1960



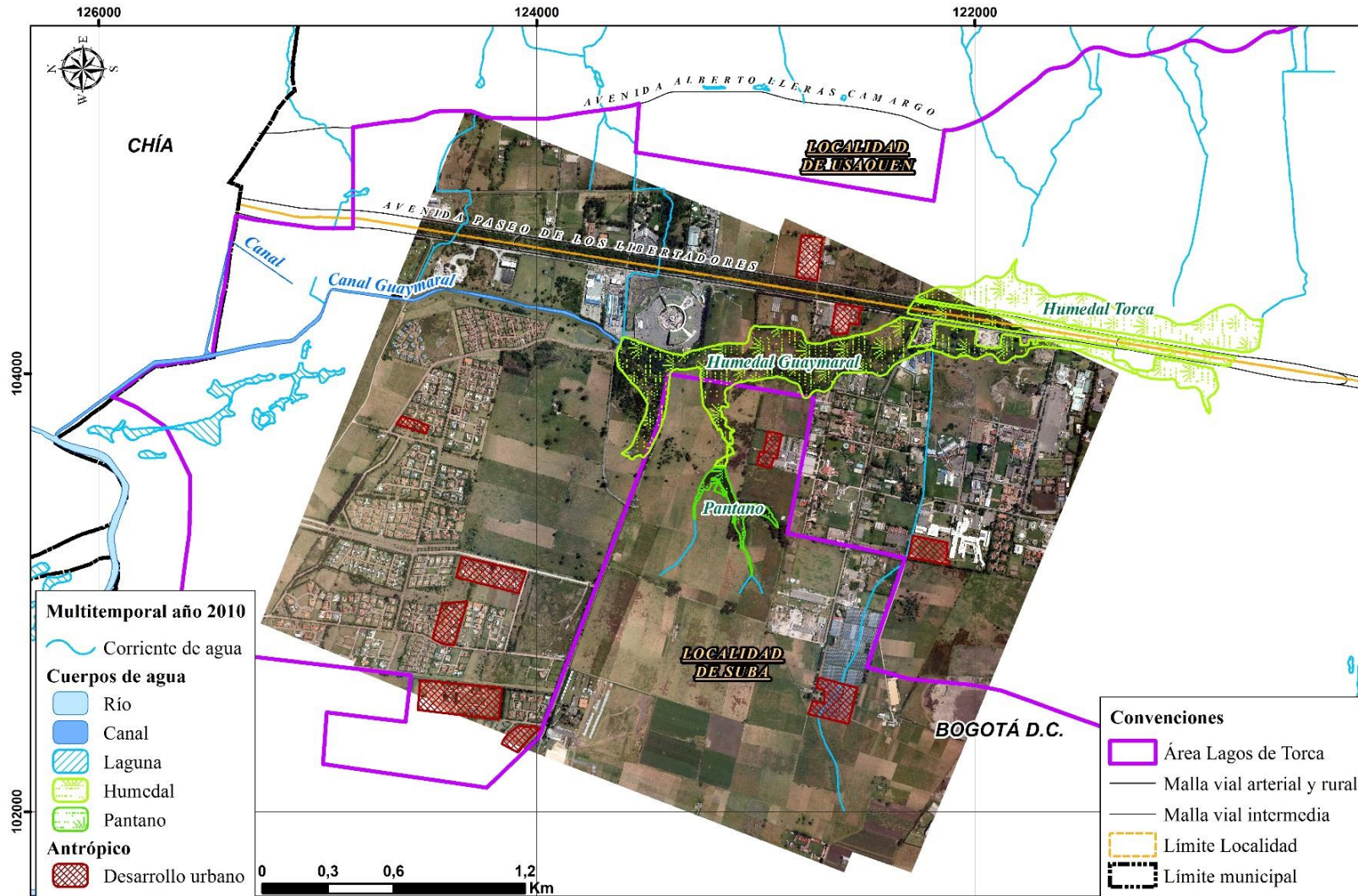
Fuente: WSP, 2019.

Figura 23 Análisis multitemporal año 2007



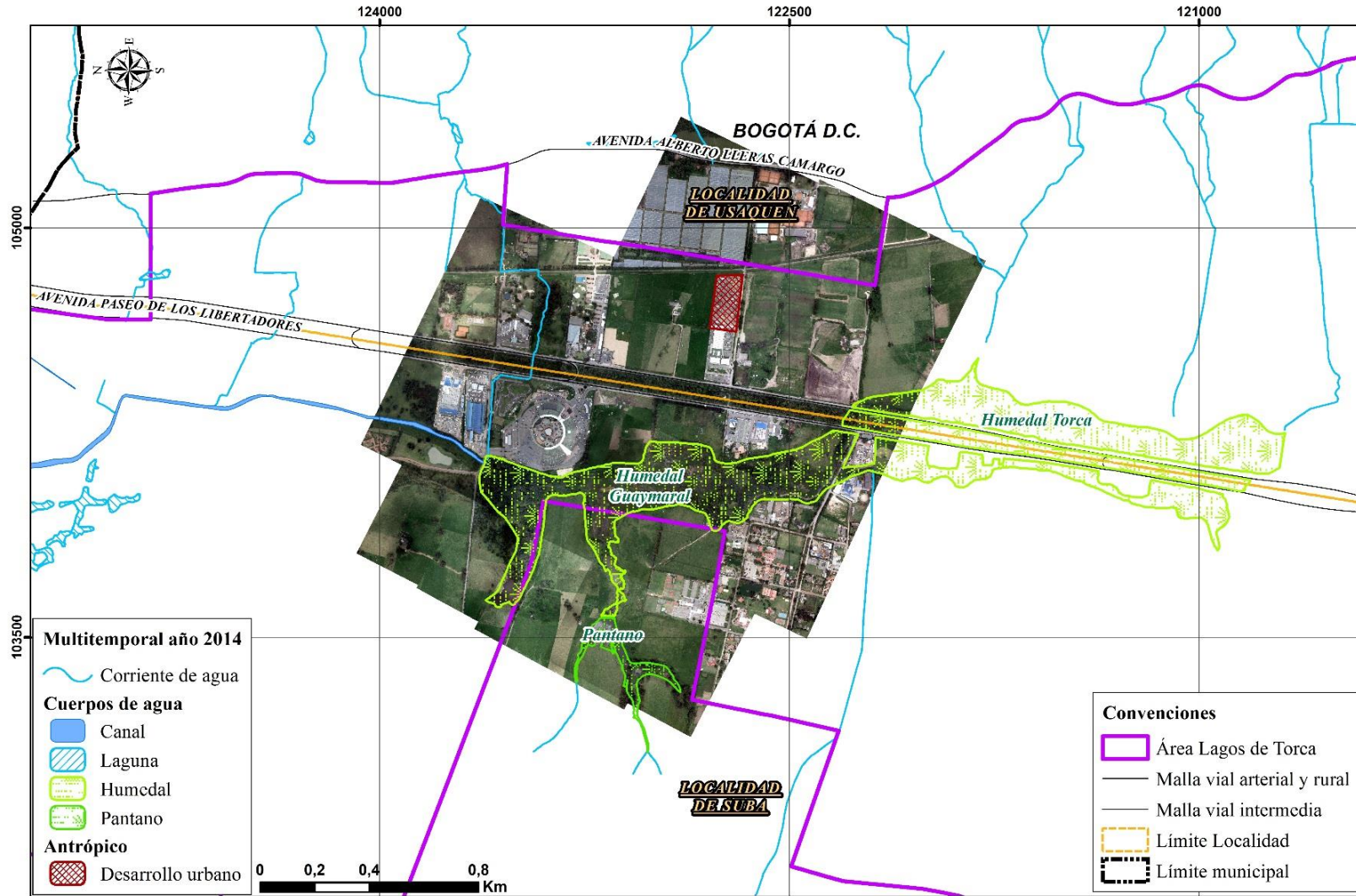
Fuente: WSP, 2019.

Figura 24 Análisis multitemporal año 2010



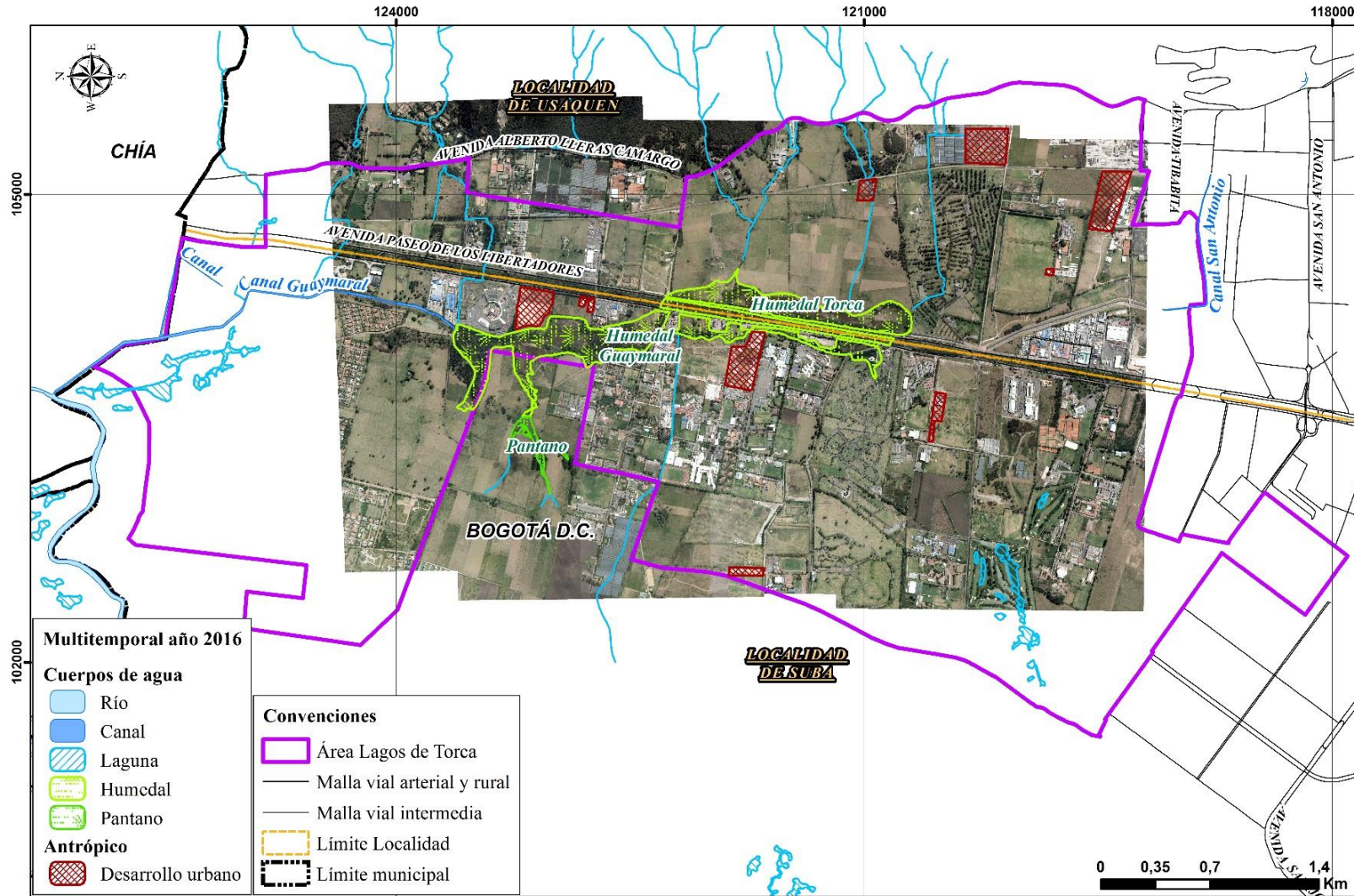
Fuente: WSP, 2019.

Figura 25 Análisis multitemporal año 2014



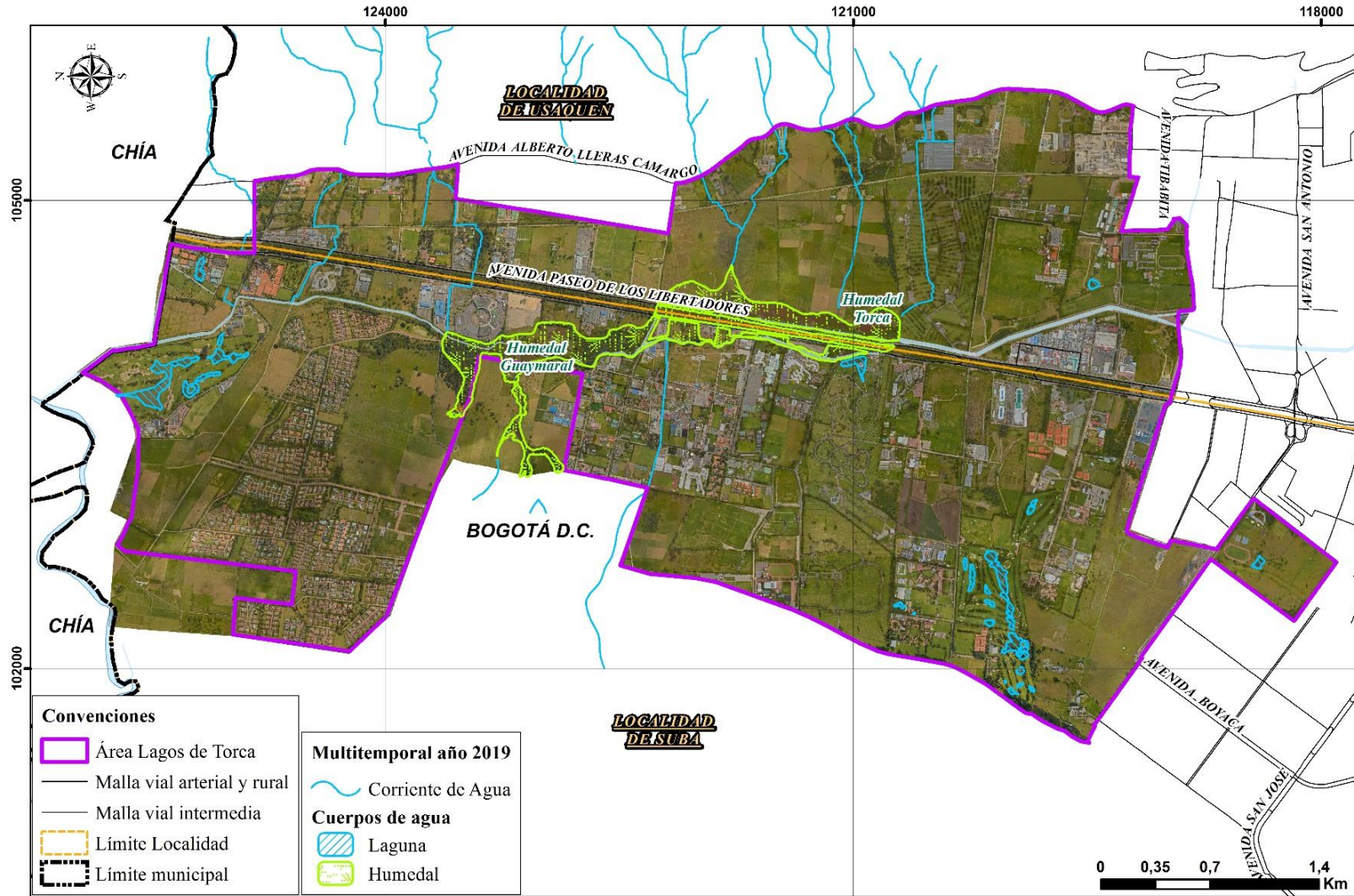
Fuente: WSP, 2019.

Figura 26 Análisis multitemporal año 2016



Fuente: WSP, 2019.

Figura 27 Análisis multitemporal año 2019



Fuente: WSP, 2019.

8.8 ANÁLISIS DE QUEBRADAS

En los siguientes subnumerales se incluye la comparación de las quebradas entre la década de 1960 y la actualidad; lo anterior, con énfasis en cambios antrópicos; adicionalmente, se incluye un análisis de sedimentos.

8.8.1 Quebrada Aguas calientes

La quebrada Aguas Calientes presenta sedimentos con tamaño variado desde su lecho en el sector oriental hasta desembocar en el humedal del Torca en el sector Occidental, sus sedimentos provienen de la cordillera oriental se puede observar sedimentos de diversos orígenes: rocas sedimentarias, rocas ígneas con vetilleos de 2 cm y algunas rocas máficas. El tamaño de los clastos que contiene esta quebrada en un 80 % se encuentran entre 2 cm y 5 cm, presenta también clastos de más de 30 cm, pero son pocos, son clastos subangulares a subredondeados, con poca esfericidad (ver Fotografía 11). Estos sedimentos provienen de las Formaciones sedimentarias proximales encontradas en la cordillera oriental, que se desprendieron y fueron transportados mediante este cauce hasta su depositación.

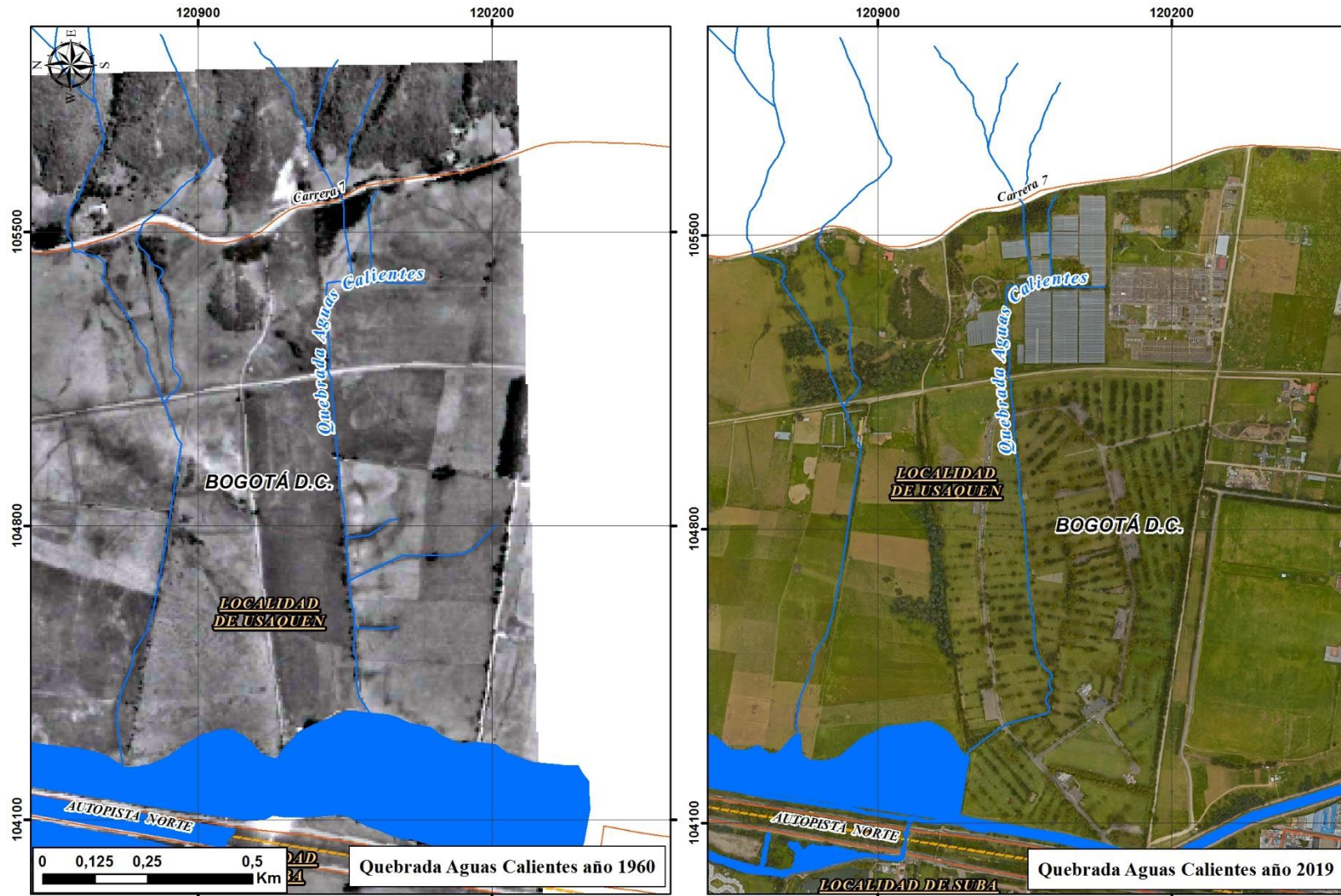
Fotografía 11 Quebrada Aguas Calientes



Fuente: WSP, 2019.

En 1956 se puede observar que esta quebrada tenía 3 afluentes naturales y se encontraba con su curso natural, para el año 2019 estos cauces que alimentaban esta quebrada ya no existen y su cauce se encuentra canalizado dentro del cementerio, anteriormente el cauce presentaba una sinuosidad leve, la cual fue canalizada y controlada por obras antrópicas.

Figura 28 Quebrada Aguas Calientes, cambios morfológicos



Fuente: WSP, 2019.

8.8.2 Quebrada Patiño

La quebrada Patiño se encuentra en el sector oriental del Humedal de Torca (ver Fotografía 12) presenta sedimentos con tamaño variado desde su lecho se presenta en una matriz arcillosa con clastos que varían de tamaño hasta 4 cm. El origen de sus sedimentos es variado donde se pueden observar sedimentarias e ígneas, principalmente se ven areniscas compactas, algunas arcillas, pobremente seleccionadas subredondeadas, elongadas y subesféricas desde el inicio de la quebrada hasta su desembocadura en el humedal. Presenta una matriz arcillosa y ocasionalmente se observan clastos de más de 10 cm de ancho.

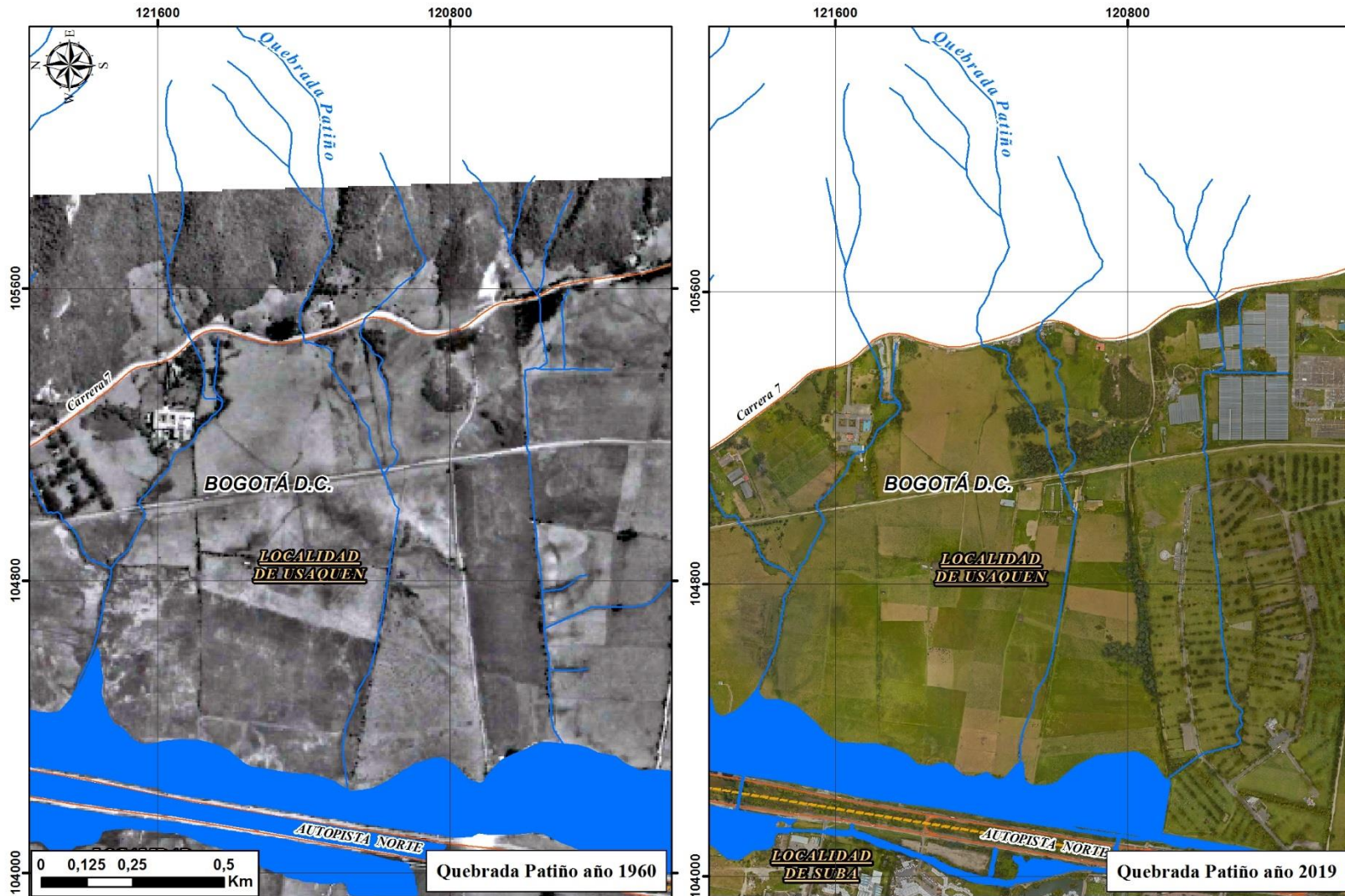
Fotografía 12 Quebrada Patiño



Fuente: WSP, 2019.

Esta quebrada desde 1956 hasta la fecha ha sufrido ligeros cambios como se puede observar en la Figura 29, sus cambios en la morfología principales se deben a la canalización que esta quebrada tiene sobre la vía del tren, y algunas construcciones urbanas que están sobre el cauce de la quebrada.

Figura 29 Quebrada Patiño, cambios morfológicos.



Fuente: WSP, 2019.

8.8.3 Quebrada San Juan

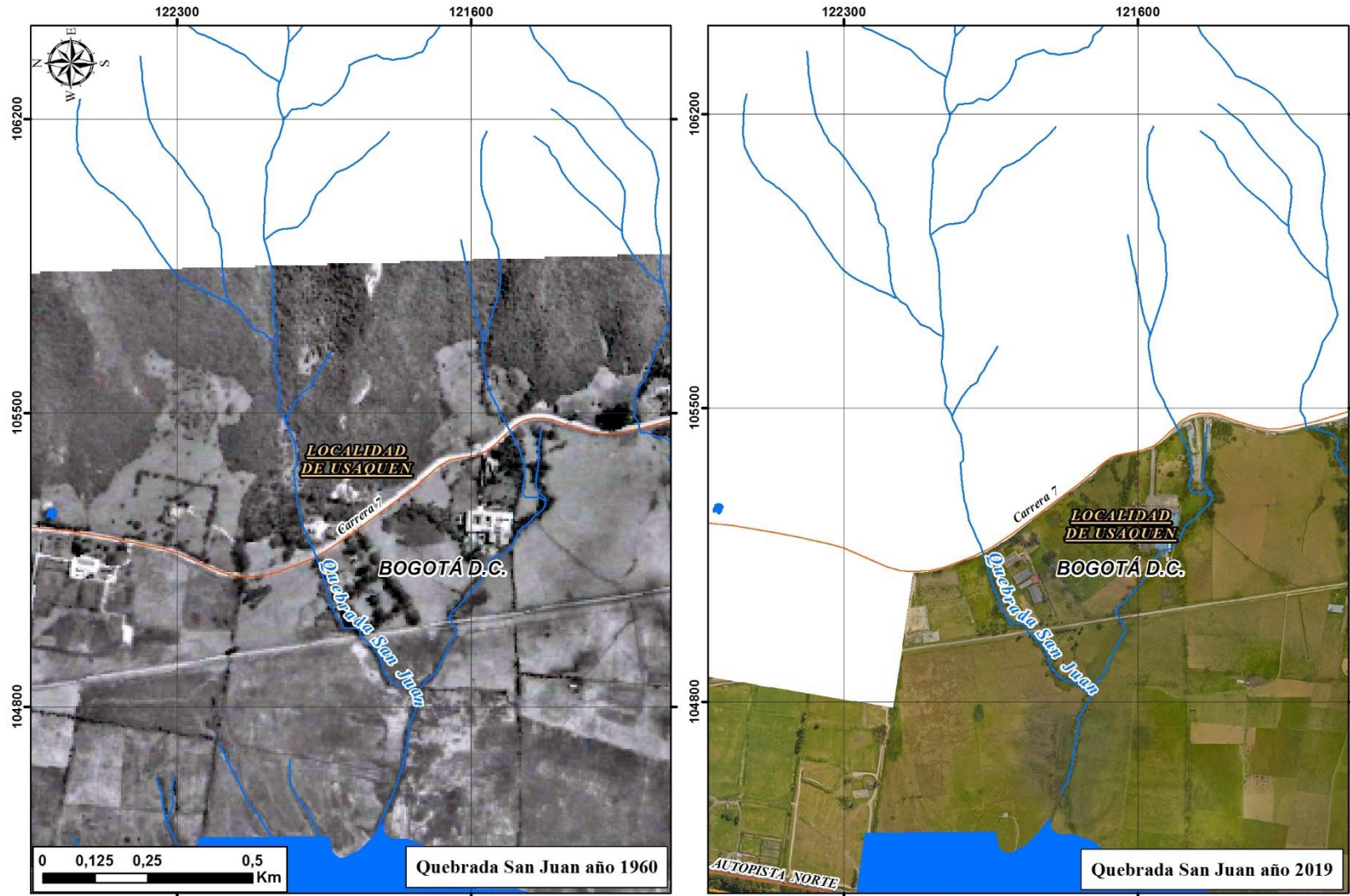
La quebrada San Juan presenta dos brazos que nacen en la cordillera oriental, y se unen en la Sabana de Bogotá, se pueden observar pequeños sedimentos de distinto origen que varían en tamaño hasta los 3 cm, son sedimentos pobremente seleccionados, subangulares y subredondeados, presentan una matriz arcillosa y ocasionalmente cantos de hasta 20 cm de diámetro angulares y subesféricos; su cauce no ha tenido modificaciones en los últimos años como se puede observar en la Figura 30, los principales cambios antropogénicos que presenta este cauce se dan en el cruce con la vía férrea donde se realizaron adecuaciones civiles para el cruce del mismo. (ver Fotografía 13).

Fotografía 13 Quebrada San Juan



Fuente: WSP, 2019.

Figura 30 Cambios morfológicos, quebrada San Juan



Fuente: WSP, 2019

8.8.4 Quebrada la Floresta

La quebrada la Floresta presenta una pendiente baja a muy baja, se pueden observar sedimentos entre 1 cm y 2 cm, de diversos orígenes, son sedimentos subredondeados a subesféricos, se pueden observar areniscas cuarzosas muy compactadas, algunos clastos ígneos, los clastos de esta quebrada son poligomicticos, ocasionalmente al costado oriental de la autopista norte se pueden observar clastos de hasta 15 cm angulares, de poco transporte lo que nos indica que el material de origen se encuentra cerca (rocas del grupo Guadalupe de los cerros orientales); el cauce se encuentra canalizado en el sector occidental, en este sector es evidente la falta de sedimentos donde se observan pequeños se observa como su cantidad varía en menor proporción, está bordeando el sector norte del BIMA hasta llegar al Humedal Guaymaral (ver Fotografía 15).

Fotografía 14 Quebrada la Floresta, costado occidental de la autopista, canalización paralela al centro comercial BIMA.



Fuente: WSP, 2019

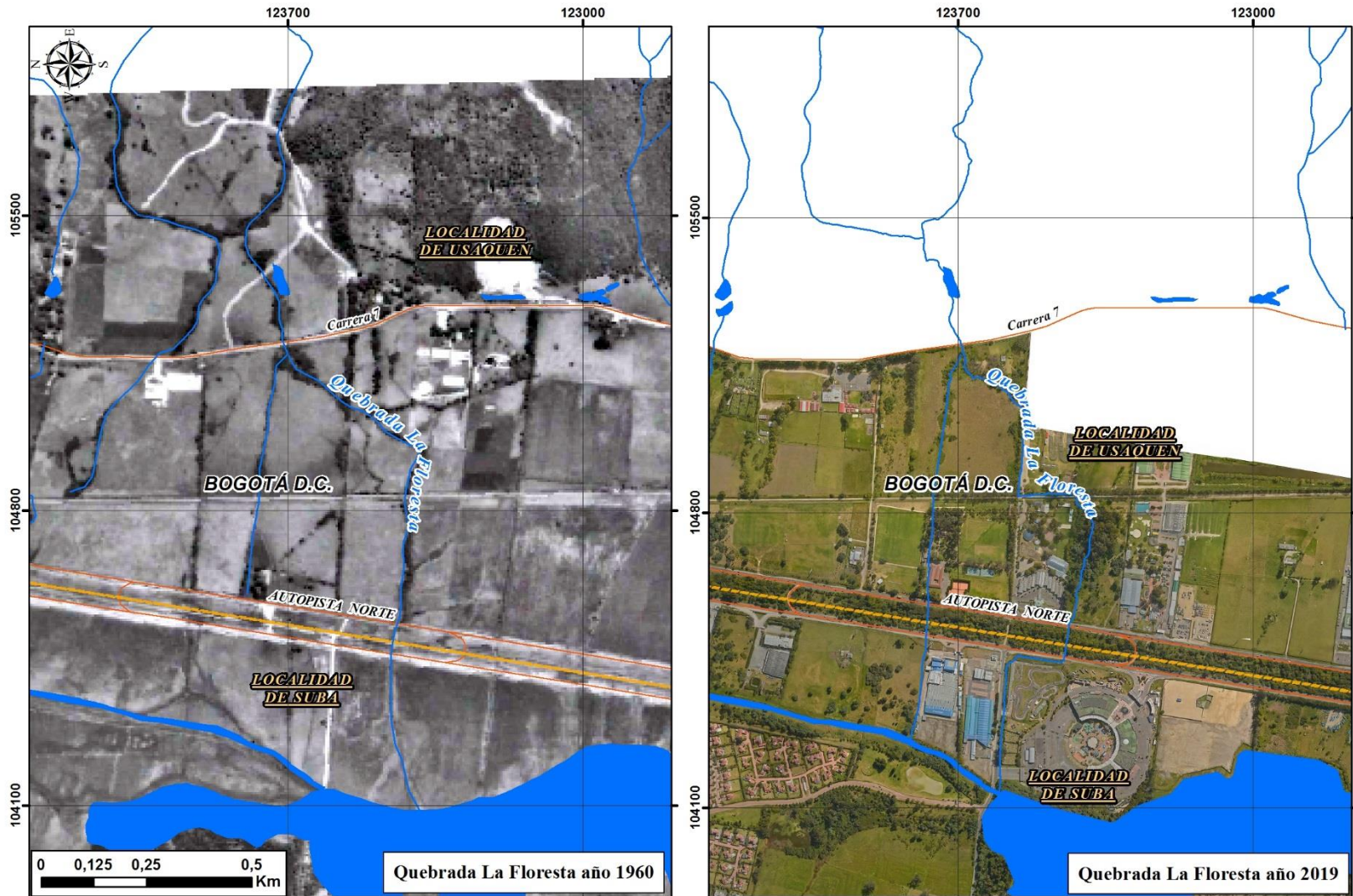
Este cauce originalmente atravesaba de oriente a occidente desde los cerros orientales hasta el humedal, en 1960 este cauce no presentaban las canalizaciones que tienen ahora, la quebrada tenía 2 afluentes en dirección SE -NW, que abastecían el cuerpo de agua, con el paso del tiempo estos brazos desaparecieron debido a construcciones antrópicas; el cauce original de la quebrada también ha sido modificado como se puede observar en la Figura 31, en el sector occidental por la construcción del BIMA se canalizo el cauce hacia el norte para que este no pierda la conexión con el Humedal Guaymaral.

Fotografía 15 Quebrada la Floresta



Fuente: WSP, 2019.

Figura 31 Cambios morfológicos, quebrada La Floresta



Fuente: WSP, 2019.

8.8.5 Quebrada Torca

Sobre la quebrada Torca en el sector oriental de la autopista norte, se pueden observar algunos clastos de tamaños variados de hasta 3 cm de origen sedimentario, se encuentran sobre una matriz arcillosa, estos sedimentos son pobremente seleccionados subesféricos y subredondeados; esta quebrada se encuentra canalizada en el Club Cafam, en el sector occidental del Club se puede observar un cauce sin sedimentos, los sedimentos en esta área son controlados por los box instalados en el club y las interacciones que la quebrada tiene sobre la autopista norte; se encuentra el cuerpo de agua canalizado con pendientes bajas y caudales muy bajos, el ancho de esta canalización varía entre 0,5 y 1,0 m (ver Fotografía 16).

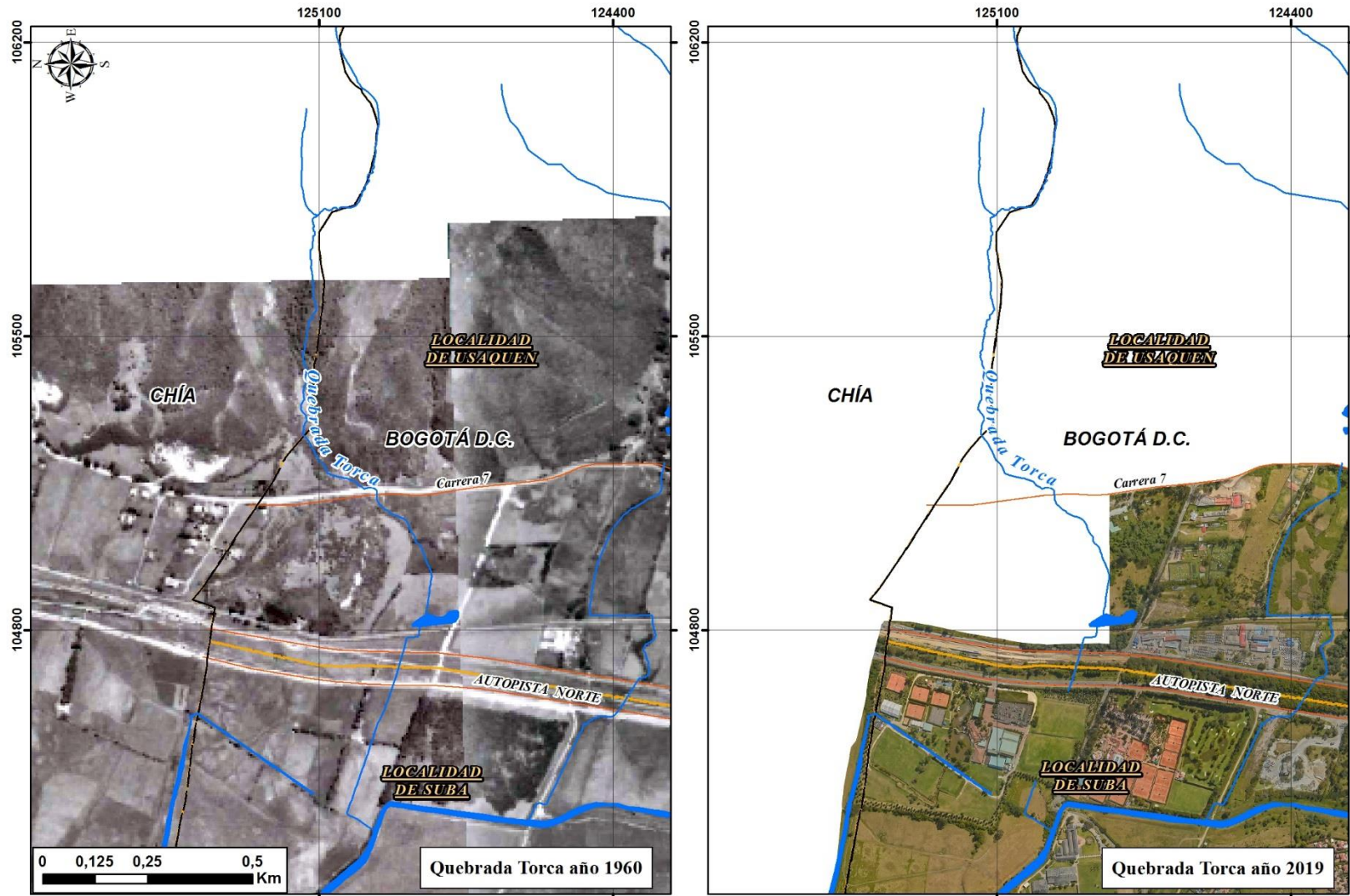
Fotografía 16 Canalización quebrada Torca



Fuente: WSP, 2019.

Se observa que entre 1956 y 2019 hubo un cambio de la dinámica fluvial ya que al occidente de la autopista se canalizó la quebrada cambiando sus propiedades iniciales, su tasa de sedimentación y las condiciones hidráulicas, adicionalmente en el sector del club Cafam se encuentra un Box que canaliza esta quebrada por debajo de una cancha de fútbol, como se puede observar en la Figura 32, antes esta quebrada en el sector occidental no tenía ninguna interacción antrópica.

Figura 32 Cambios morfológicos, quebrada Torca



Fuente: WSP, 2019.

8.8.6 Quebrada Tibabita

Esta quebrada se encuentra canalizada desde su salida en la cordillera oriental hasta su desembocadura en el sector occidental hacia el canal de Torca, los sedimentos de esta quebrada están restringidos a la canalización del cauce, en la parte proximal de la zona montañosa se pueden observar sedimentos que varían de tamaño entre 3 y 5 cm, poco seleccionados, sub angulares y subesfericos, los sedimentos que se pueden observar son de origen sedimentario (Grupo Guadalupe), en comparación con 1956 y 2019, se puede observar en la Figura 33 el cauce ha sido fuertemente modificado y canalizado para uso de estas áreas, en 1956 se puede observar que el cauce presentaba una sinuosidad leve hacia el sector occidental de la vía férrea, y en el sector oriental de la vía férrea también se ve el recorrido original del cauce, actualmente se encuentra canalizada esta quebrada.

Figura 33 Cambios morfológicos, quebrada Tibabita



Fuente: WSP, 2019.

8.8.7 Quebrada Novita

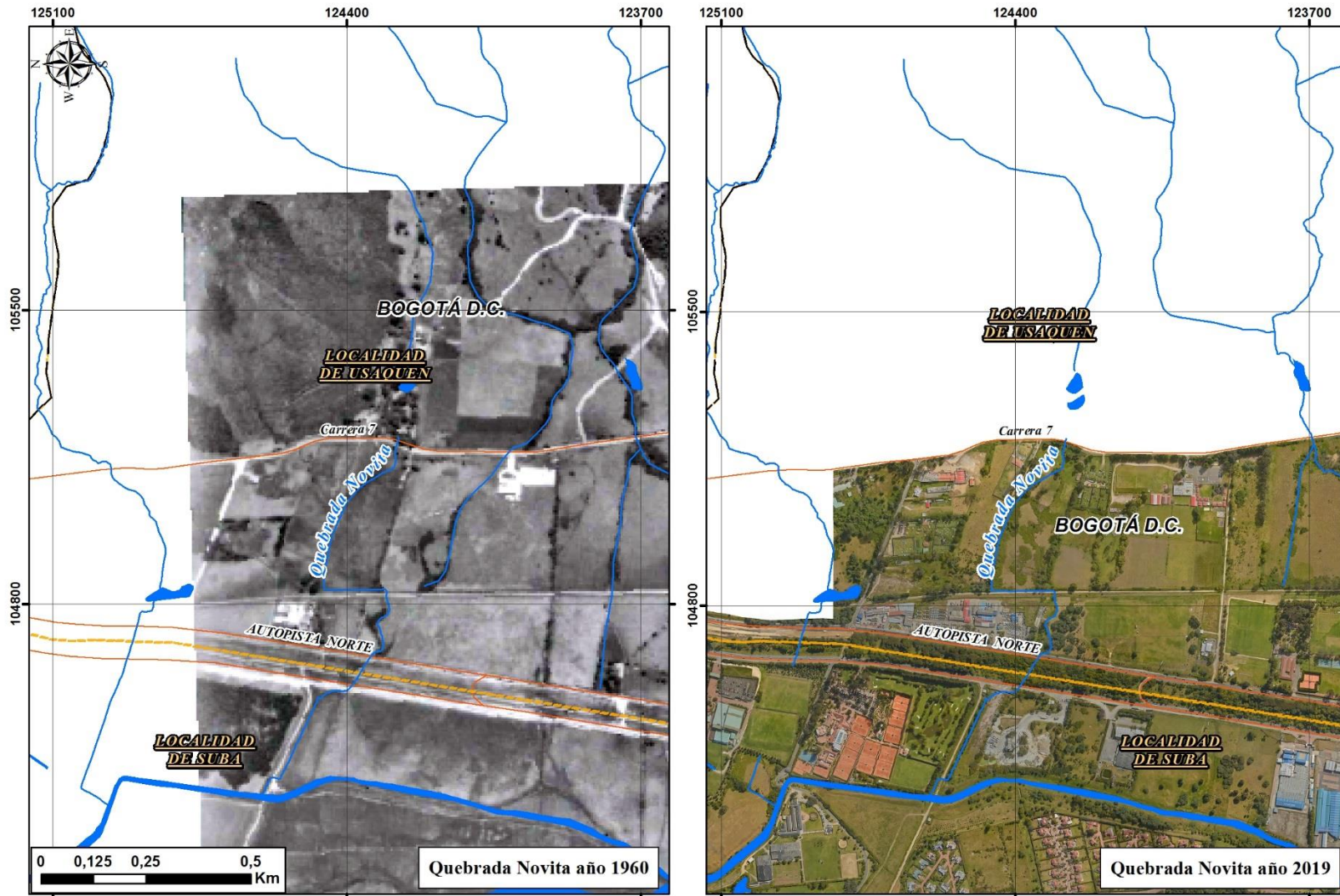
La quebrada Novita presenta sedimentos que varían de tamaño, son de origen sedimentario, se pueden observar clastos que varían entre 1 a 2 cm aproximadamente el 60% de los mismos, se pueden observar sobre el cauce clastos de 15 a 20 cm de origen sedimentario continental y marino, estos clastos se encuentran imbuidos en una matriz arcillosa. Esta quebrada desde que se desprende de la cordillera oriental ha presentado varios cambios, el primero que se evidencia es en la vía férrea que se movió el cauce aproximadamente 10 metros y se realizó una pequeña canalización sobre este. A pesar de que este cambio morfológico es notorio, desde 1956 esta quebrada no ha sufrido más cambios.

Fotografía 17 Foto Quebrada Novita sobre el costado occidental de la autopista Norte.



Fuente: WSP, 2019

Figura 34 Cambios Morfológicos, Quebrada Novita



Fuente: WSP, 2019.

8.8.8 Quebrada Cañizares

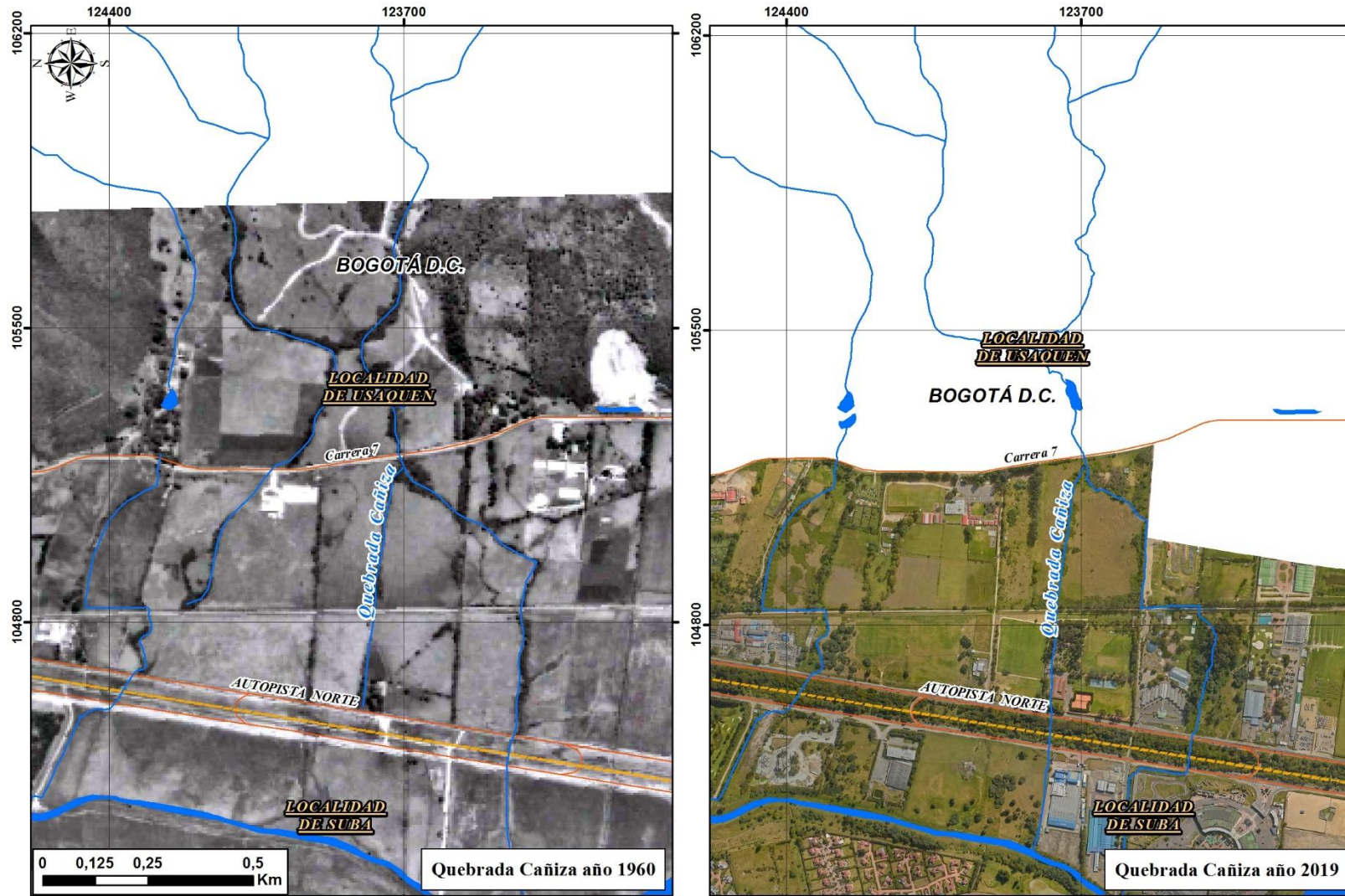
El cauce principal que viene de la cordillera oriental se divide en dos sobre la carrera séptima, formando la quebrada Cañizares y la quebrada la Floresta. La quebrada Cañizares tiene una pendiente baja, presenta sedimentos pequeños que han sufrido poco transporte, son subangulares y sub redondeados entre 1 y 3 cm, de origen continental, esta quebrada después de la vía férrea pierde su curso. No tiene continuidad hasta el humedal de Torca. Ha sufrido muchos cambios en su curso como se puede ver en la Figura 35, en la década de 1960 esta quebrada tenía su curso completo hasta el humedal, los primeros cambios por acción antrópica que sufrió esta quebrada se dan en la construcción de la autopista norte y la vía férrea, actualmente esta quebrada no tiene continuidad.

Fotografía 18 Quebrada Cañizares sobre la carrera séptima



Fuente: WSP, 2019.

Figura 35 Cambios Morfológicos, quebrada Cañizares.



Fuente: WSP, 2019.

8.8.9 Quebrada Pilas

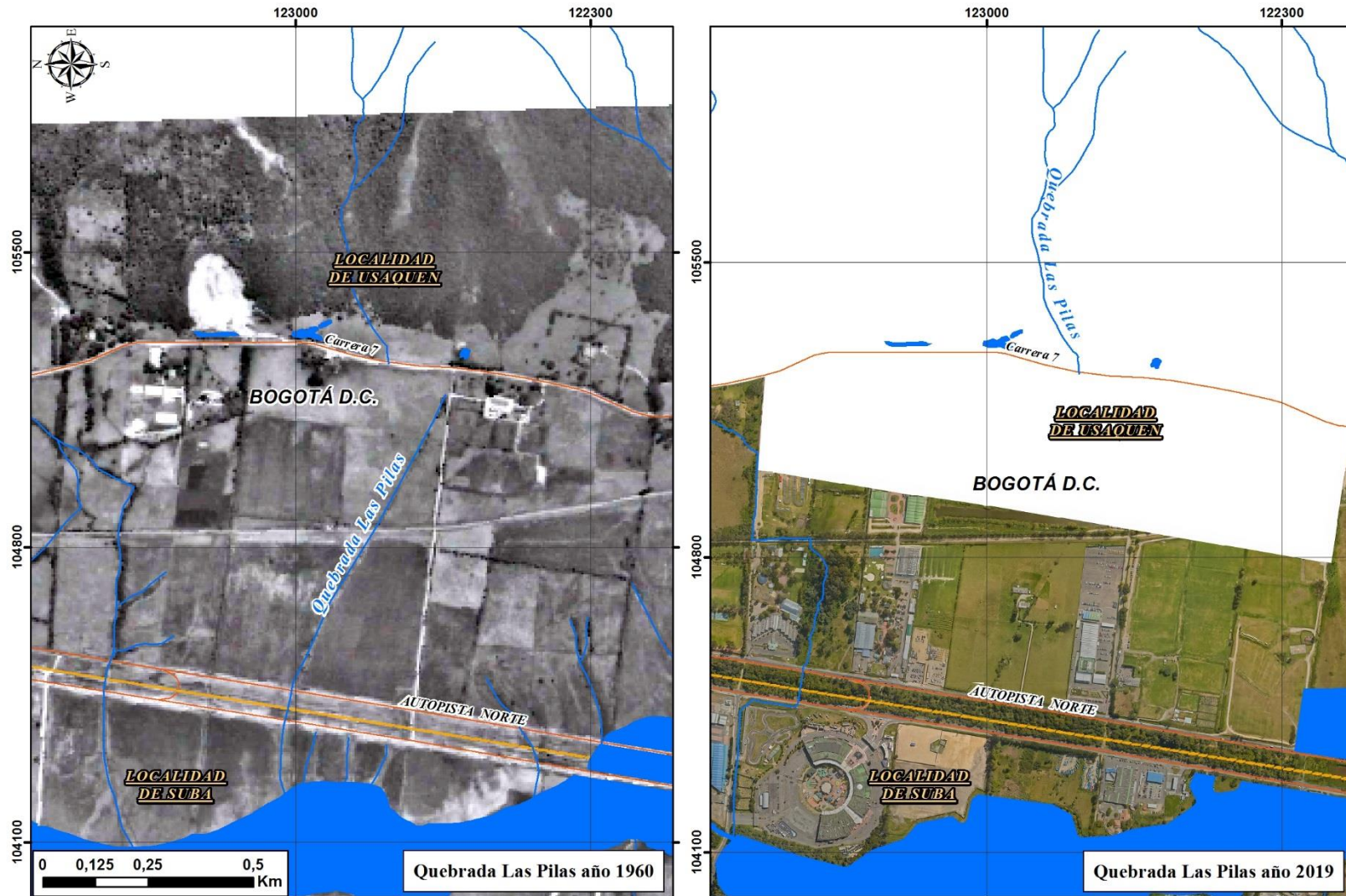
Esta quebrada muestra sedimentos de tamaño pequeño de origen sedimentario, subangulares y subredondeados, es una corriente con poca energía por lo cual el transporte de sedimentos no es de mucha distancia, los clastos en la parte proximal a la cordillera son más grandes que hacia la planicie, en el sector oriental de la autopista norte, aunque se demarca un valle en forma de “u” por donde era el trazado original de la quebrada, al momento de la visita se encuentra con poca agua siendo tiempo seco. Esta quebrada ha sufrido muchos cambios a nivel general, se realizaron construcciones sobre el cauce natural por debajo de la carrera séptima, donde se ve que esta canalizada hasta la vía férrea; siguiendo su curso después de la vía férrea se puede apreciar que el aporte de sedimentos se ve reducido casi nulo, por lo que estas construcciones afectaron la quebrada de manera directa.

Figura 36 Zona inundable aledaña, al trazado original de la quebrada Pilas



Fuente: WSP, 2019.

Figura 37 Cambios Morfológicos, quebrada Pilas



Fuente: WSP, 2019.

9 ESTUDIO GEOTÉCNICO

En los siguientes numerales se incluye: zonificación geotécnica; recopilación de información; perfiles estratigráficos y variación de propiedades geotécnicas preliminares para uno de los tramos viales analizados en la Factibilidad Borde Norte (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011); y finalmente, se dan recomendaciones para la Ingeniería Básica.

9.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

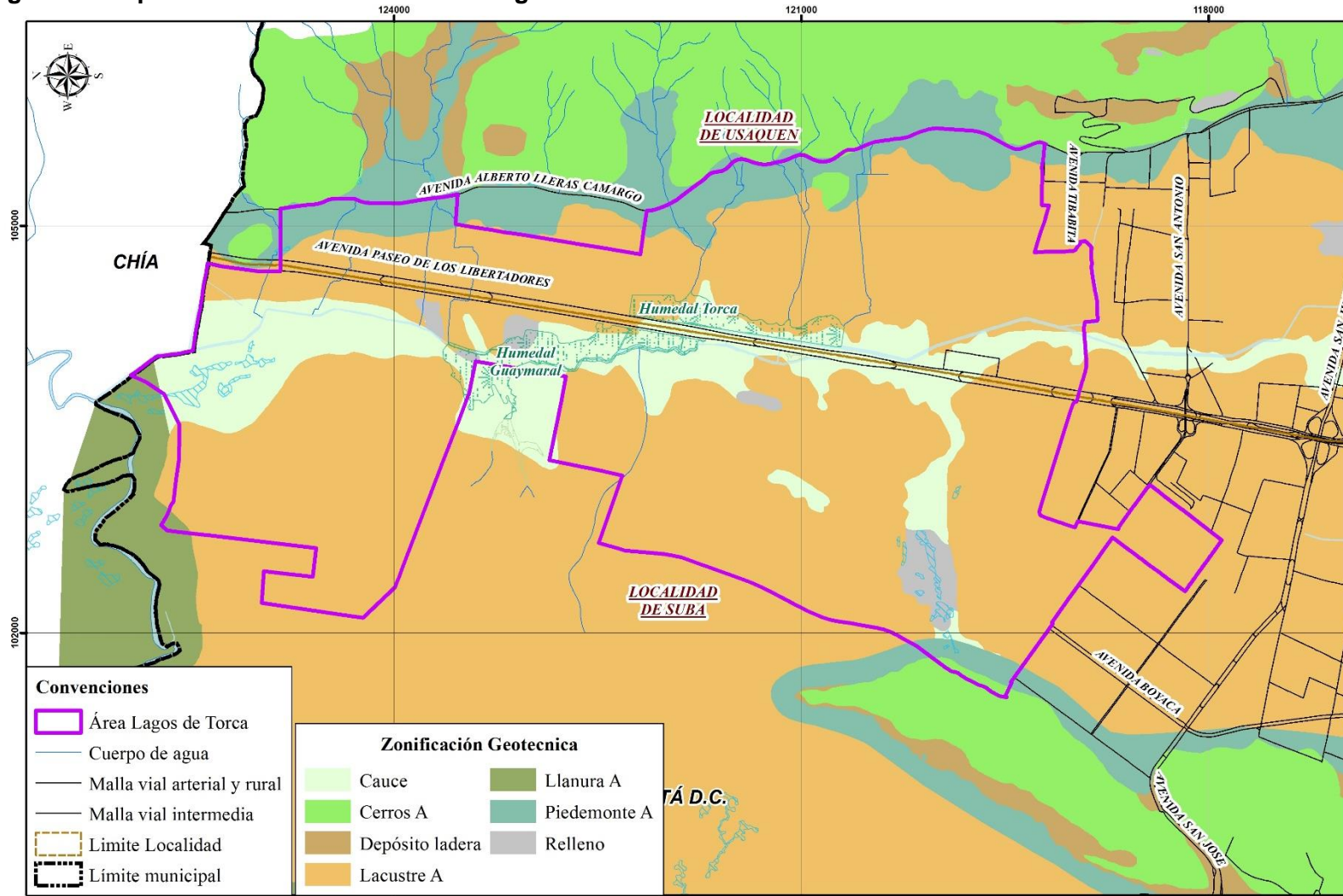
La zonificación geotécnica fue consultada directamente DECRETO 523 DE 2010 (Diciembre 16) “Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.” (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010); de acuerdo con el citado decreto, la zona del proyecto se encuentra localizada en las zonas geotécnicas denominadas: LACUSTRE A, CAUCE, RELLENO, PIEDEMONTA A y CERROS A (ver Figura 38); en la Tabla 4 se incluye la descripción de cada una de las zonas mencionadas; dado que esta zonificación se considera reciente no se prevé su actualización.

Tabla 4 Descripción de las zonas geotécnicas

Zona	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta – Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y planicie	Gravas arenosas sueltas a compactas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes
Relleno	Relleno de excavación	Rellenos de excavación	Piedemonte y Planicie	Rellenos heterogéneos	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes
Piedemonte A	Suelo coluvial y aluvial norte	Coluviones y Complejo de Conos Aluviales	Piedemonte	Gravas arcillo arenosas compactas	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas
Cerros A	Roca de arenisca	Formaciones de Areniscas	Cerros de alta pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a ciclo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas.

Fuente: DECRETO 523 DE 2010. (Diciembre 16). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010)

Figura 38 Mapa de Zonas Geotécnicas de Bogotá



Fuente: DECRETO 523 DE 2010. (Diciembre 16). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. (Secretaria Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010)

9.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Por otra parte y como se indicó en el Informe Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia y en el numeral 5.2 ASPECTOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, fueron revisadas varias fuentes de información y en total se encontraron 384 sondeos realizados con profundidades variables (ver Figura 10); la relación de perforaciones por cada zona geotécnica se indica en la Tabla 5 y es mostrada en el Anexo B; cómo se puede apreciar las zonas con mayor cantidad de perforaciones corresponde a Lacustre A, Cauce y Piedemonte A con 68%, 18% y 9%, respectivamente.

Tabla 5 Número de perforaciones por Zona Geotécnica

Zona	Número de perforaciones	Porcentaje [%]	Profundidad mínima [m]	Profundidad máxima [m]
Cauce	71	18	2.4	50.0
Cerros A	10	3	1.2	29.0
Depósito ladera	4	1	3.1	3.7
Lacustre A	262	68	4.2	60.5
Llanura A	2	1	10.0	10.0
Piedemonte A	35	9	2.5	20.0

Fuente: WSP, 2019

De la anterior figura se destaca que en primera instancia que la campaña de exploración realizada en el proyecto de Factibilidad Borde Norte (Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011) es la mayor realizada en el área del proyecto con 220 perforaciones (57.3%); seguido de la base del Sistema de Información Geotécnica, SISGEO, de la EAB con 129 (33.6%). Adicionalmente, el 70.8% de las perforaciones (272) fueron realizadas hasta profundidad máxima de 10 m y particularmente, 235 entre 5 y 10 m (61.2%). El 23.2% de las perforaciones (89) fueron realizadas con profundidades entre 10 y 30 m; y el 6.0% (23) se ejecutaron con profundidades entre 30 y 50 m, de las cuales 10 superan los 50 m. Finalmente, la investigación del subsuelo realizada en los proyectos contratados por el IDU y en la Factibilidad de Borde Norte se constituyen en la exploración más reciente (cerca de 5 años) en comparación de la mayoría de la exploración de proyectos contratados por la EAB (entre 1984 y 2014); razón por la cual está última puede ser empleada para verificar estratigrafías mientras que de la investigación más reciente, pueden ser tomados parámetros de resistencia al corte y deformabilidad.

9.3 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y VARIACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO Y DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS

Los perfiles estratigráficos de cada uno de los tramos viales analizados en el Estudio de Factibilidad Borde Norte (Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011) se encuentran incluidos en los siguientes planos (incluidos en el Anexo A Planos):

1. 01DVGTPPE01 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO 1/2
2. 01DVGTPPE02 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO 2/2

3. 01DVGTP03 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 1/3
4. 01DVGTP04 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 2/3
5. 01DVGTP05 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 3/3
6. 01DVGTP06 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190 1/1
7. 01DVGTP07 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO 1/1
8. 01DVGTP08 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/2
9. 01DVGTP09 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 2/2
10. 01DVGTP10 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/1
11. 01DVGTP11 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE 1/2
12. 01DVGTP12 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE 2/2
13. 01DVGTP13 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/1
14. 01DVGTP14 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 1/3
15. 01DVGTP15 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 2/3
16. 01DVGTP16 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 3/3
17. 01DVGTP17 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 1/1
18. 01DVGTP18 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 1/2
19. 01DVGTP19 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 2/2
20. 01DVGTP20 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 1/2
21. 01DVGTP21 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 2/2
22. 01DVGTP22 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL 1/1
23. 01DVGTP23 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 1/3

24. 01DVGTP24 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 2/3
25. 01DVGTP25 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 3/3
26. 01DVGTP26 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 1/2
27. 01DVGTP27 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 2/2
28. 01DVGTP28 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN 1/2
29. 01DVGTP29 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN 2/2
30. 01DVGTP30 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL HACIENDA SAN SIMÓN 1/1
31. 01DVGTP31 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 1/1
32. 01DVGTP32 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA 1/2
33. 01DVGTP33 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA 2/2
34. 01DVGTP34 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL UTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 1/2
35. 01DVGTP35 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 2/2
36. 01DVGTP36 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES 1/1
37. 02DVGTP01 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7 1/1
38. 02DVGTP02 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193 1/1
39. 02DVGTP03 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1 1/1
40. 02DVGTP04 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 2 1/1
41. 02DVGTP05 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192 1/1
42. 02DVGTP06 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200 1/1
43. 02DVGTP07 PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200 1/1

44.	02DVGTP08	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200 1/1				
45.	02DVGTP09	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11 1/1				
46.	02DVGTP10	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1 1/1				
47.	02DVGTP11	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 2 1 1/1				
48.	02DVGTP12	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 1/2				
49.	02DVGTP13	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 2/2				
50.	02DVGTP14	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 1/2				
51.	02DVGTP15	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 2/2				
52.	02DVGTP16	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1/1				
53.	02DVGTP17	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL TRAMO 1 1/1				
54.	02DVGTP18	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2 1/1				
55.	02DVGTP19	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1 1/1				
56.	02DVGTP20	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2 1/1				
57.	02DVGTP21	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7 1/1				
58.	02DVGTP22	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1 1/1				
59.	02DVGTP23	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2 1/1				
60.	02DVGTP24	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 1/2				
61.	02DVGTP25	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 2/2				
62.	02DVGTP26	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 1/2				
63.	02DVGTP27	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 2/2				
64.	02DVGTP28	PERFILES	ESTRATIGRAFICOS	PERFILES	COSTADO
	ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2 1/1				

Por otra parte, en los siguientes numerales se presenta la variación de propiedades geotécnicas, para uno de los tramos viales, a nivel de Ingeniería Conceptual y con base en la exploración revisada en el Informe Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia. Es importante anotar que para el caso de la resistencia al corte en condición drenada, se adopta el promedio de los valores de resultados de laboratorio de compresión inconfiada y de pruebas de campo de veleta; para el caso de los parámetros de resistencia a largo plazo, se adoptan los resultados de las pruebas de corte directo (en los casos que aplique). En la Tabla 6 se presenta la asignación de perforaciones, de acuerdo con cada uno de los tramos viales analizados por el Consorcio Borde Norte.

Tabla 6 Relación de perforaciones por cada tramo vial

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
AV. BOYACÁ ENTRE CALLES 170 Y 184	1 (6.00)		Sondeo 1 - (4.60)			
	2 (6.10)		Sondeo S1N - (10.00)			
	3 (6.00)		Sondeo 2 - (4.20)			
	4 (6.10)		Sondeo S2N - (9.90)			
	5 (6.10)		Sondeo 3 - (4.60)			
	6 (6.00)		Sondeo S3N - (10.10)			
	1 - Prof (38.00)		Sondeo 4 - (4.60)			
			Sondeo S4N - (20.00)			
			Sondeo 5 - (4.60)			
			Sondeo S5N - (10.20)			
			Sondeo 6 - (9.40)			
			Sondeo S6N - (10.30)			
			Sondeo 7 - (9.20)			
			Sondeo S7N - (10.20)			

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
			Sondeo S8N - (10.00)			
AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO	15 (6.00)					
	2 - Prof (40.00)					
	16 (6.00)					
	25 (10.00)					
	26 (10,00)					
CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE	27 (10,00)					
	18 (6.00)	313 - 1 (10.00)		S1 - (4.50)		
	19 (6.00)	313 - 2 (10.00)	Sondeo S9N- (15.00)	S2 - (5.20)		
	7 (5.50)	313 - 3 (5.30)	Sondeo S10N - (15.00)	S3 - (5.00)		
	22 (6.00)			S4 - (5.00)		
	8 (6.00)			S5 - (5.00)		
	9 (6.00)			S6 - (5.00)		
	11 - Prof (15.00)			S7 - (5.00)		
				S8 - (4.50)		
				S9 - (6.00)		
			S10 - (6.00)			
AV. VILLAS ENTRE CALLES 170 Y 184	17 (6.00)					
	20 (6.00)					
	21 (6.00)					
AV. VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190	28 (10.00)					
	29 (10.00)					
AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO	38 (9.00)	256 - 3 (21.00)				
	65 (4.90)					
	66 (6.00)					
CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	67 (6.00)					
	30 (6.00)					
	31 (6.00)					
	32 (6.00)					
	33 (6.00)					
CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	36 (6.20)					
	10 (6.20)					
	11 (6.00)					
	12 (6.00)					
	13 (6.30)					
	14 (6.00)					
	71 (6.40)	529 - 26 (8.02)			SF-1 - (60.00)	

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	72 (8.60)	438 - 9 (8.02)				
	18 - Prof (55.00)	256 - 4 (21.00)				
	19 - Prof (55.00)	256-3 (21.00)				
		620 - 12 (10.00)				
		2 - 12 (10.00)				
		256 - 2 (21.00)				
		571 - 1 (30.00)				
		521 - 5 (30.00)				
		521 - 4 (40.00)				
		571 - 2 (30.00)				
		256 - 1 (21.00)				
		521 - 6 (30.00)				
		521 - 3 (20.00)				
		571 - 6 (11.00)				
		521 - 10 (11.00)				
		571 - 5 (9.30)				
		521 - 9 (9.30)				
		521 - 2 (30.00)				
		521 - 8 (8.30)				
		571 - 4 (8.30)				
		1812 - 2 (10.00)				
	521 - 1 (29.60)					
	472 - 4 (7.00)					
	529-4 (7.00)					

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
		1812 - 1 (10.00)				
		571 - 3 (8.30)				
		521 - 7 (8.30)				
		529 - 2 (17.00)				
		472 - 2 (17.00)				
CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	69 (6.10)					
	23 (6.00)					
	70 (6.00)					
CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	68 (4.90)					
	51 (6.10)					
	54 (6.00)					
CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1	56 (6.00)					
	57 (6.30)					
CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2	58 (6.00)	500 - 20 (7.00)				
	59 (6.00)	209 - 11 (7.00)				
	60 (6.00)	360 - 1 (4.00)				
		876 - 1 (2.50)				
CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	49 (6.00)					
	48 (6.00)					
	47 (6.00)					
CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	61 (6.00)					
	62 (6.00)					
	63 (6.00)					
AV. CRA 9 ENTRE CALLE 187 Y DIAGONAL 192	41 (6.00)					
	42 (6.00)					
	43 (5.20)					
AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	40 (6.00)	299 - 5 (4.00)				
	44 (6.00)	286 - 3 (4.00)				
	45 (6.00)					
	46 (6.00)					
CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	39 (6.00)	430 - 4 (4.00)				
	35 (2.60)					
	34 (6.00)					
	24 (4.00)					

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	64 (6.00)	3175 - 1 (4.40)				
	55 (6.00)	3175 - 2 (6.00)				
	50 (6.00)	3175 - 3 (4.30)				
	52 (6.00)	3175 - 4 (6.20)				
		3175 - 5 (4.40)				
CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1	73 (5.10)					
	74 (3.50)					
	75 (5.30)					
	76 (6.10)					
	77 (5.30)					
CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2	78 (6.20)					
	98 (6.30)					
	99 (3.00)					
	100 (6.40)					
	101 (6.00)					
	102 (5.90)					
AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	79 (6.00)	620 - 1 (14.40)				UNA1P3 - (50.00)
	80 (6.00)	2-1 (15.50)				
	81 (6.00)	900-2 (50)				
	10 - Prof (43.50)	500-22 (7.00)				
		209-18 (7.00)				
AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA	82 (6.00)	2 - 2 (15.00)			SF-2 - (60.40)	
	83 (6.00)	620 - 2 (15.00)				
	84 (6.00)	2 - 3 (15.00)				
	85 (6.00)	620 - 3 (15.00)				
	86 (6.00)					
	87 (6.00)					

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN	88 (6.00)					
	89 (6.00)					
AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA	90 (6.00)	209 - 22 (20.20)				
	91 (6.00)	620-13 (10.00)				
	92 (6.00)	500-14 (20.20)				
	93 (6.00)	2-13 (10.00)				
	96 (6.00)					
	95 (6.10)					
	94 (6.00)					
	4 - Prof (40.00)					
AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA	97 (6.00)	1815 - 1 (8.00)			SF-3 - (60.45)	
	103 (6.00)	1815 - 2 (6.00)				
	104 (6.10)	620 - 14 (10.00)				
	105 (6.20)	500 - 15 (30.30)				
	106 (6.20)	209 - 25 (30.40)				
	107 (6.00)	2 - 14 (10.00)				
	6 - Prof (40.00)					
AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL	108 (6.10)					
	109 (6.00)					
	110 (6.00)					
	111 (6.00)					
CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	112 (6.10)					
	113 (6.00)					
	13 - Prof (15.00)					
	114 (6.00)					
CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	115 (6.00)					
	116 (6.10)					
	14 - Prof (15.00)					
CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	117 (7.30)					
	118 (7.00)					
CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	119 (7.00)					
	120 (7.30)					
	121 (7.00)					
	122 (7.30)					

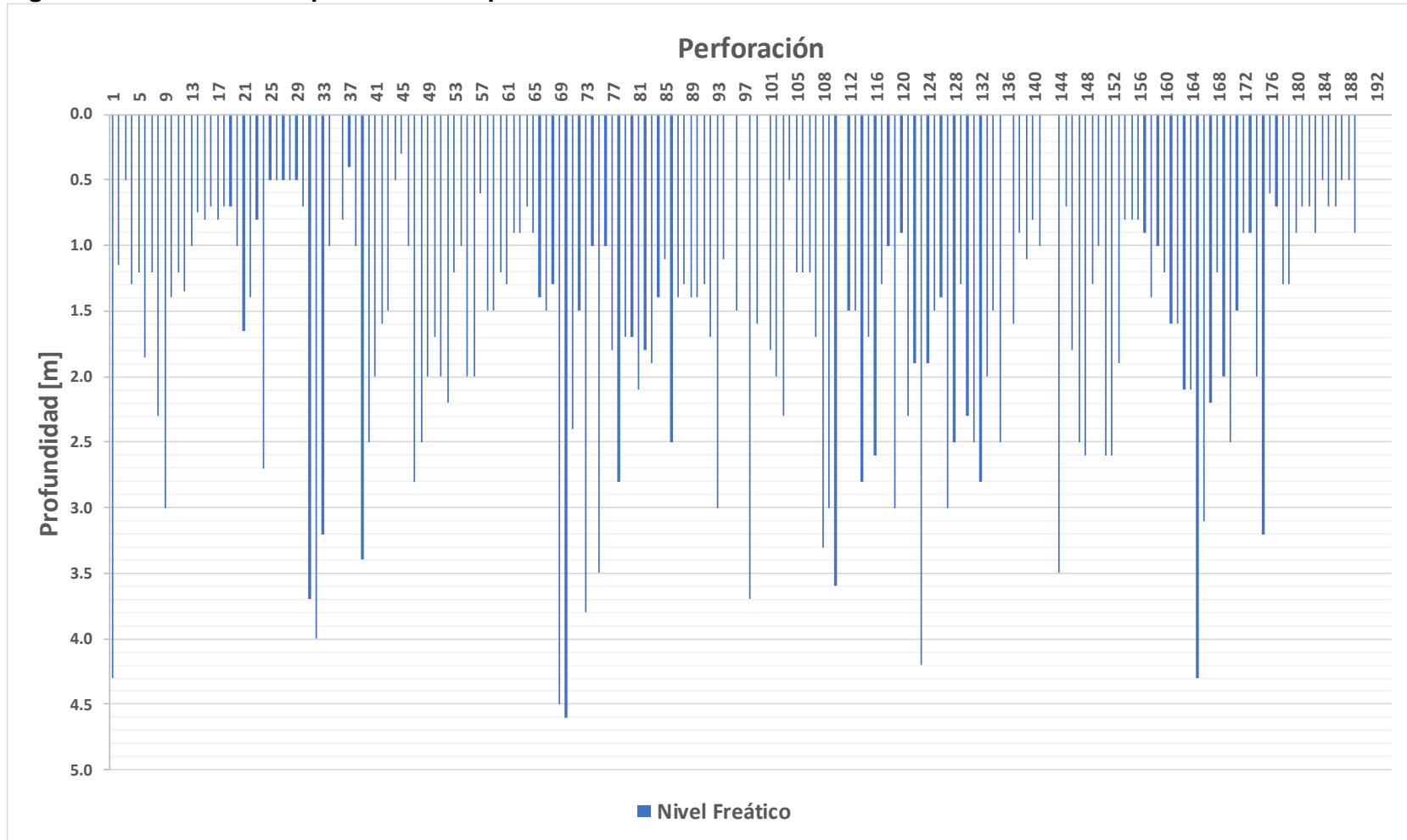
TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1	8 - Prof (40.00)					
	123 (7.40)					
	124 (7.00)					
	125 (7.00)					
CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2	126 (7.00)					
	127 (7.00)					
	128 (7.30)					
CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	129 (7.00)					
	130 (7.00)					
	131 (7.00)					
	132 (7.00)					
CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	133 (7.00)					
	134 (7.20)					
	135 (7.00)					
	136 (6.00)					
	137 (6.00)					
AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7	138 (7.00)					
	7 - Prof (38.00)					
CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	139 (7.00)					
	140 (7.00)					
	141 (6.00)					
	142 (7.00)					
CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	143 (5.00)					
	144 (7.00)					
	145 (7.00)					
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	146 (7.00)					
	153 (7.00)					
	154 (7.00)					
	155 (7.00)					
	156 (7.00)					
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	15 - Prof (15.00)					
	157 (7.00)					
	16 - Prof (15.00)					
	158 (7.10)					
	159 (7.10)					
	160 (7.00)					
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	17 - Prof (15.00)					
	161 (7.00)					
AV. LOW MURTRA ENTRE AV.	162 (7.00)					
	147 (15.20)					
	148 (15.20)					

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
GUAYMARAL Y AV. EL JARDÍN (CL 222)	149 (15.10)					
	5 - Prof (40.00)					
	150 (15.00)					
	185 (15.00)					
	94 (15.00)					
	3 - Prof (40.00)					
AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222)	172 (15.00)					
	173 (15.00)					
	174 (15.00)					
	175 (15.00)					
	186 (15.00)					
	187 (15.00)					
AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)	181 (15.00)					
	182 (15.00)					
	183 (15.00)					
	184 (15.00)					
AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN	151 (12.00)					
	152 (12.00)					
	163 (7.00)					
	164 (7.10)					
	165 (7.10)					
	166 (7.20)				SF-5 - (60.00)	
HACIENDA SAN SIMÓN	167 (7.00)					
	168 (7.10)					
	169 (7.00)					
	170 (7.10)					
AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)	171 (6.30)					
	176 (7.00)					
	177 (7.00)					
	178 (7.00)					
	179 (7.00)					
LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA	180 (7.10)					
	188 (15.00)					
	189 (15.00)					
AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN	190 (15.00)					
	191 (7.00)	209 - 21 (7.00)				
	192 (7.00)	500 - 23 (7.00)				
		500 - 13 (20.20)				
		209 - 20 (20.10)				
	500 - 12 (20.30)					

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)	SISGEO - EAB (1984-2014)	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACTIBILIDAD AV. BOYACÁ (2018)	ESTUDIO RESPUESTA LOCAL (2017)
		209 - 19 (20.20)				
AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES	193 (7.00)	529- 3 (7.00)				
	194 (7.00)	472 - 1 (16.00)				
		472-3 (7.00)				
		529 - 1 (16.00)				
		209 - 12 (30.00)				
		500 - 7 (30.00)				
		209 - 13 (30.00)				
		500 - 8 (30.00)				
		209-14 (7.00)				
		500-21 (7.00)				
		500-9 (30.00)				
		209-15 (30.00)				
		500-10 (30.00)				
		209-16 (30.00)				
		209-17 (30.00)				
	500-11 (30.10)					

Por otra parte, y al respecto del nivel freático, se indica que de acuerdo con los registros de perforación consultados, varía entre 0.3 m y 4.6 m (ver Figura 39); promedio de 1.7 m de profundidad.

Figura 39 Nivel freático reportado en las perforaciones existentes



Fuente: WSP, 2019

9.3.1 AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO

De la Figura 40 a la Figura 42 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

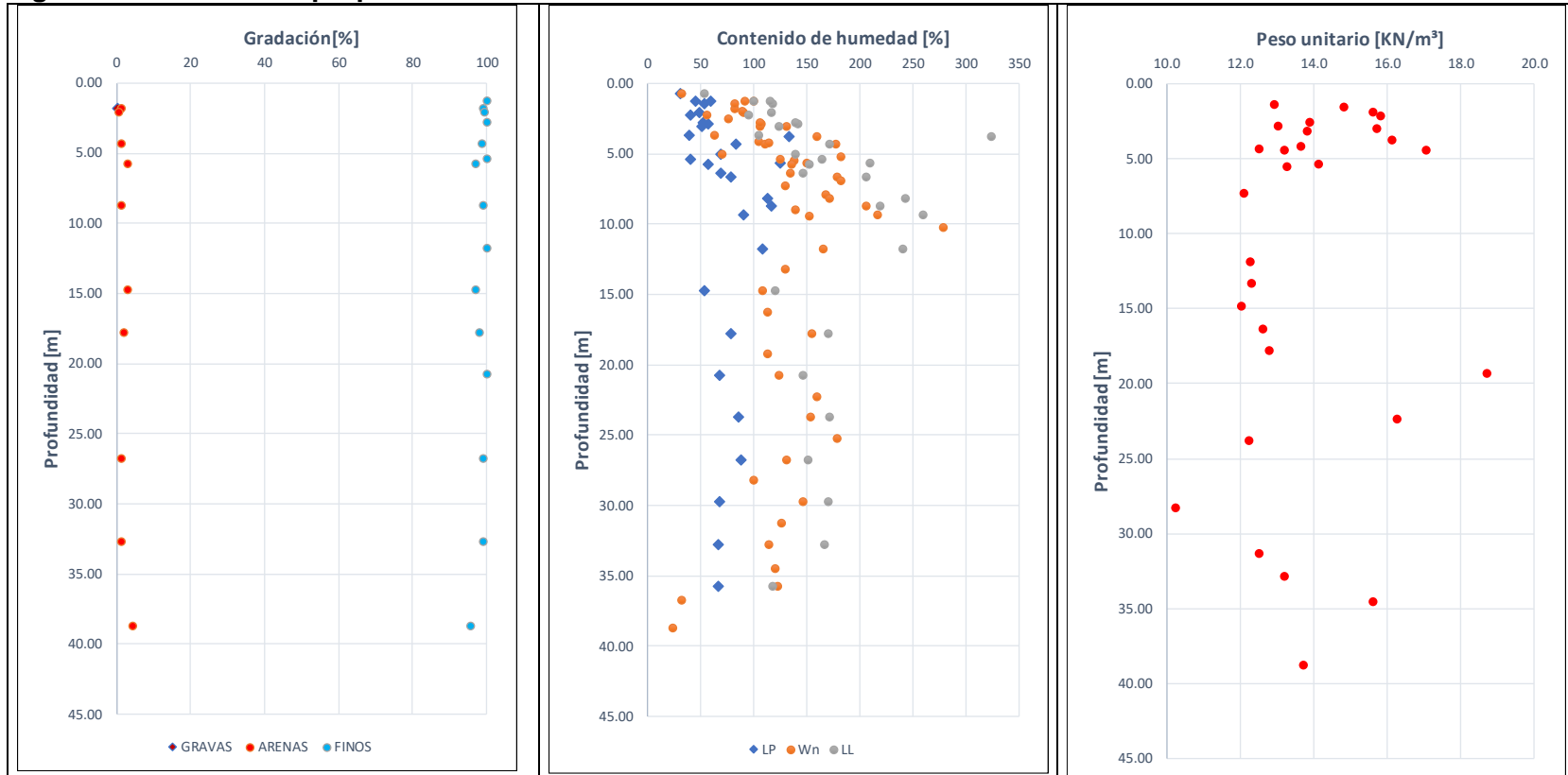
- Superficialmente y hasta una profundidad 4.7/>10.0 m se encuentra una capa de limo arcilloso con algo de arena, de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda a blanda.
- Entre 0 y 6 m se encuentran arcillas limosas de humedad alta, plasticidad alta y consistencia muy blanda a blanda. Este material no se encontró en el sondeo 25 y 26.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 7 Propiedades geotécnicas promedio - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO

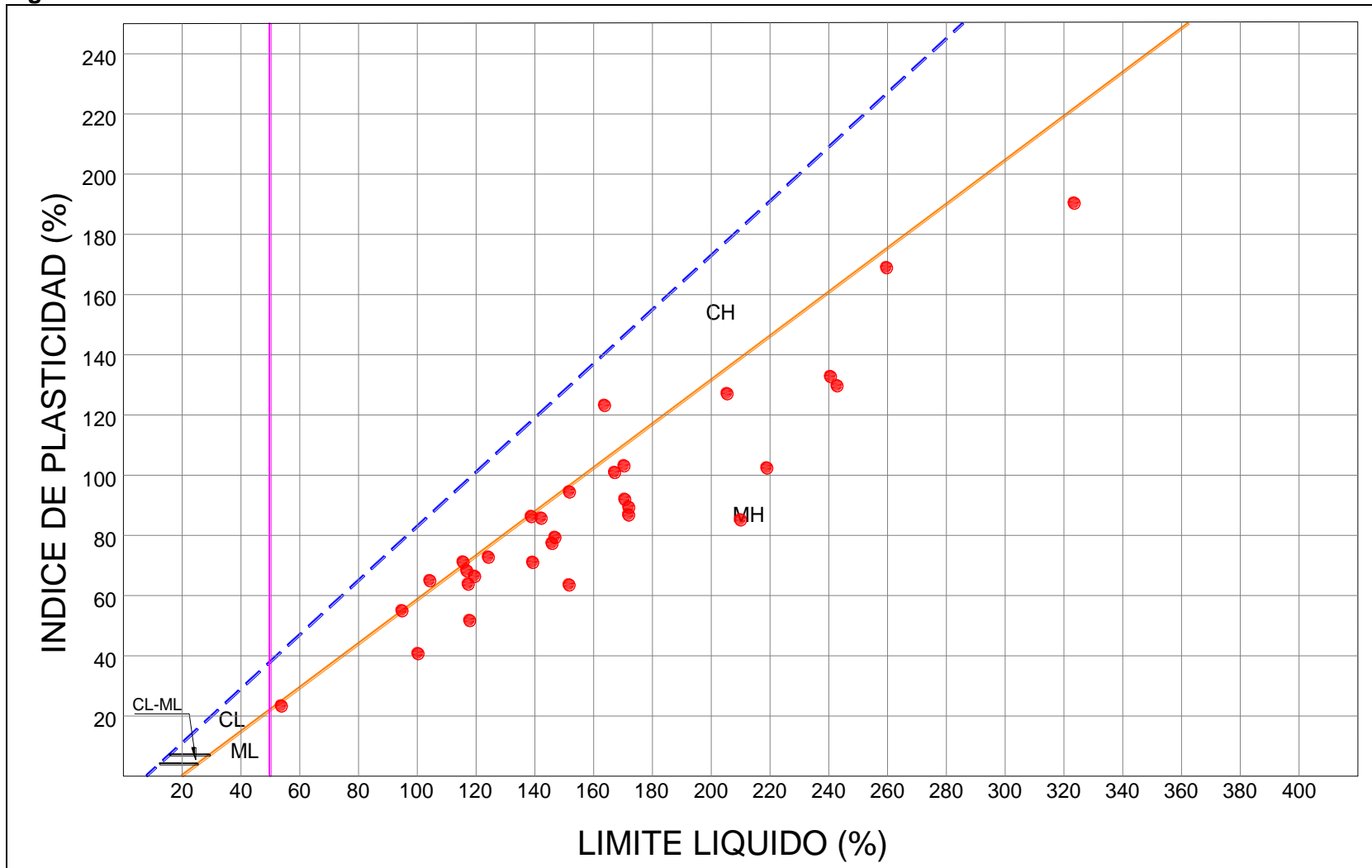
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso con algo de arena	13.490	20.156	-	-
Arcillas limosas	14.518	46.107	-	-

Figura 40 Variación de propiedades índice - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO



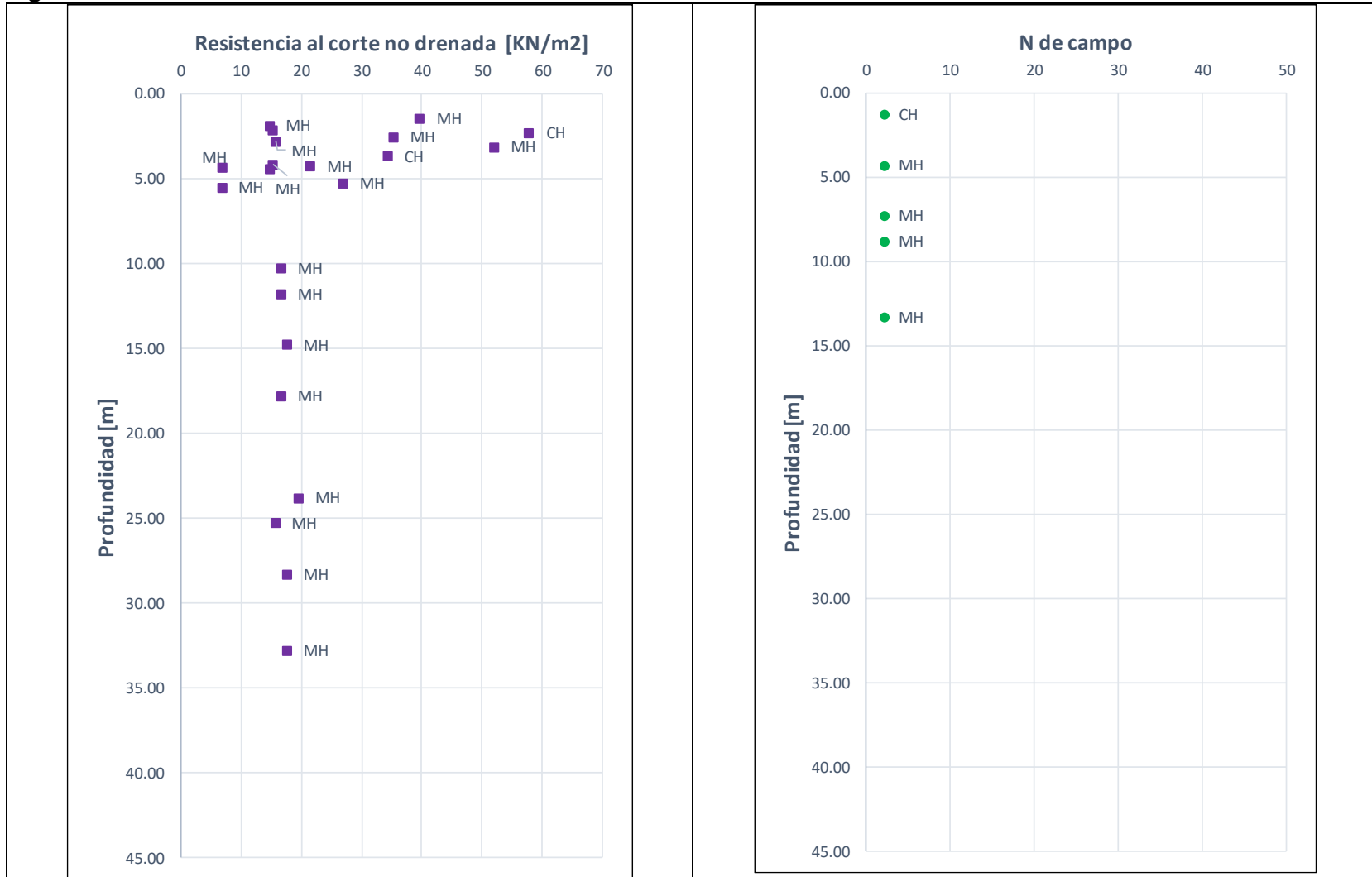
Fuente: WSP, 2019

Figura 41 Carta de Plasticidad - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO



Fuente: WSP, 2019

Figura 42 Variación de resistencia al corte - AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO



Fuente: WSP, 2019

9.3.2 CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE

De la Figura 43 a la Figura 45 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

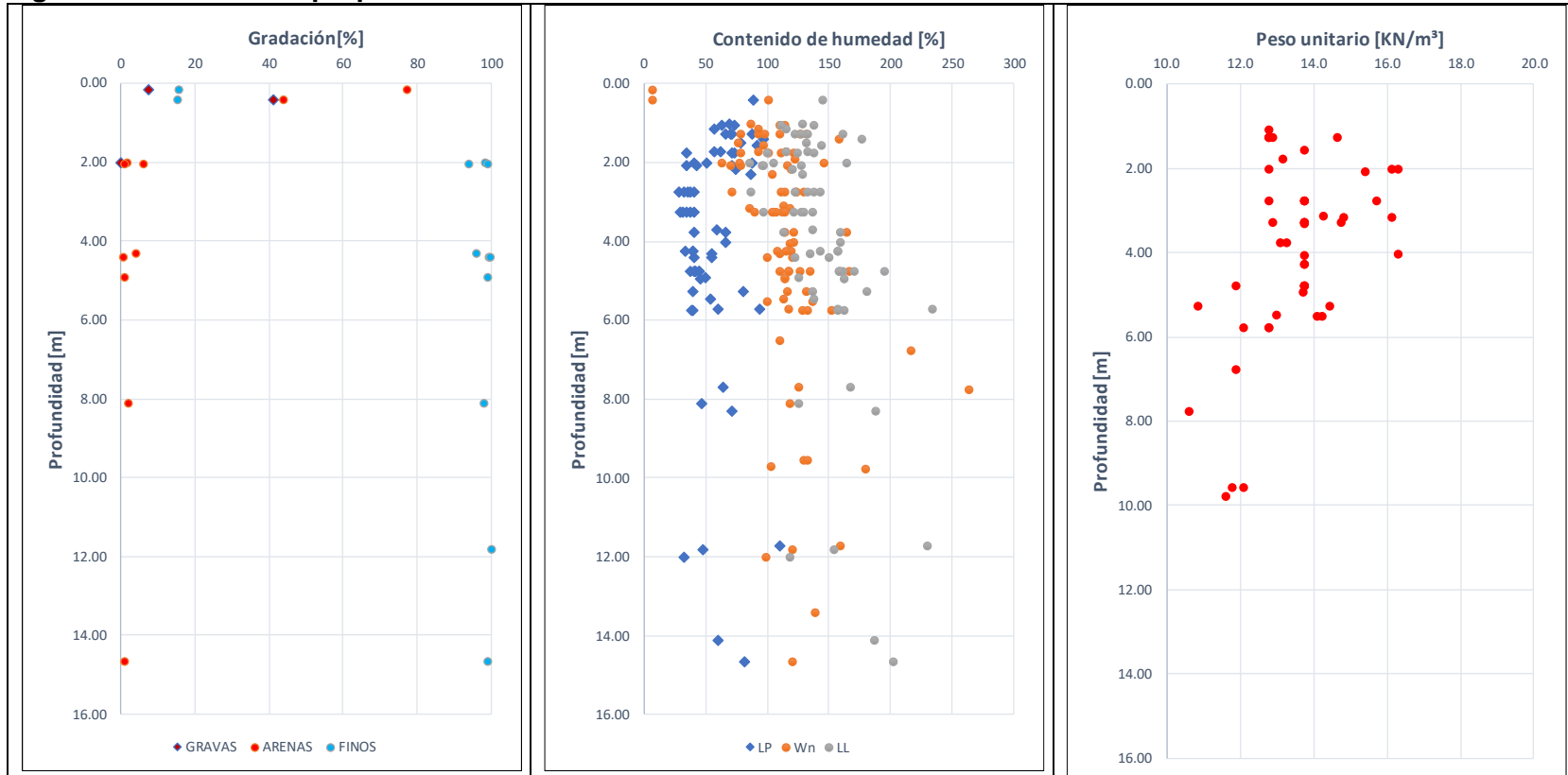
- En algunos sectores se encuentra superficialmente capas de arena limosa de humedad muy baja.
- Superficialmente y hasta una profundidad 1.5/>6.8 m se encuentra una capa de limo arcilloso con algo de arena, de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda a blanda.
- Entre 3.8 y 6 m se encuentran arcillas limosas de humedad alta a muy alta, plasticidad alta y consistencia muy blanda y blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 8 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE

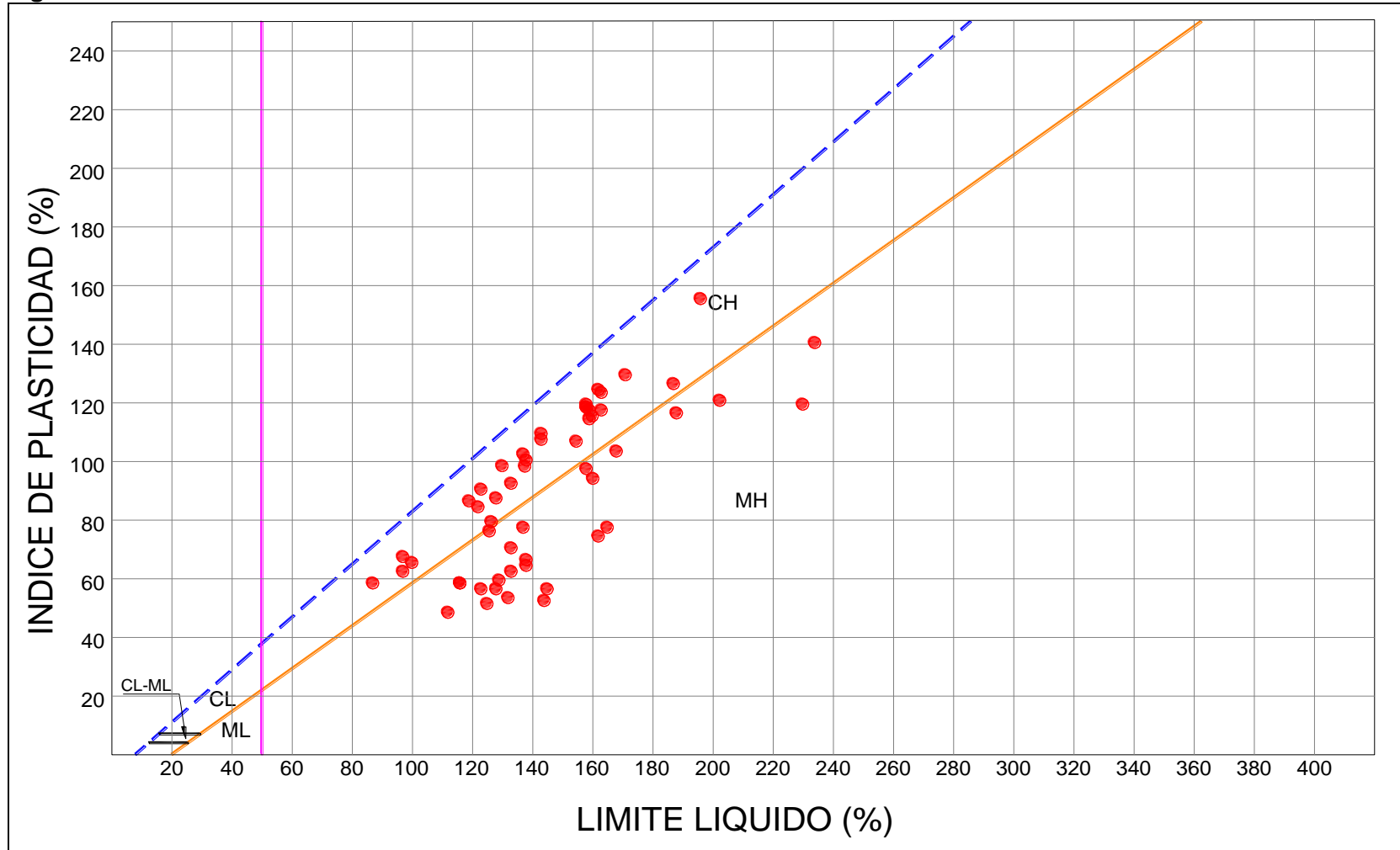
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arena Limosa				
Limo arcilloso con algo de arena	13.346	13.697	17.594	21.239
Arcilla limosas	13.658	14.680	17.025	13.611

Figura 43 Variación de propiedades índice - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE



Fuente: WSP, 2019

Figura 44 Carta de Plasticidad - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE.



Fuente: WSP, 2019

Figura 45 Variación de resistencia al corte - CALLE 184 ENTRE AV BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE



Fuente: WSP, 2019

9.3.3 AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190

De la Figura 46 a la Figura 48 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

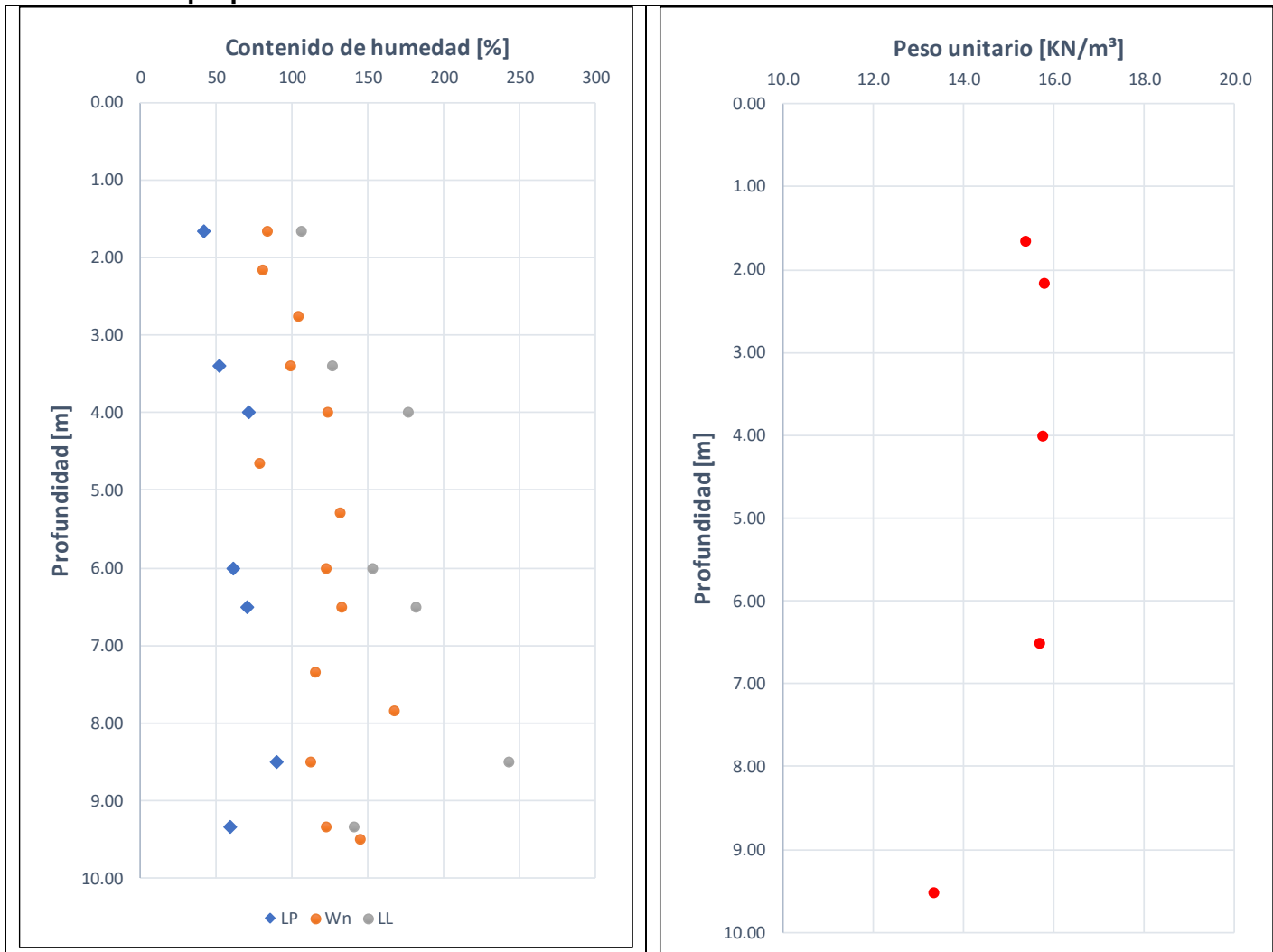
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.4 m se encuentra una capa de arcilla limosa con algo de arena de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a muy blanda. Este material sólo se encontró en el sondeo 28.
- Entre 0 y 10 m se encuentran capas de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 9 Propiedades geotécnicas promedio - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190

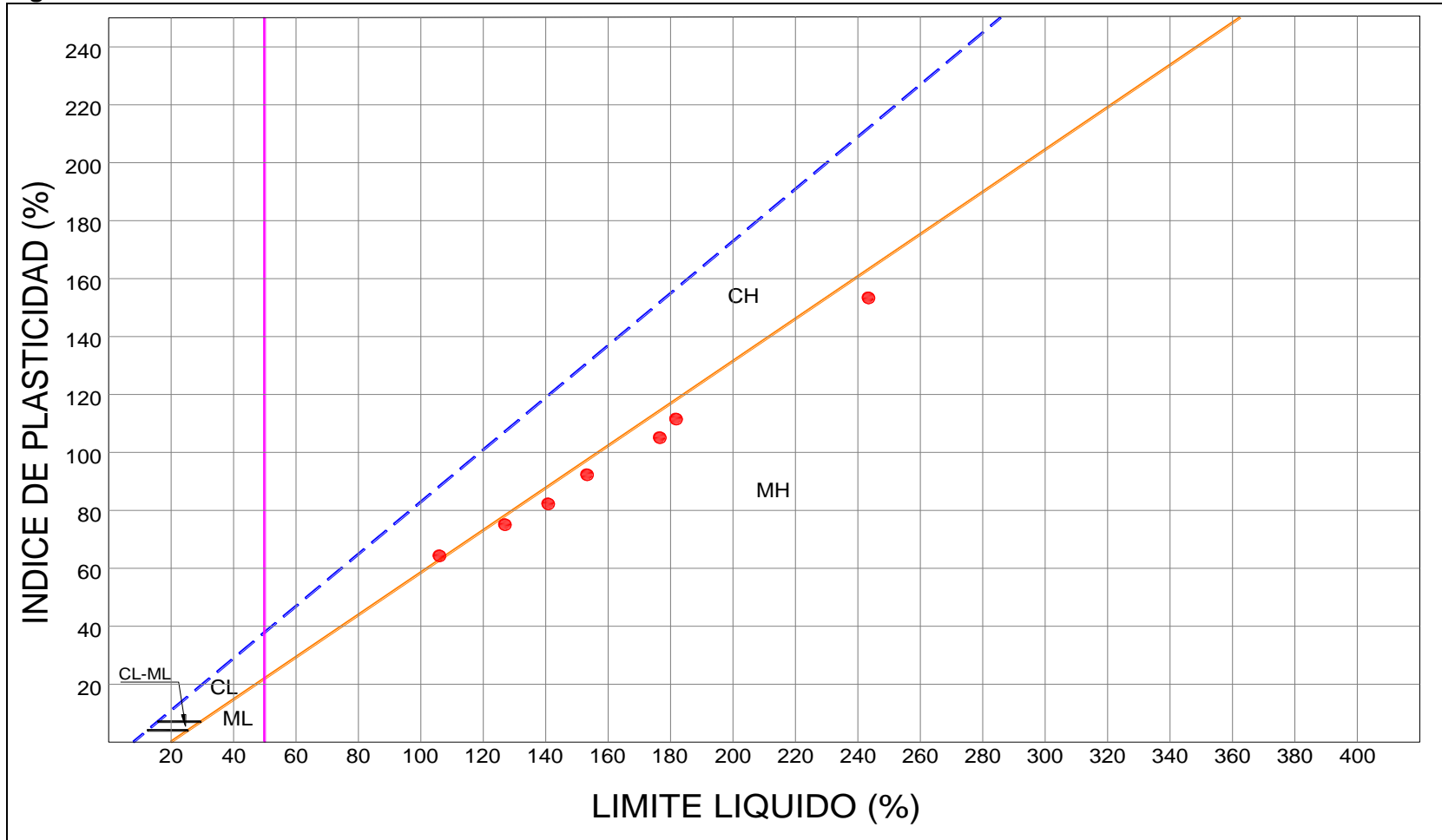
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.129	11.65	-	-
Arcilla limosa con algo de arena	15.4	10.791	-	-

Figura 46 Variación de propiedades índice - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190



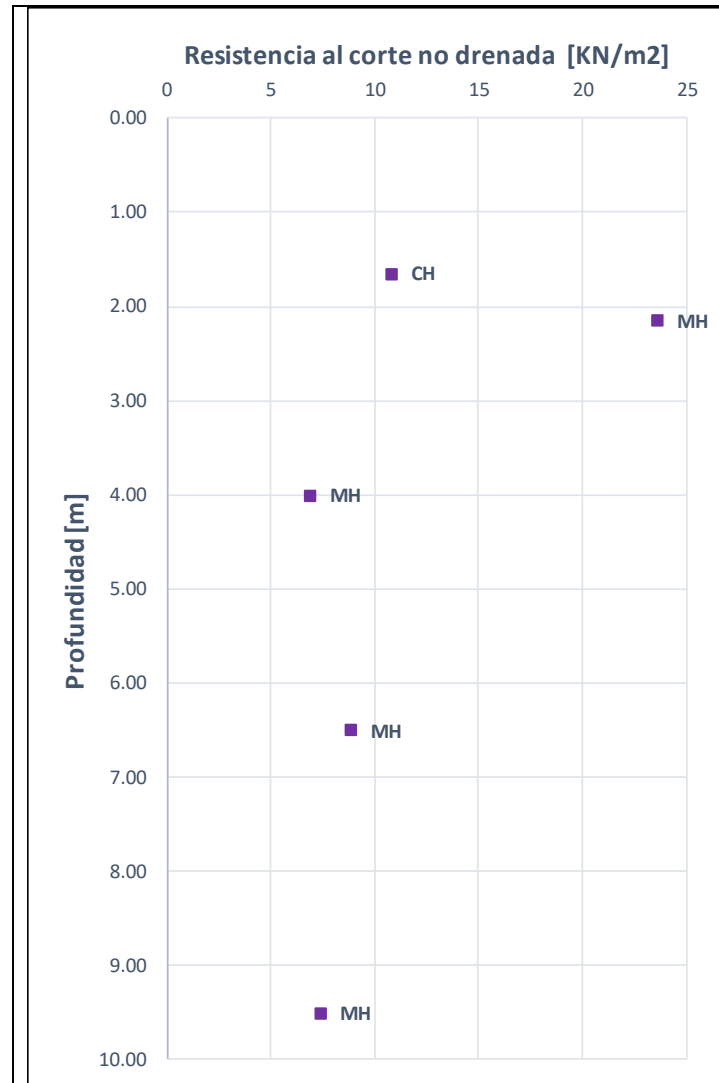
Fuente: WSP, 2019

Figura 47 Carta de Plasticidad - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190



Fuente: WSP, 2019

Figura 48 Variación de resistencia al corte - AV VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190



Fuente: WSP, 2019

9.3.4 AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO

De la Figura 49 a la Figura 51 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

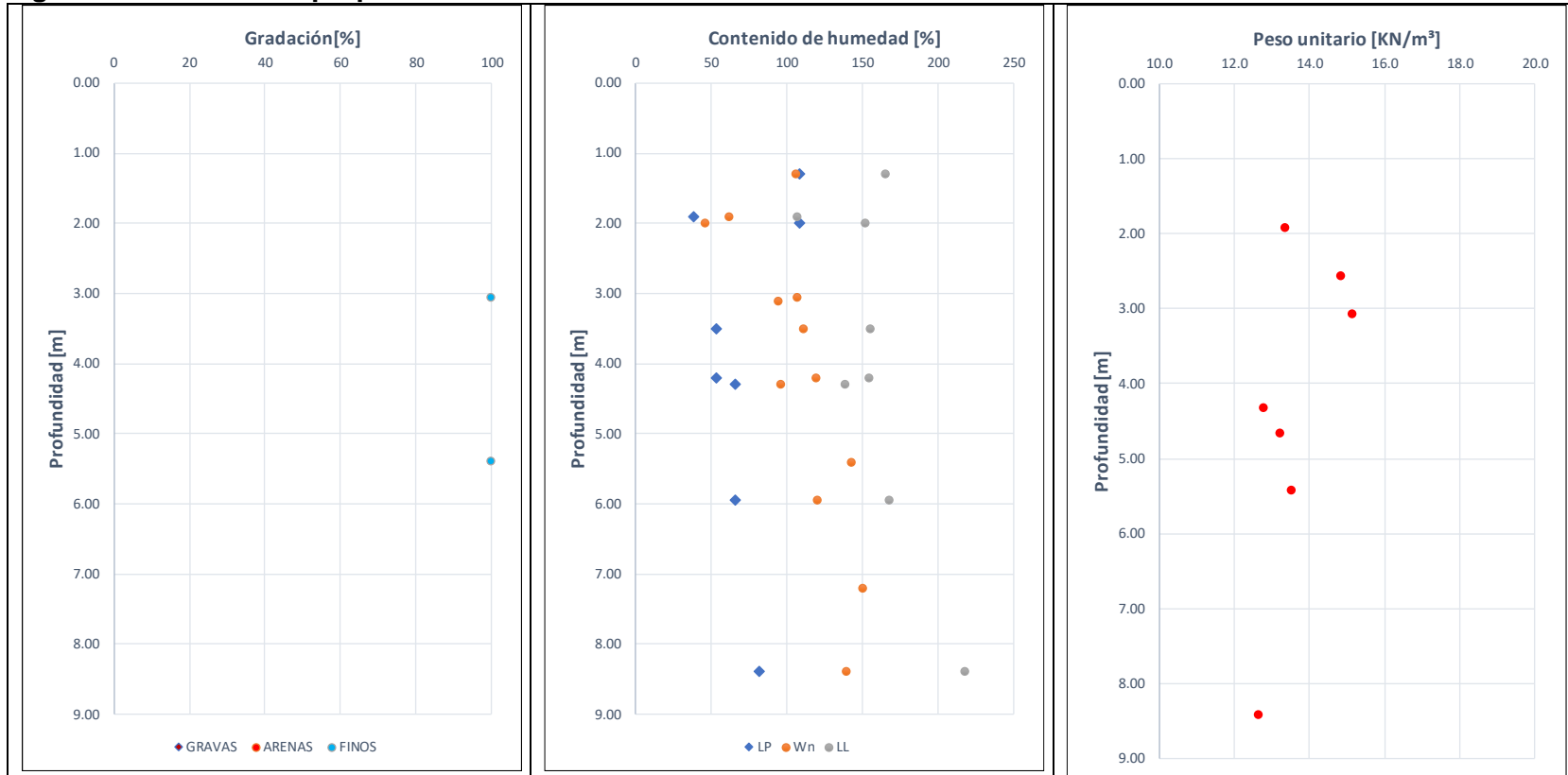
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3/9 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.
- Entre 3 y 6 m se encuentran capas de arcilla limosa de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a muy blanda. Este material no se encontró en el sondeo 65.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 10 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO

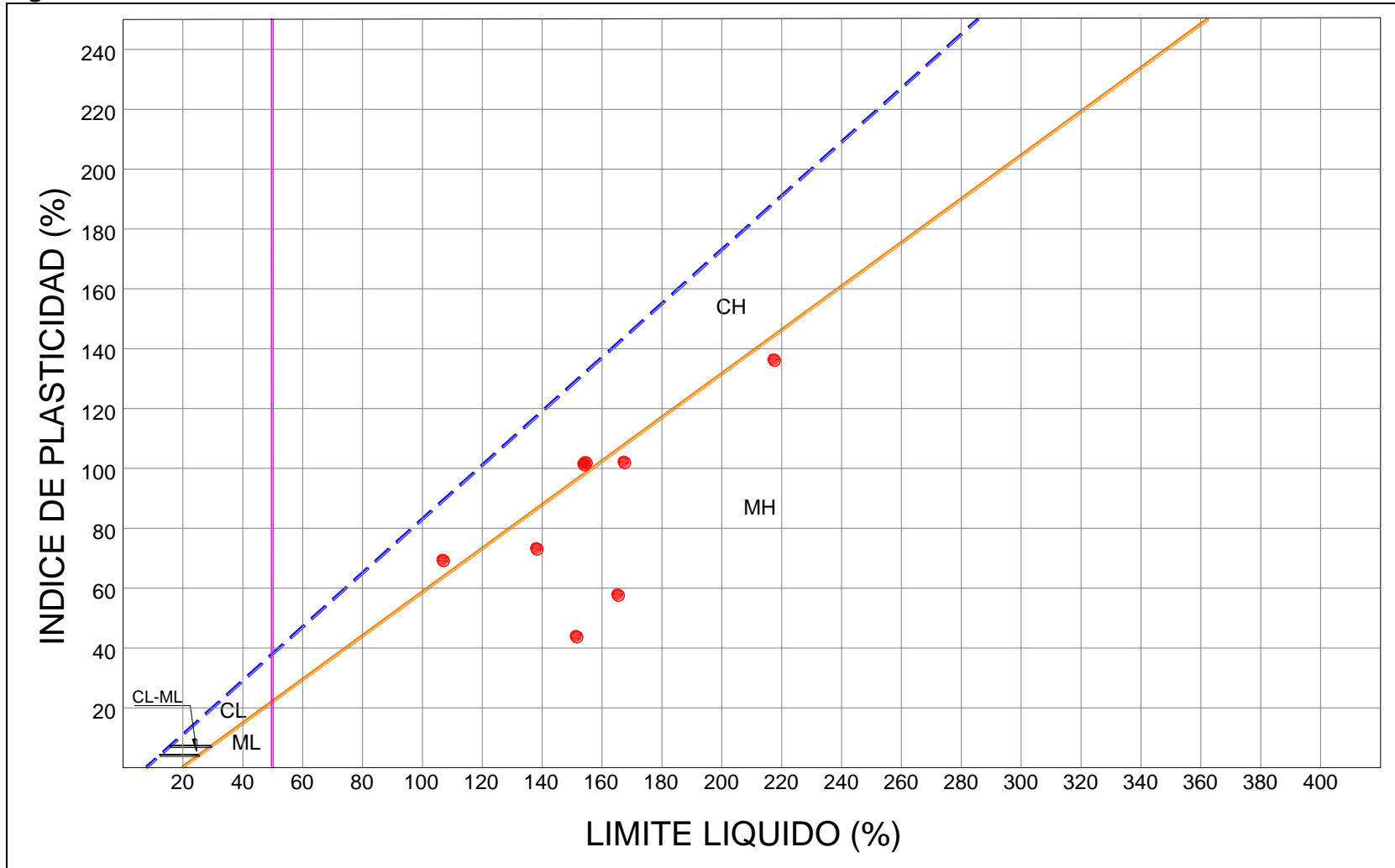
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.63	12.12		
Arcilla limosa	13.41	15.94		

Figura 49 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO



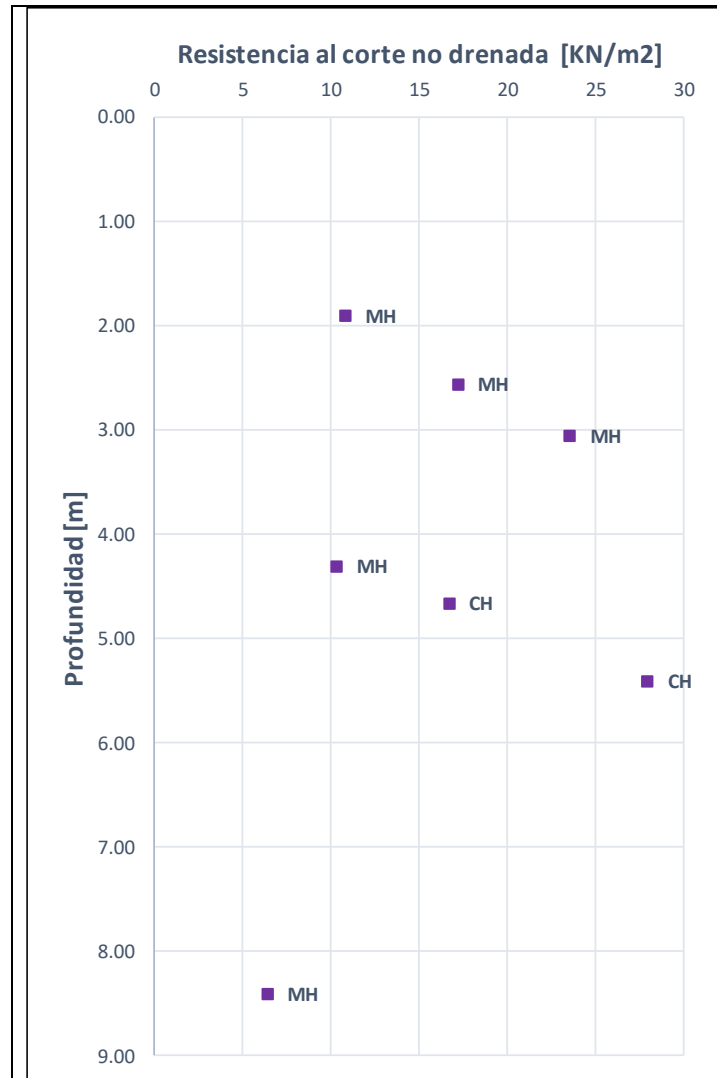
Fuente: WSP, 2019

Figura 50 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO



Fuente: WSP, 2019

Figura 51 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO



Fuente: WSP, 2019

9.3.5 CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS

De la Figura 52 a la Figura 54 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

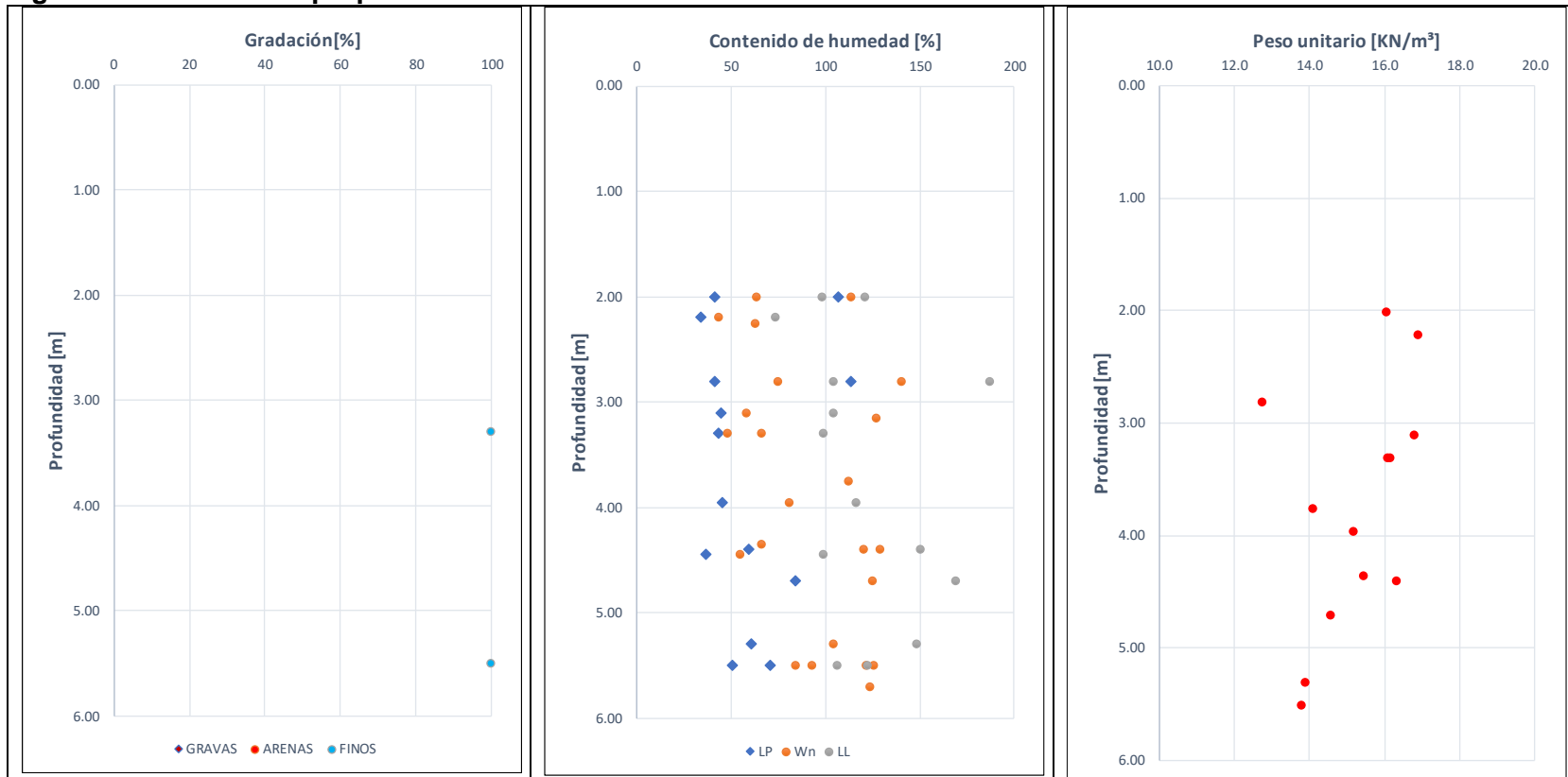
- Entre 0 y 6 m se encuentran capas de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en el sondeo 67
- Entre 0 y 6 m se encuentran arcillas limosas de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en los sondeos 30, 32,33 y 37.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 11 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS

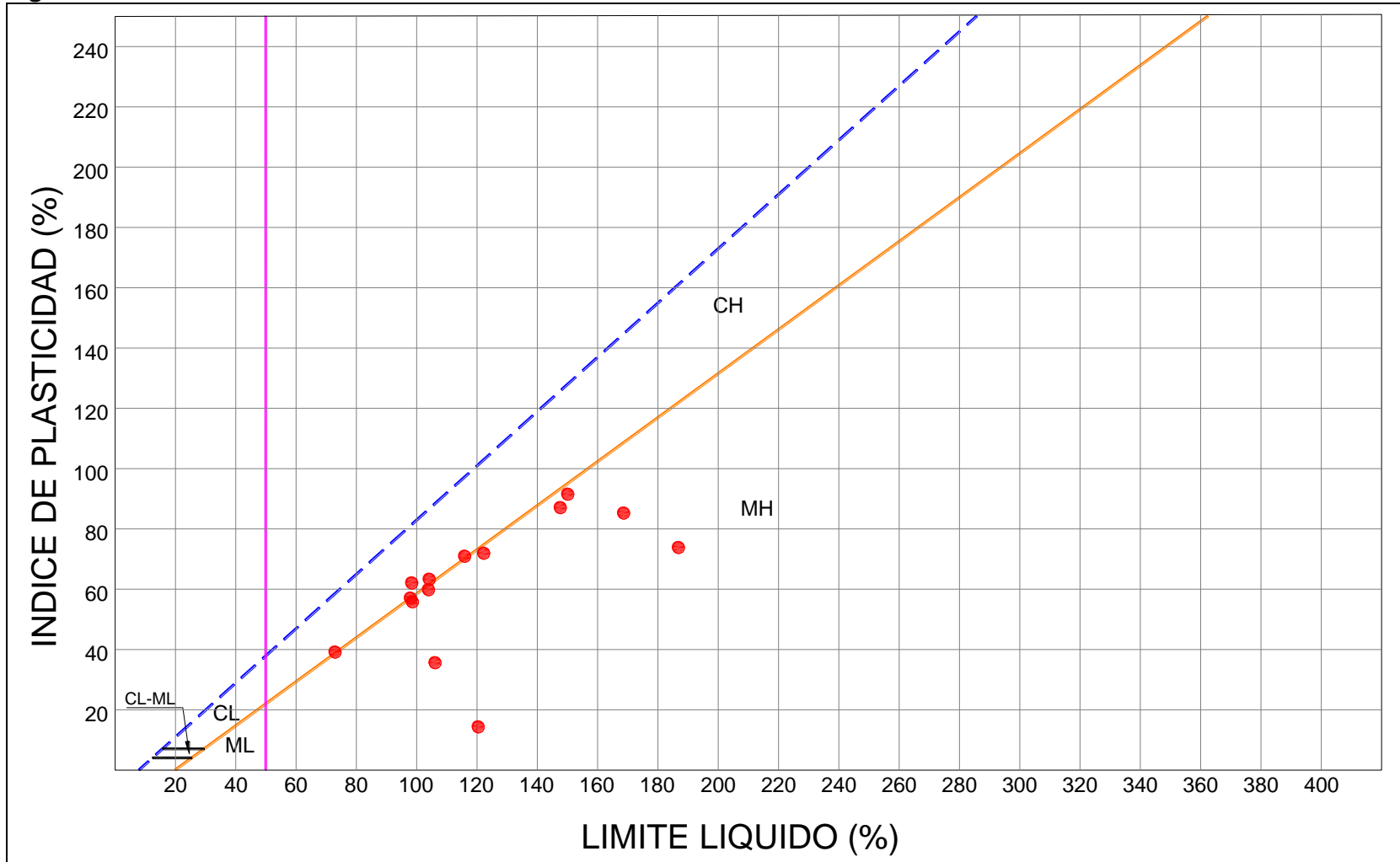
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.975	17.03		
Arcillas limosas	15.27	20.40		

Figura 52 Variación de propiedades índice - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



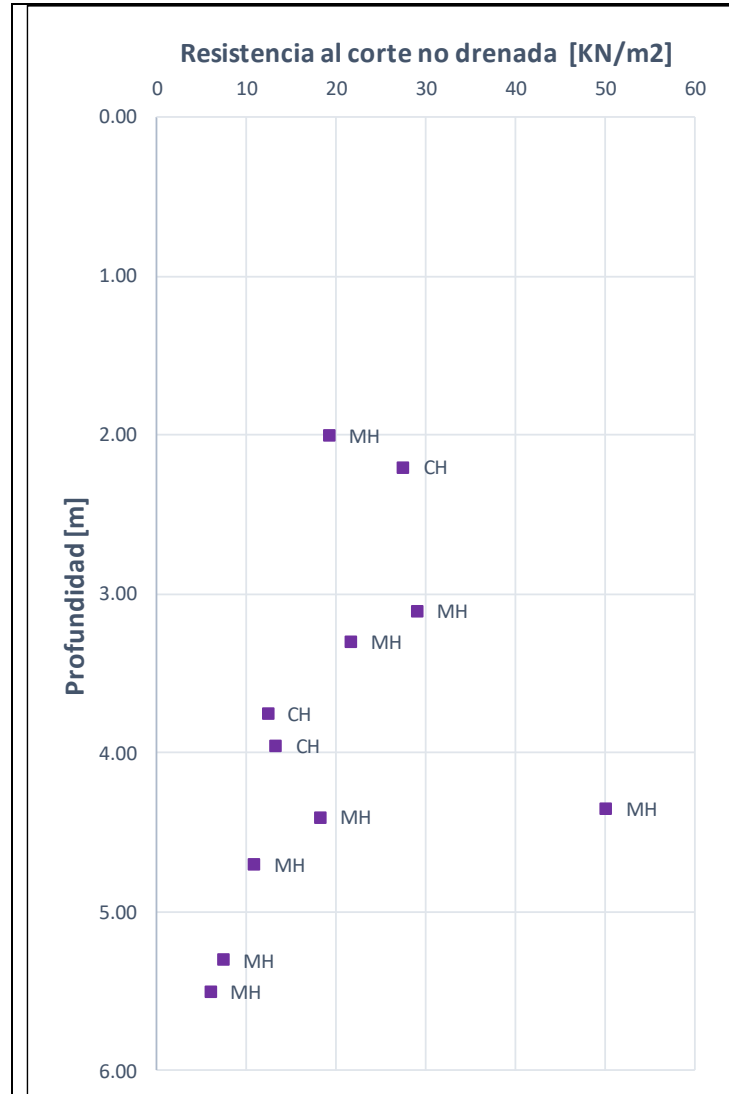
Fuente: WSP, 2019

Figura 53 Carta de Plasticidad - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



Fuente: WSP, 2019

Figura 54 Variación de resistencia al corte - CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



Fuente: WSP, 2019

9.3.6 CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS

De la Figura 55 a la Figura 57 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

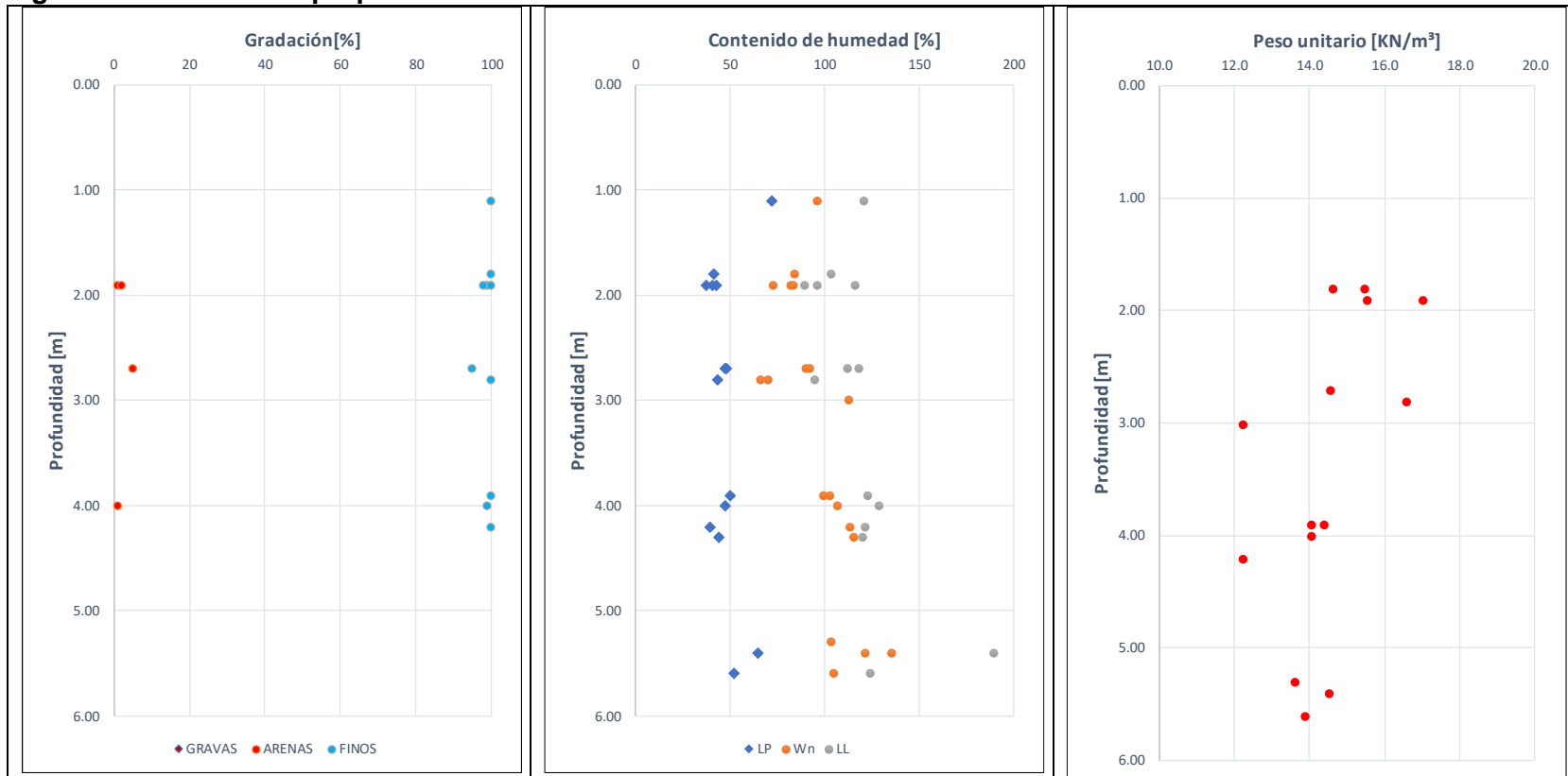
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.4/6.3 m se encuentran capas de limo arcilloso con algo de arena de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a muy blanda. Este material no se evidencia en el sondeo 14.
- Entre 0 y 6 m se encuentran capas de arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 12 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS

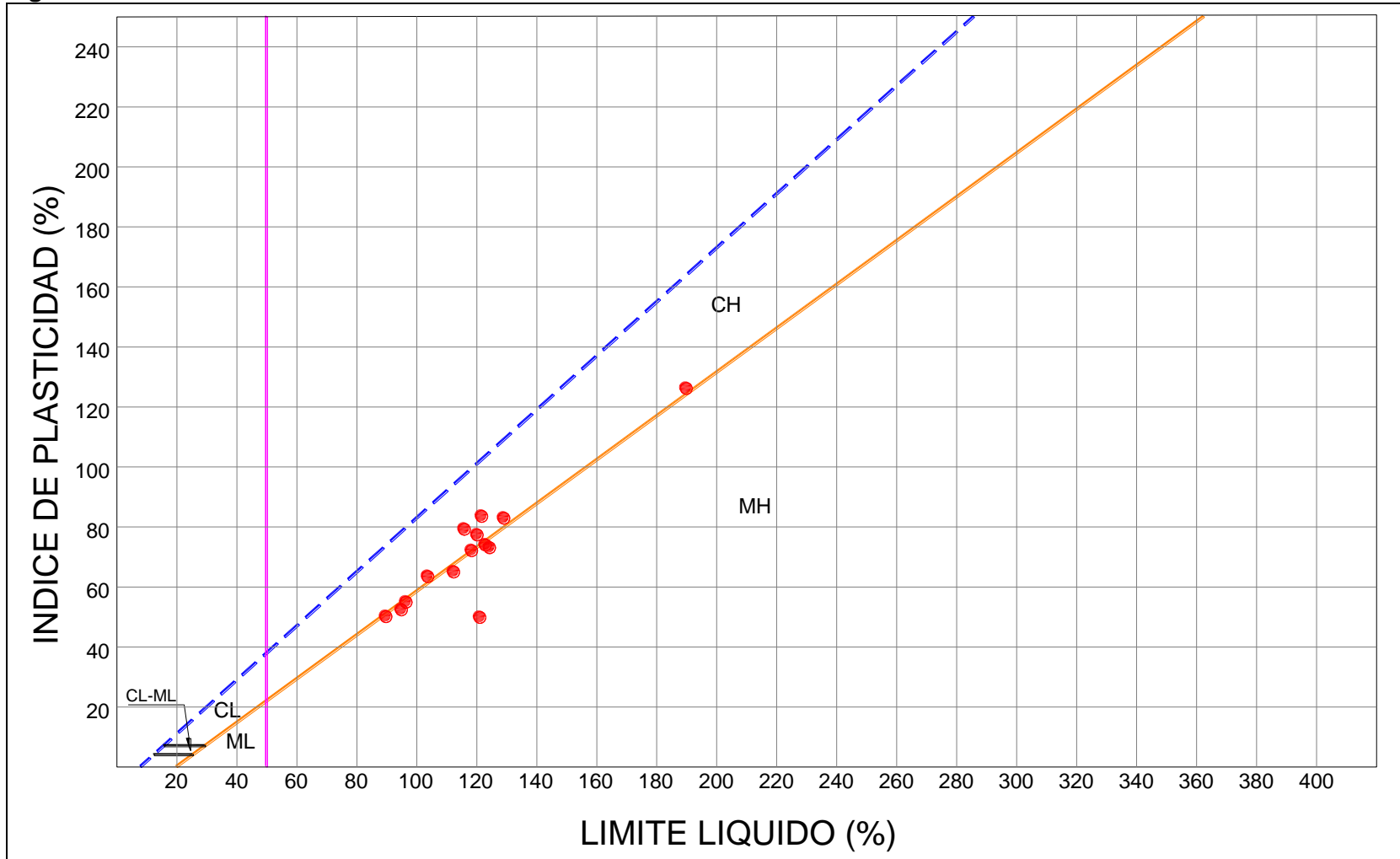
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso con algo de arena	14.90	16.48		
Arcillas limosas	14.47	18.79		

Figura 55 Variación de propiedades índice - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



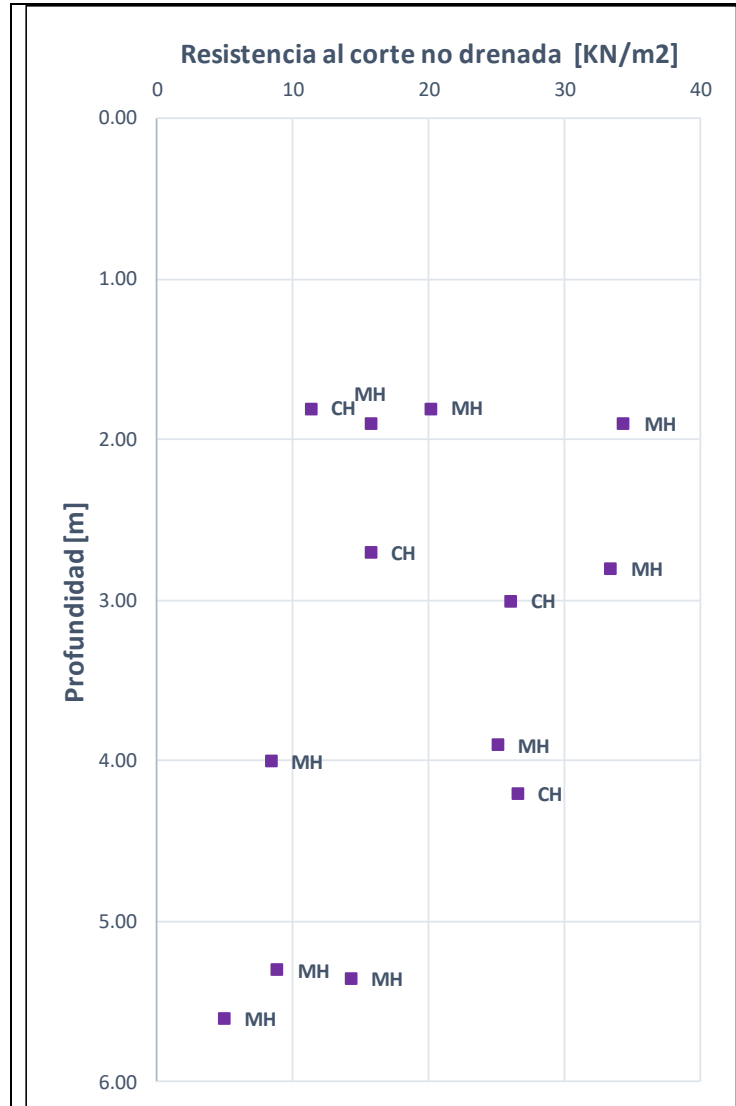
Fuente: WSP, 2019

Figura 56 Carta de Plasticidad - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



Fuente: WSP, 2019

Figura 57 Variación de resistencia al corte - CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



Fuente: WSP, 2019

9.3.7 AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE

De la Figura 58 a la Figura 60 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

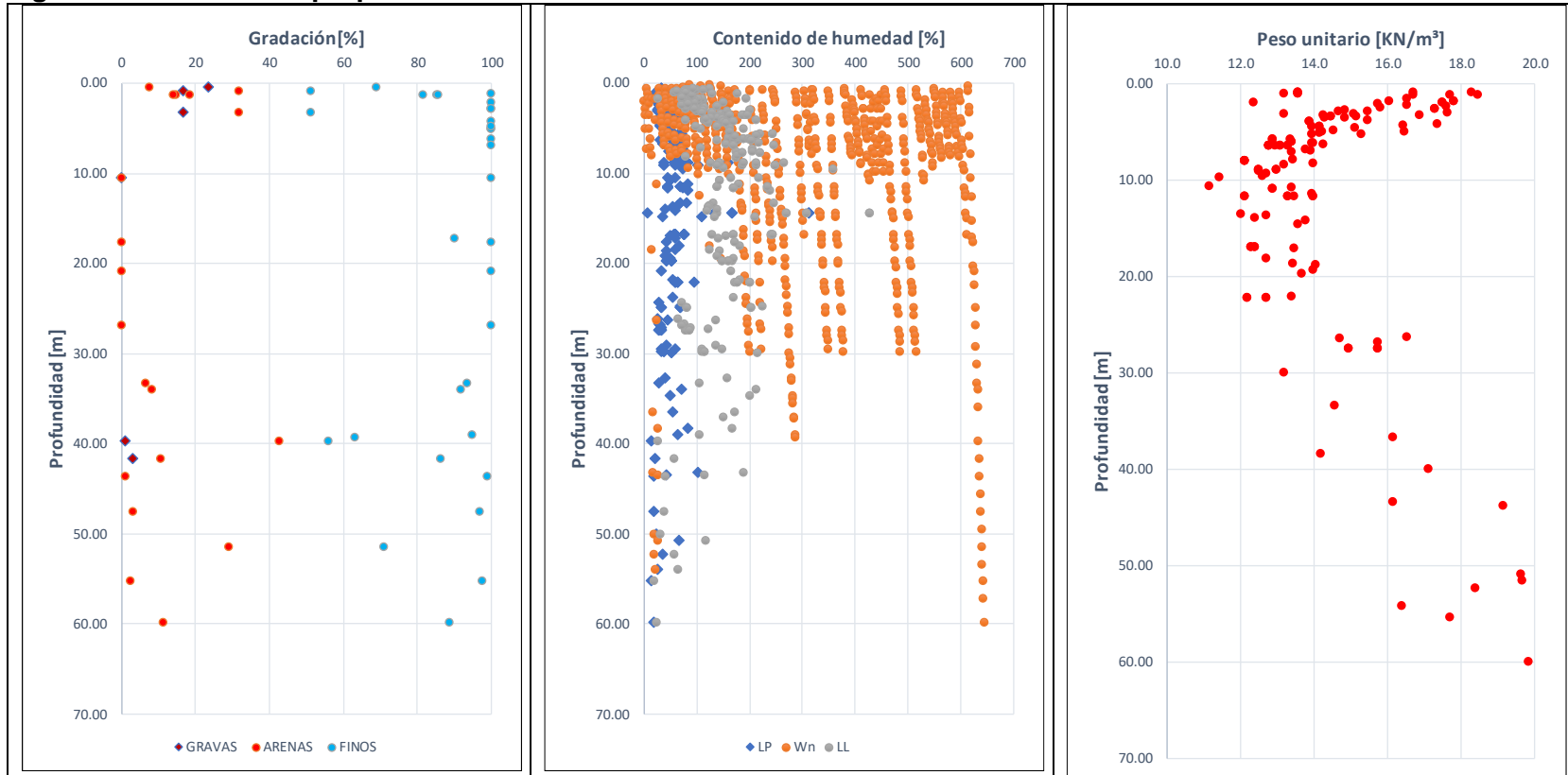
- Superficialmente en algunos sectores se encuentran capas de arenas arcillosas de hasta 2 m de profundidad
- Entre 0 y 15m se encuentran capas de limo arcilloso de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a muy blanda.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2/6 m se encuentran capas de arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 13 Propiedades geotécnicas promedio - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE

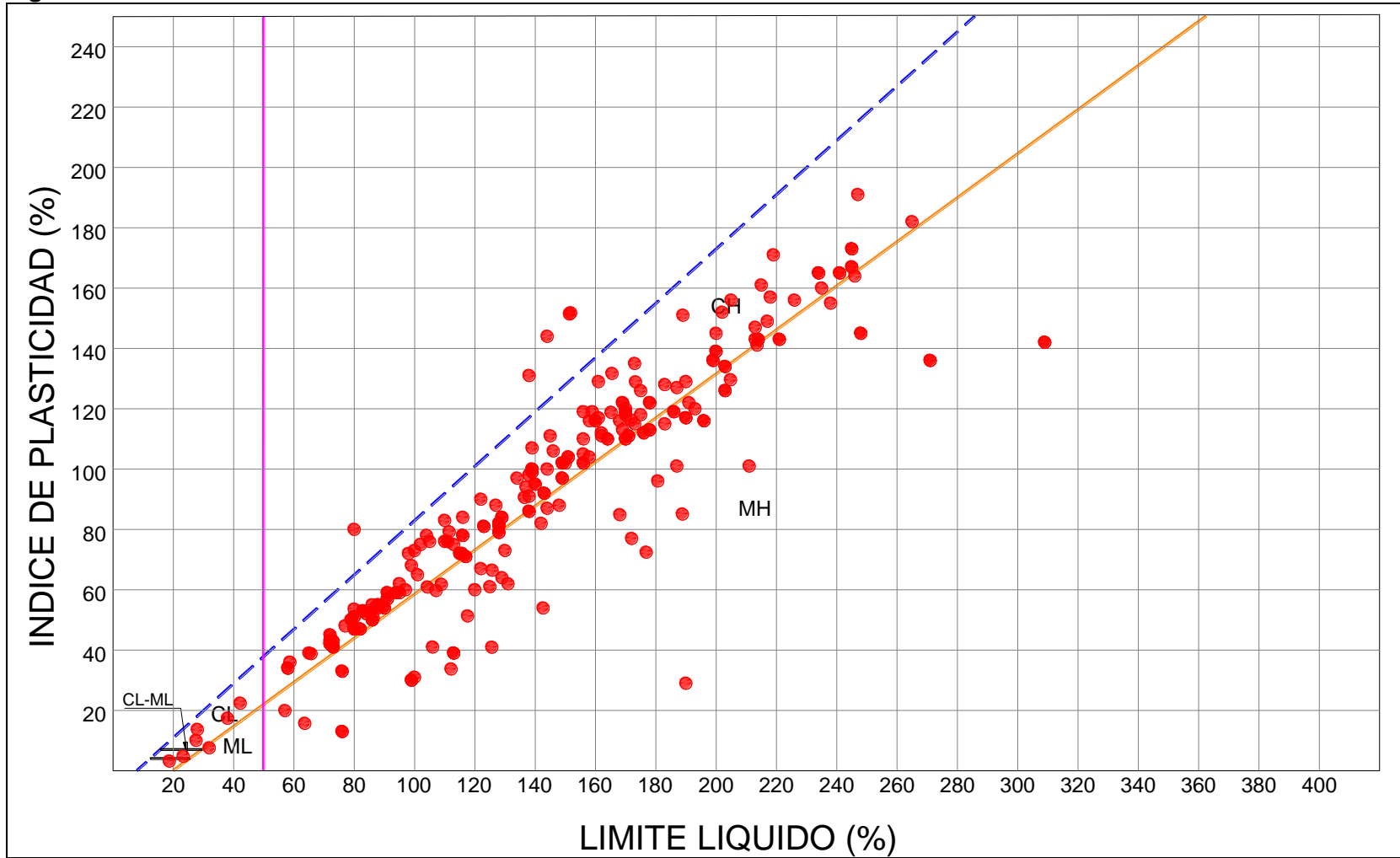
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.00	33.32	19.9	19.62
Arcillas limosas	14.58	35.45	16.45	13.5
Arena Arcillosa	-	-	-	-

Figura 58 Variación de propiedades índice - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE



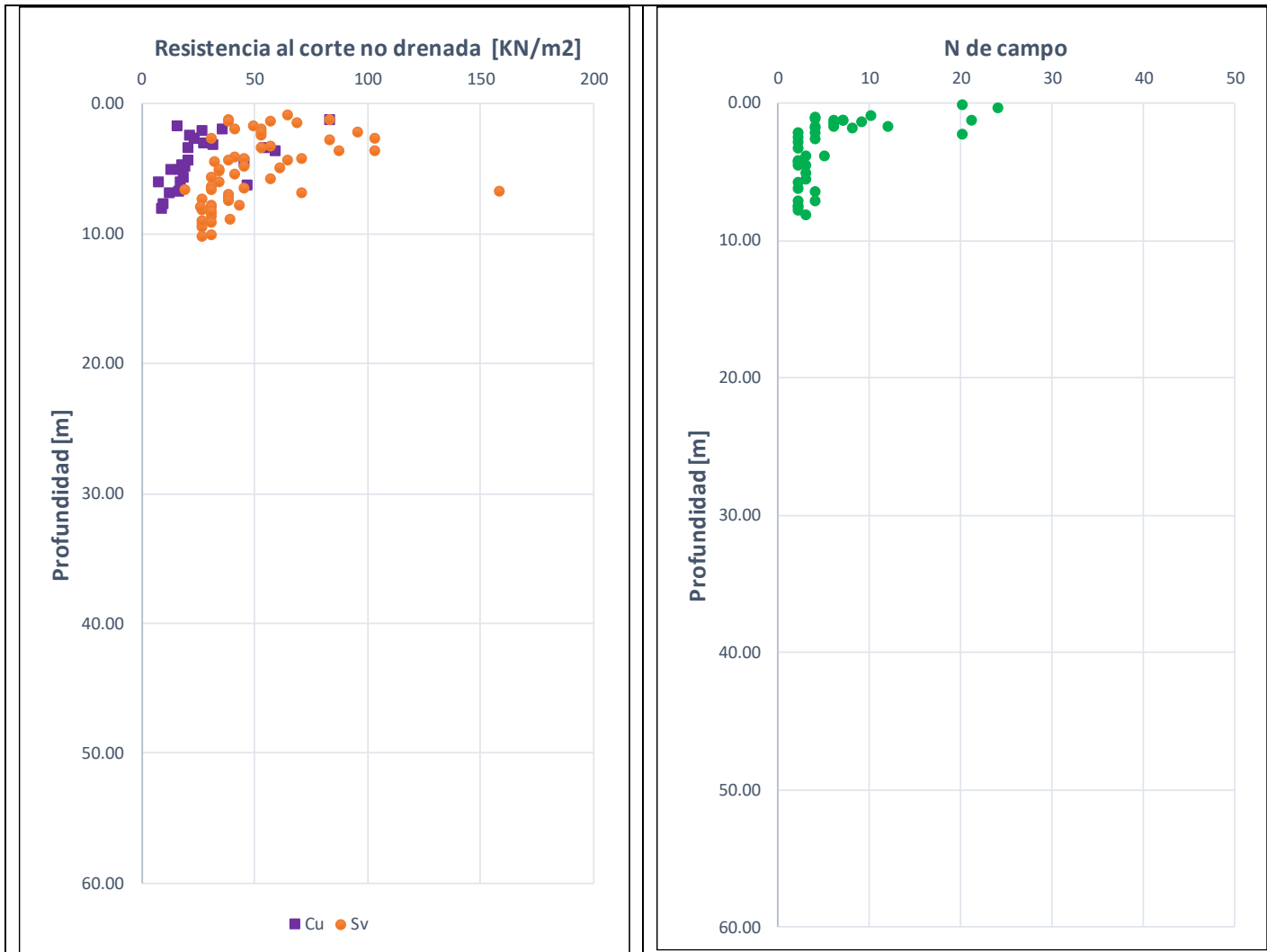
Fuente: WSP, 2019

Figura 59 Carta de Plasticidad - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE



Fuente: WSP, 2019

Figura 60 Variación de resistencia al corte - AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE



Fuente: WSP, 2019

9.3.8 CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7

De la Figura 61 a la Figura 63 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

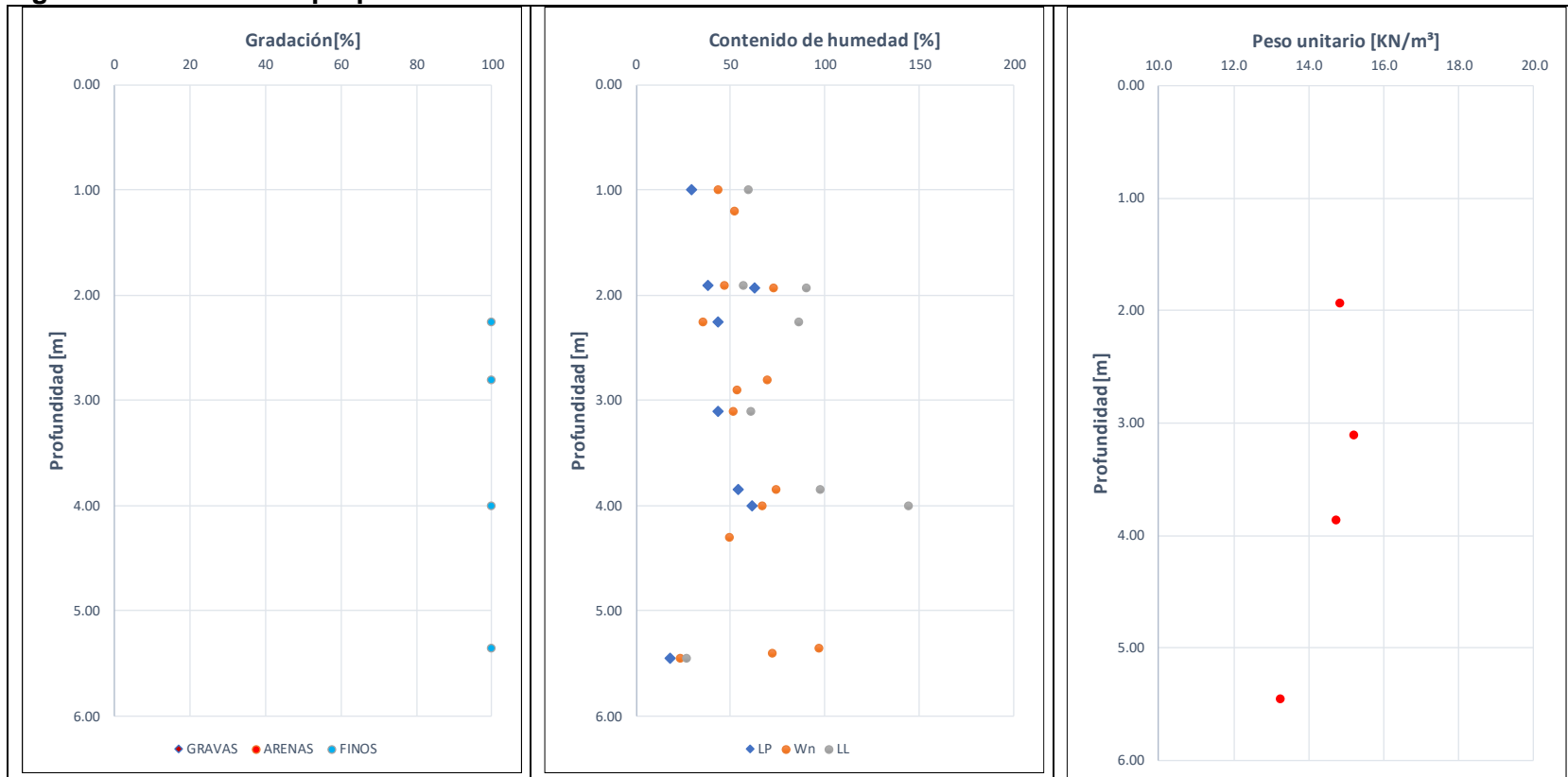
- Entre 0 y 6 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme a firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 14 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7

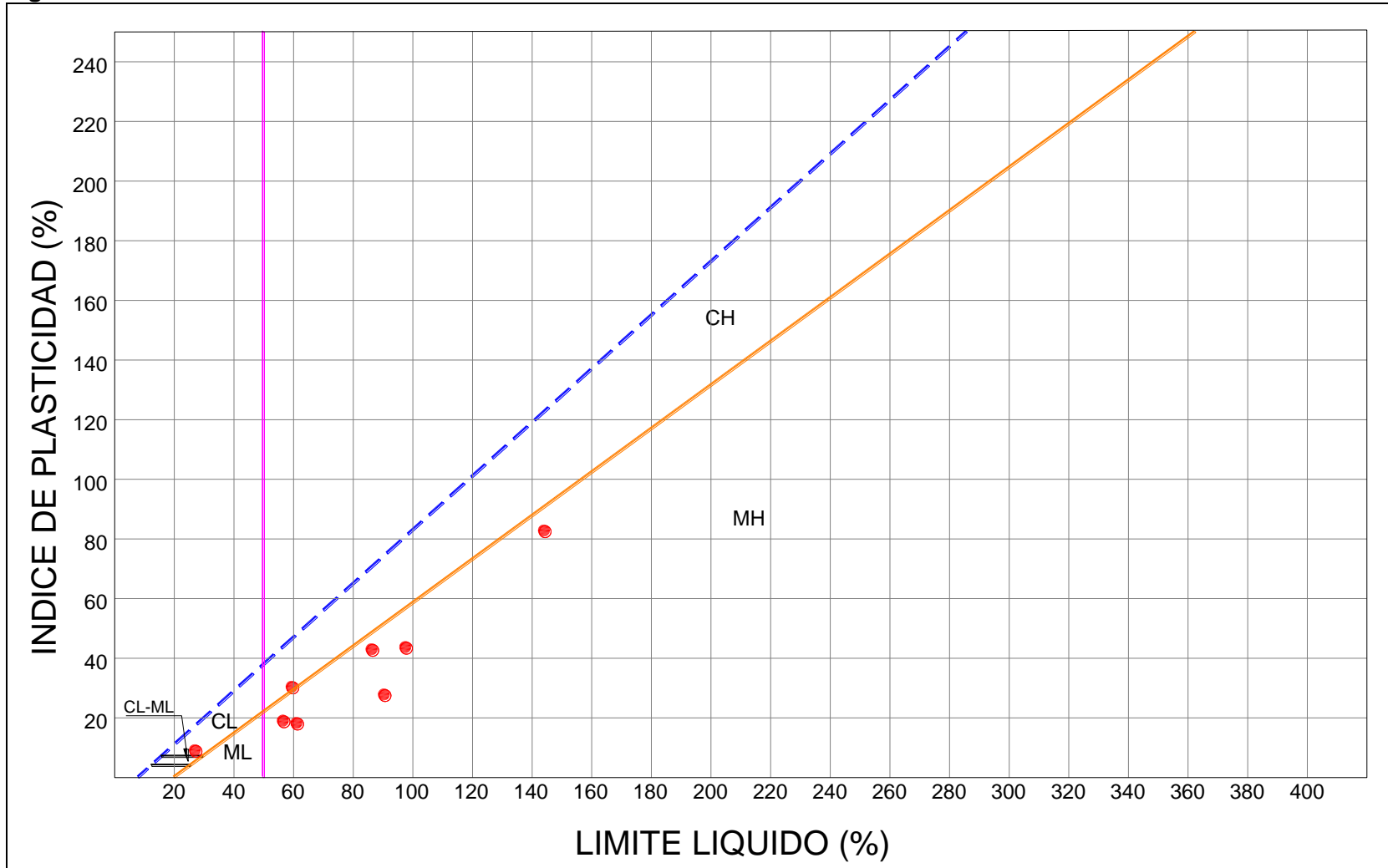
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, ϕ' [°]	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.94	50.03		

Figura 61 Variación de propiedades índice - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7



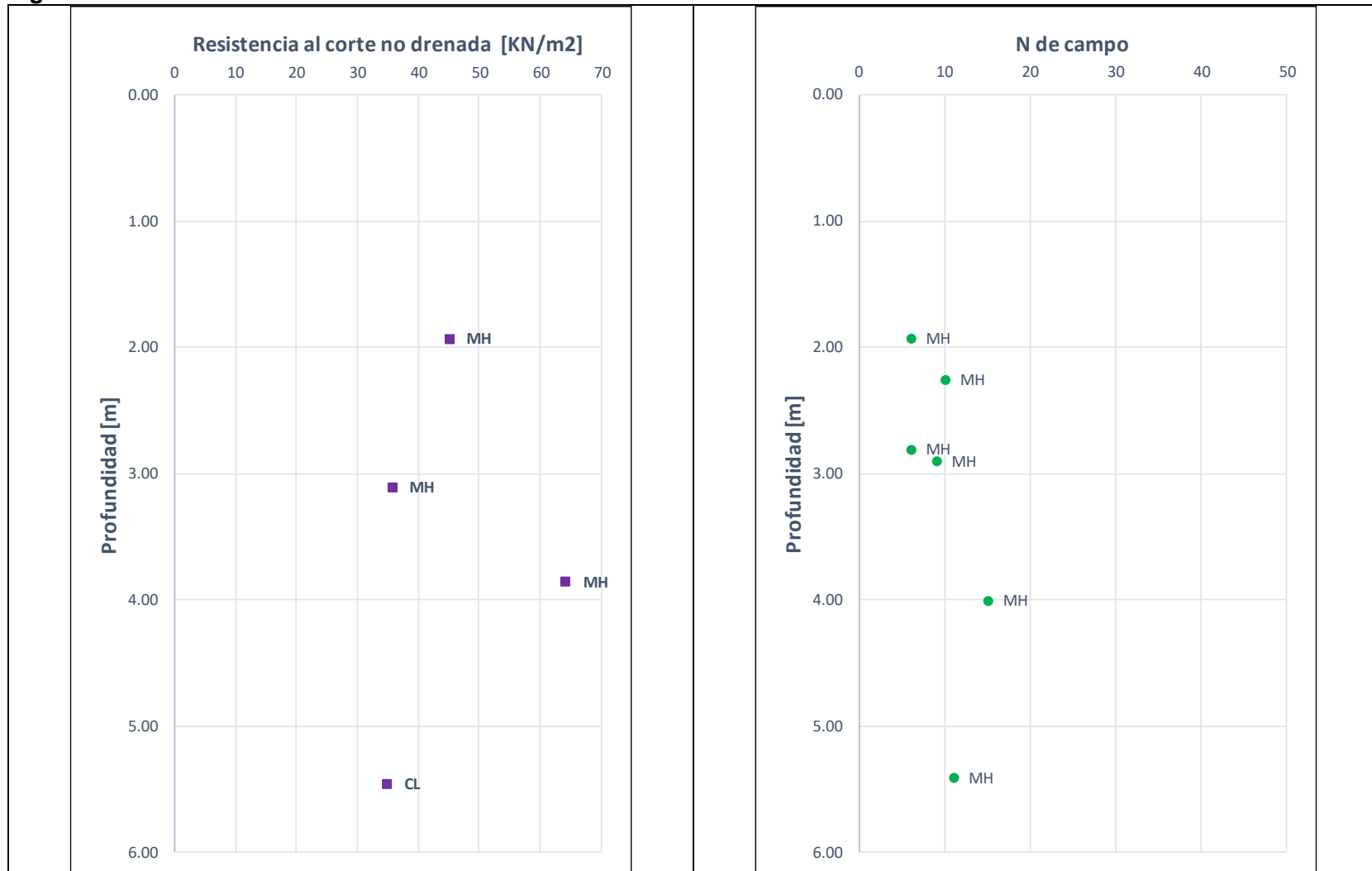
Fuente: WSP, 2019

Figura 62 Carta de Plasticidad - CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7



Fuente: WSP, 201

Figura 63 Variación de resistencia al corte -CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7



Fuente: WSP, 2019

9.3.9 CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193

De la Figura 64 a la Figura 66 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

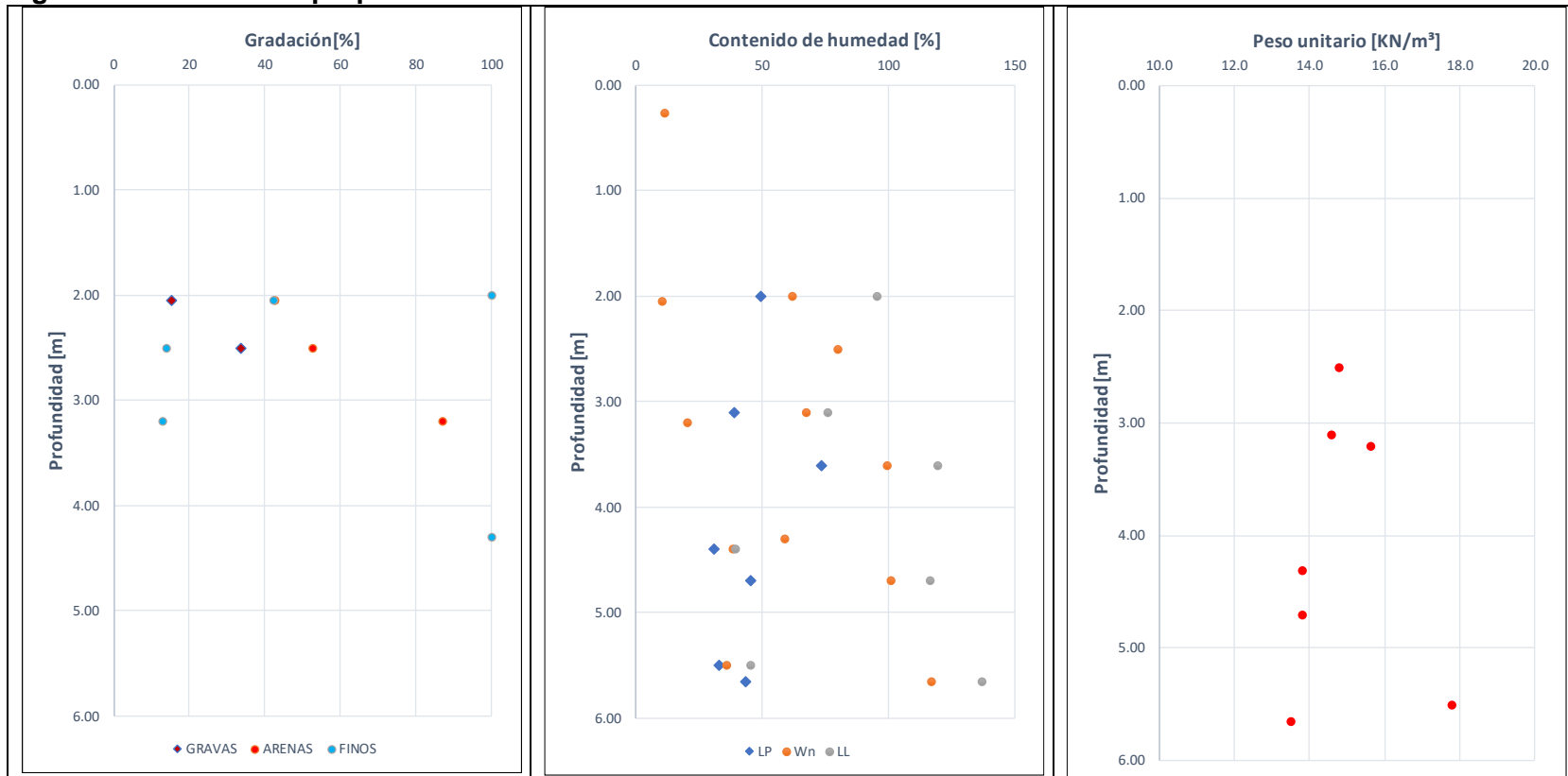
- Entre 4.2 y 6.1 m en algunos sectores se encuentran capas de arcilla de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material no se encontró en los sondeos 68 y 54.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.8 m se encuentran capas de arena limosa de humedad muy baja. Este material no se encontró en el sondeo 68.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 4.9 m se encuentran capas de limo arcilloso de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material no se encontró en el sondeo 54.
- En algunos sectores entre 4 y 6 m se encuentran limos arcillosos de humedad media, plasticidad media y consistencia medio firme. Este material se evidencia en el sondeo 54.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 15 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193

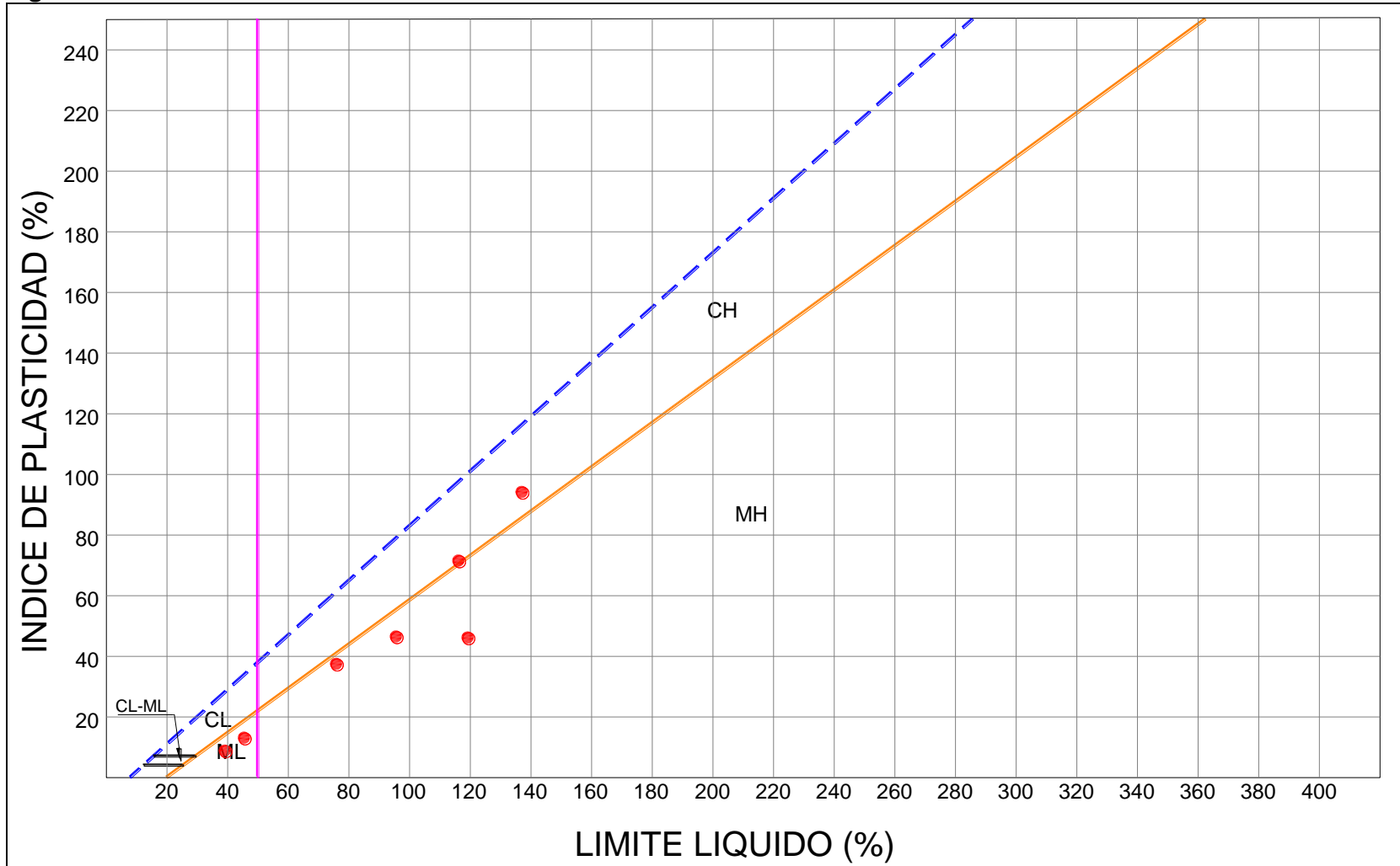
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla	13.6	53.46		
Arena limosa	15.21	22.07		
Limo arcilloso	15.39	29.27		

Figura 64 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193



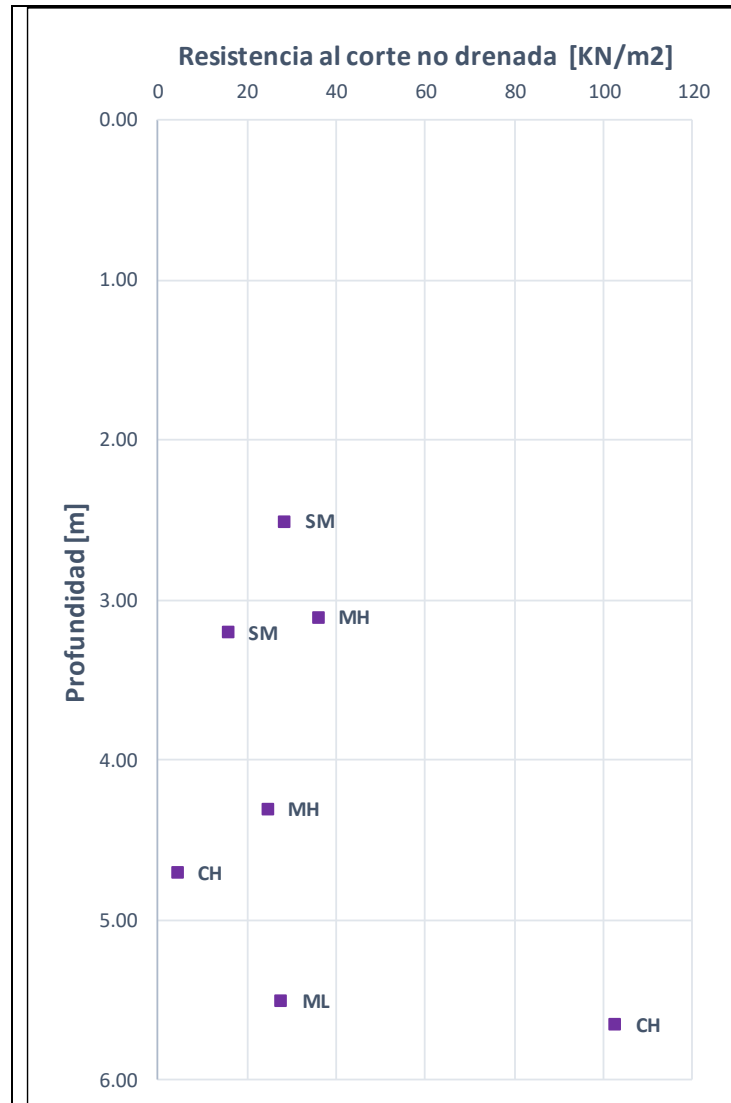
Fuente: WSP, 2019

Figura 65 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193



Fuente: WSP, 2019

Figura 66 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193



Fuente: WSP, 2019

9.3.10 CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1

De la Figura 67 a la Figura 69 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

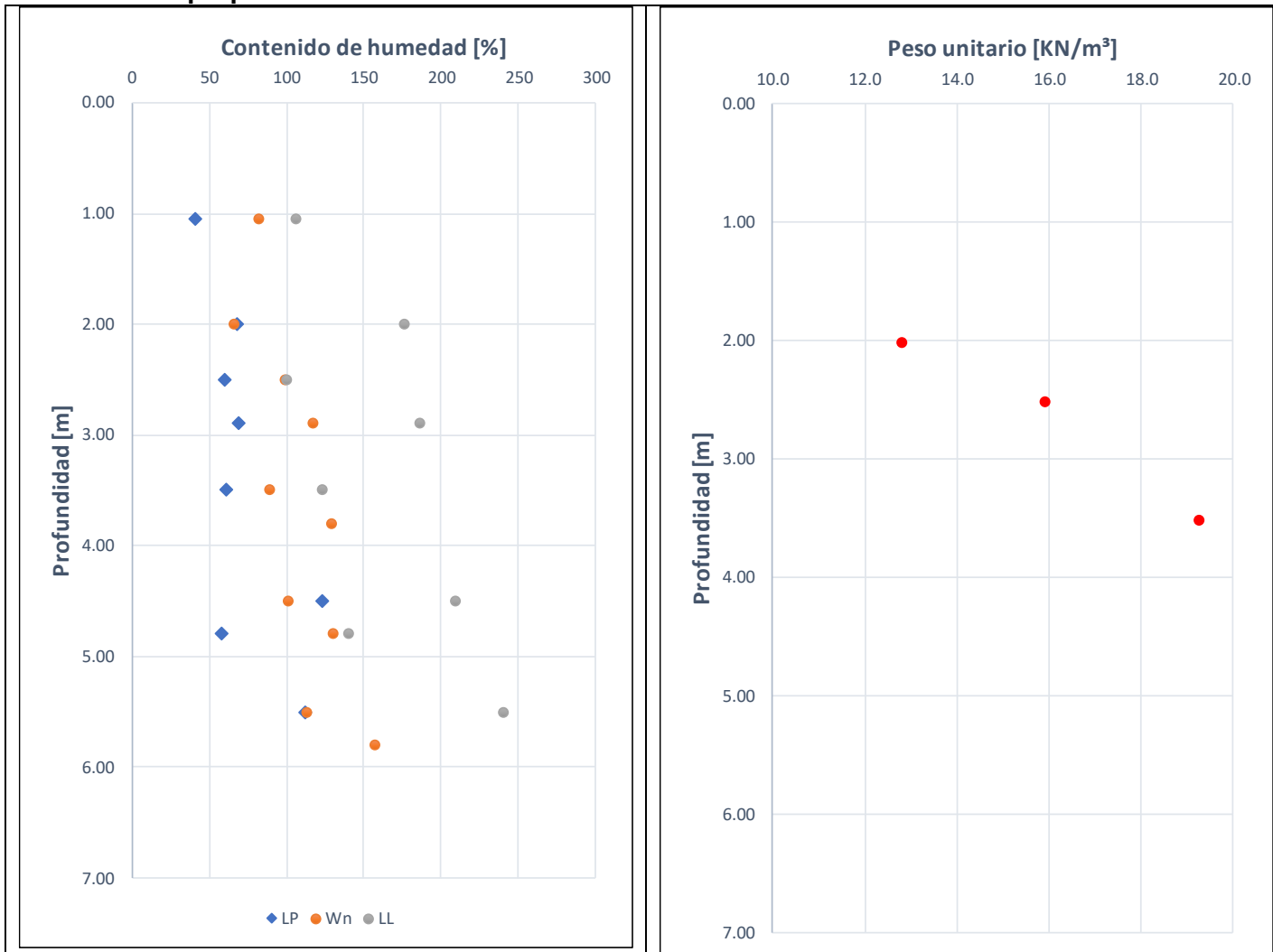
- Entre 0.0 y 1.5 m se encuentra una capa de arcilla limosa de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 6.3 m se encuentran capas de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 16 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1

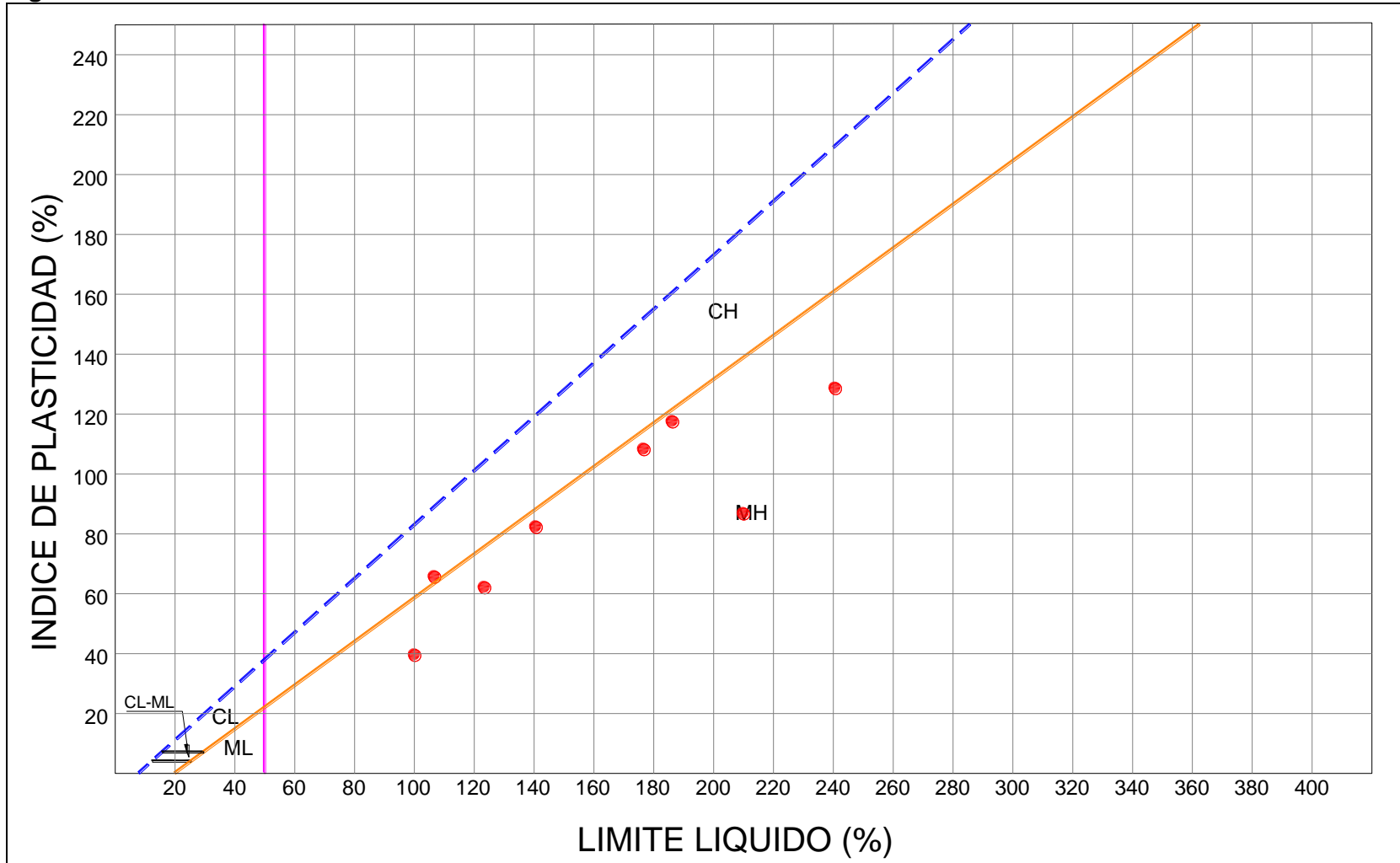
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla limosa	-	-	-	-
Limo arcilloso	15.97	43.98		

Figura 67 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1



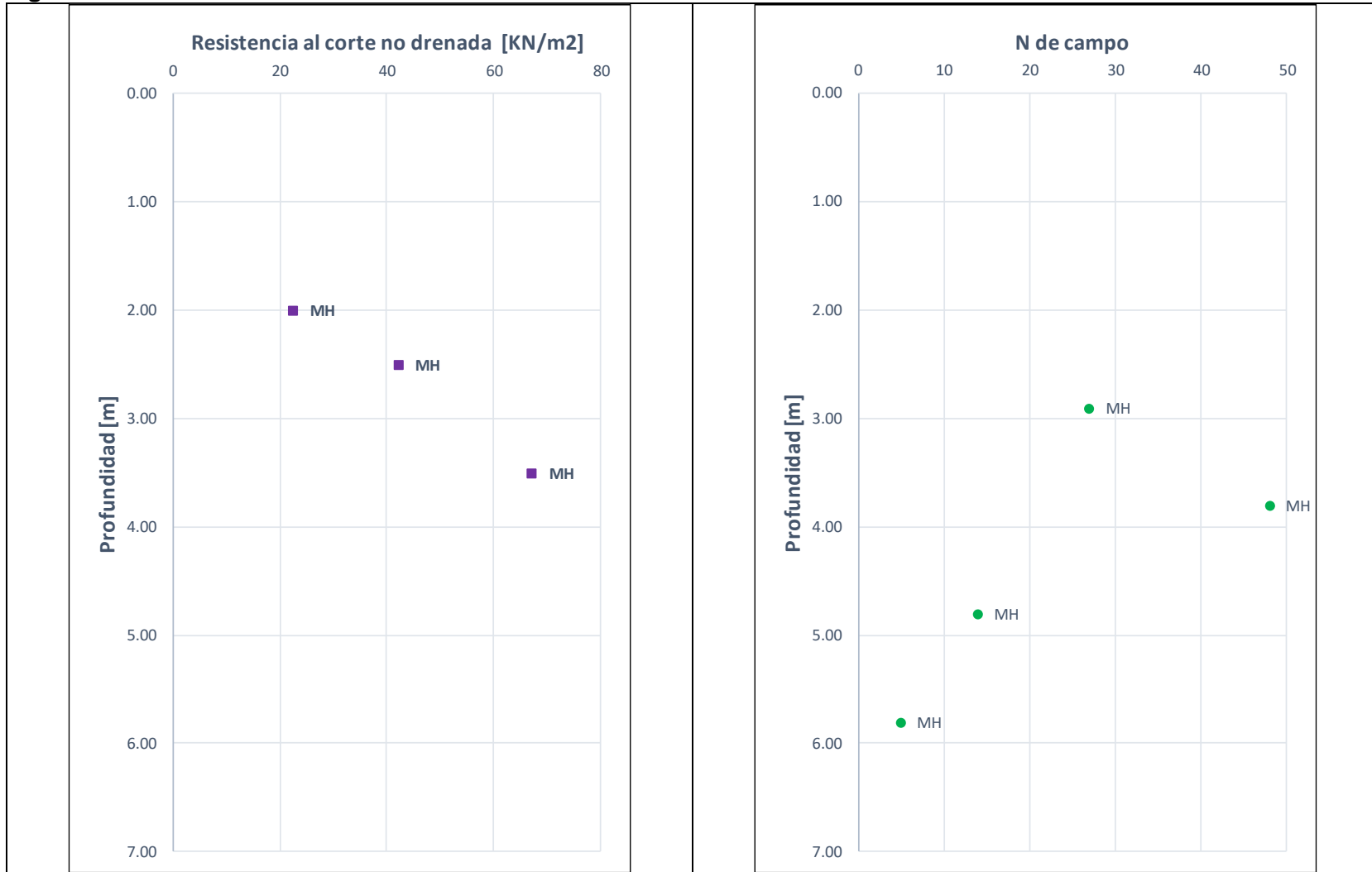
Fuente: WSP, 2019

Figura 68 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 69 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.11 CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2

De la Figura 70 a la Figura 72 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

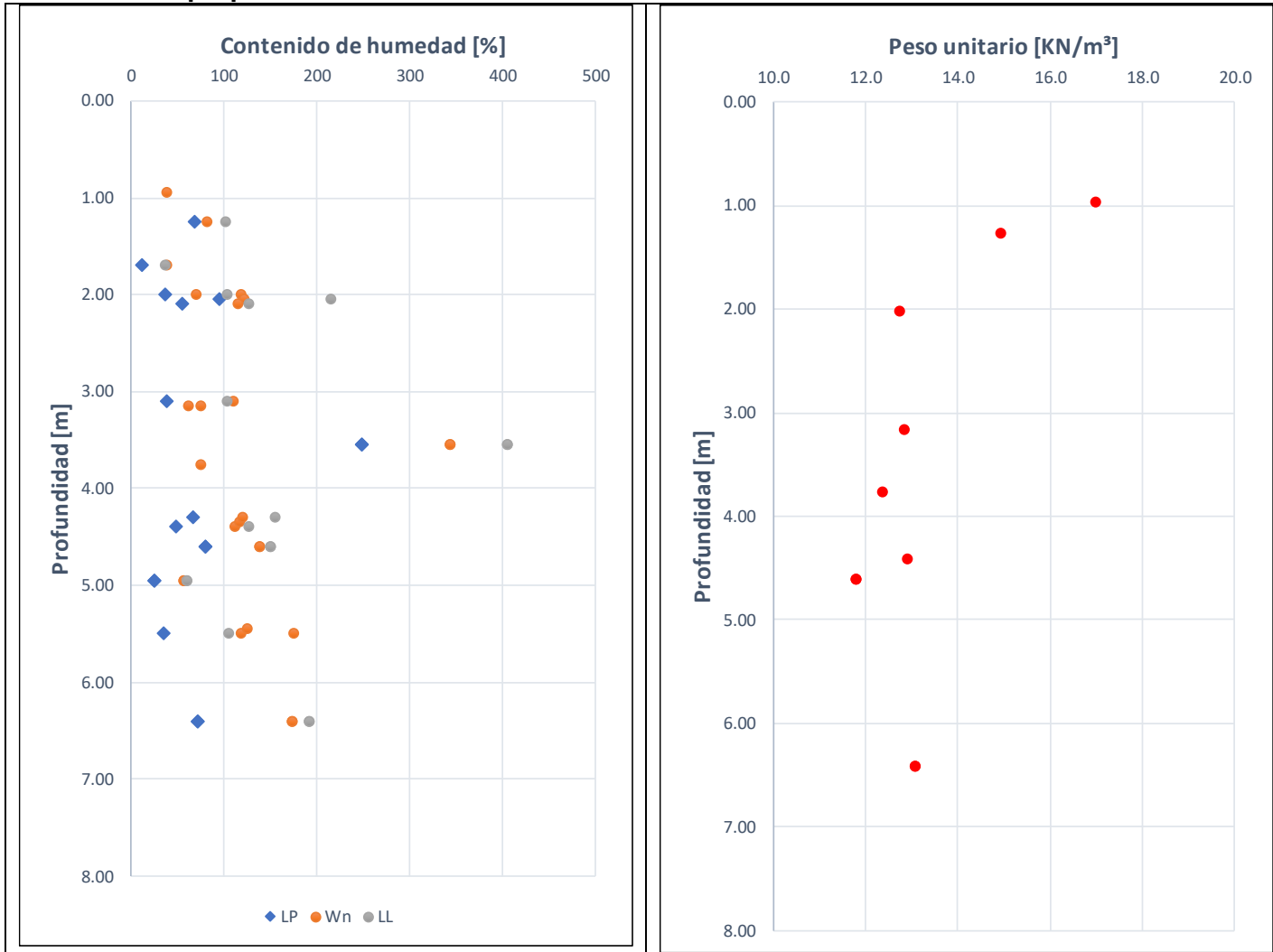
- Superficialmente y hasta 2.5/3.7 se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en el sondeo 58.
- En algunos sectores entre 0 y 6 m se encuentra una arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 17 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2

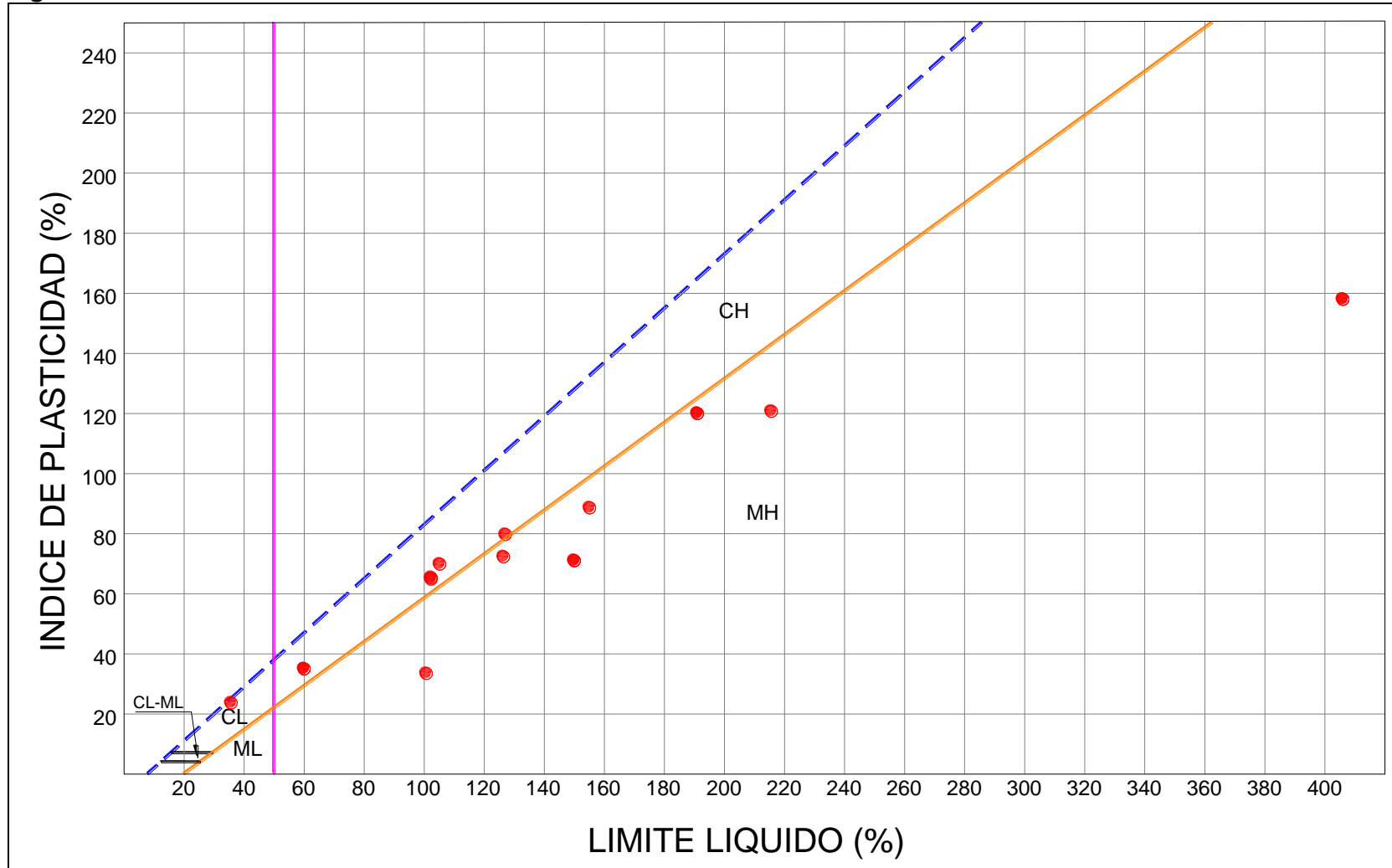
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.63	23.54	-	-
Arcillas limosas	13.13	27.53	-	-

Figura 70 Variación de propiedades índice - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2



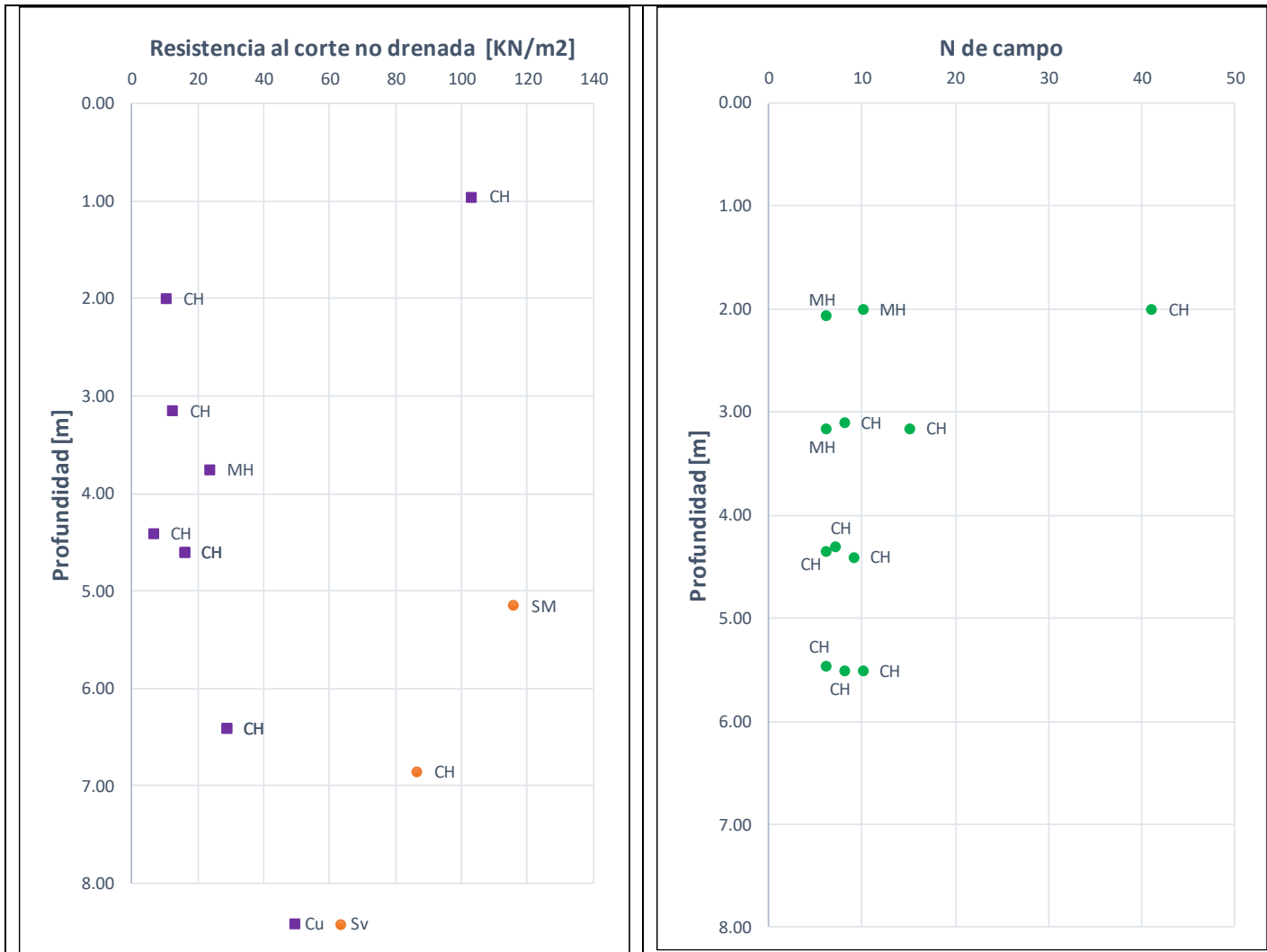
Fuente: WSP, 2019

Figura 71 Carta de Plasticidad - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 72 Variación de resistencia al corte - CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.12 CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192

De la Figura 73 a la Figura 75 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

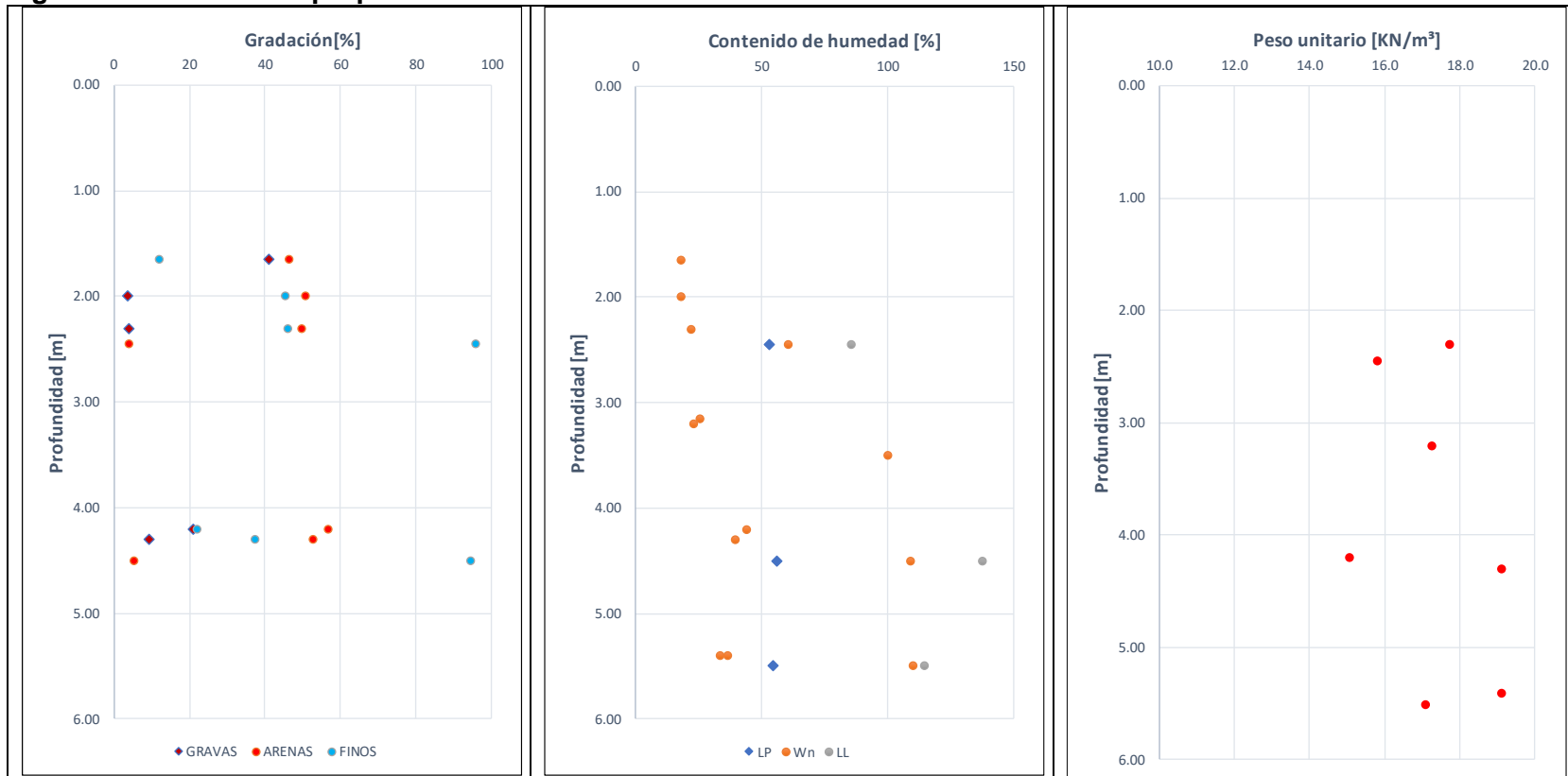
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.9/6 m se encuentra una capa de arena limosa de humedad baja, compacidad suelta.
- En algunos sectores entre 2 y 6 m se encuentra una capa de limo arcillosa de humedad media a alta y consistencia blanda a medio firme. Este material no se encontró en los sondeos 48 y 47.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 18 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192

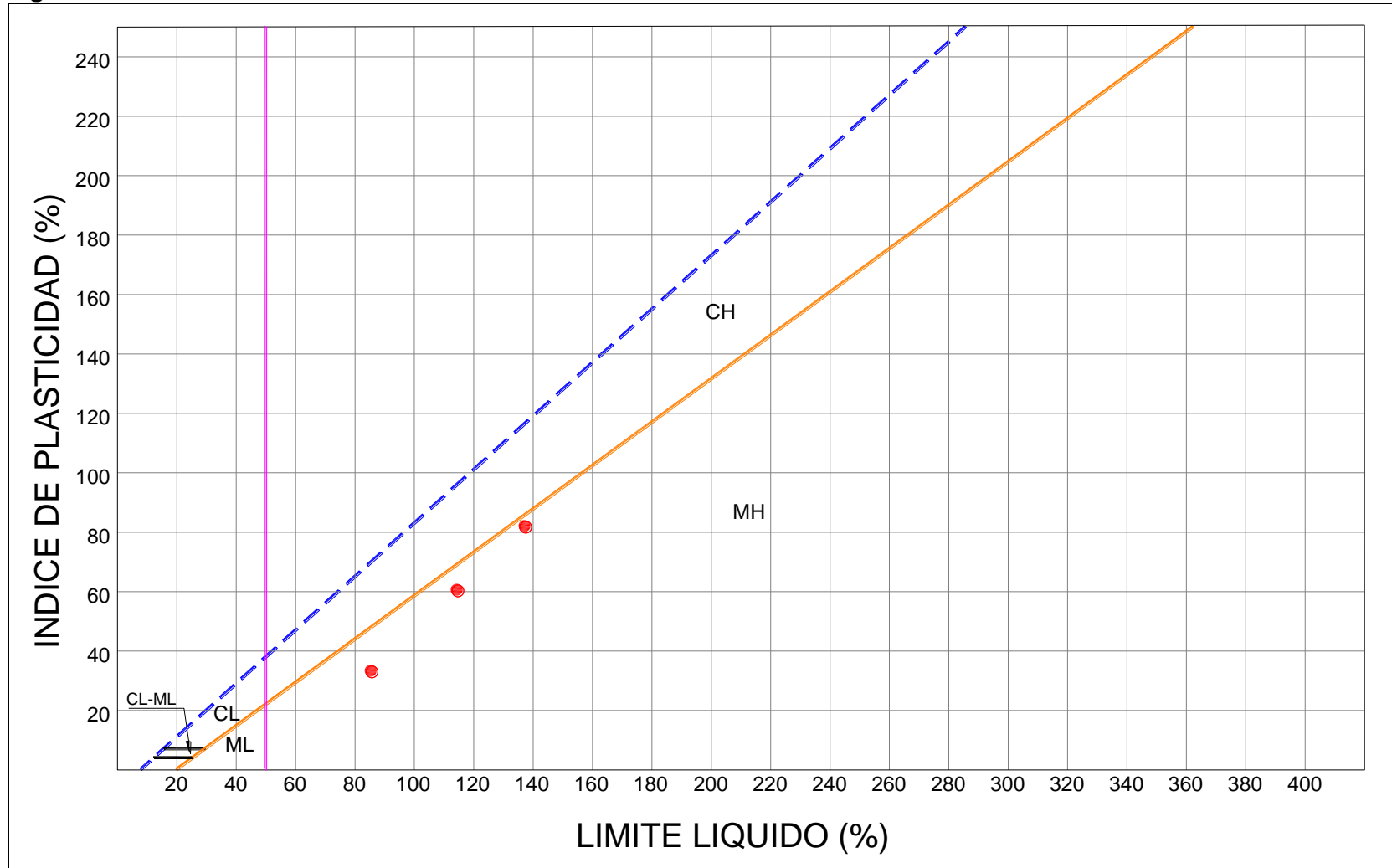
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arena Limosa	17.64	71.12		
Limo Arcilloso	16.44	34.09		

Figura 73 Variación de propiedades índice - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192



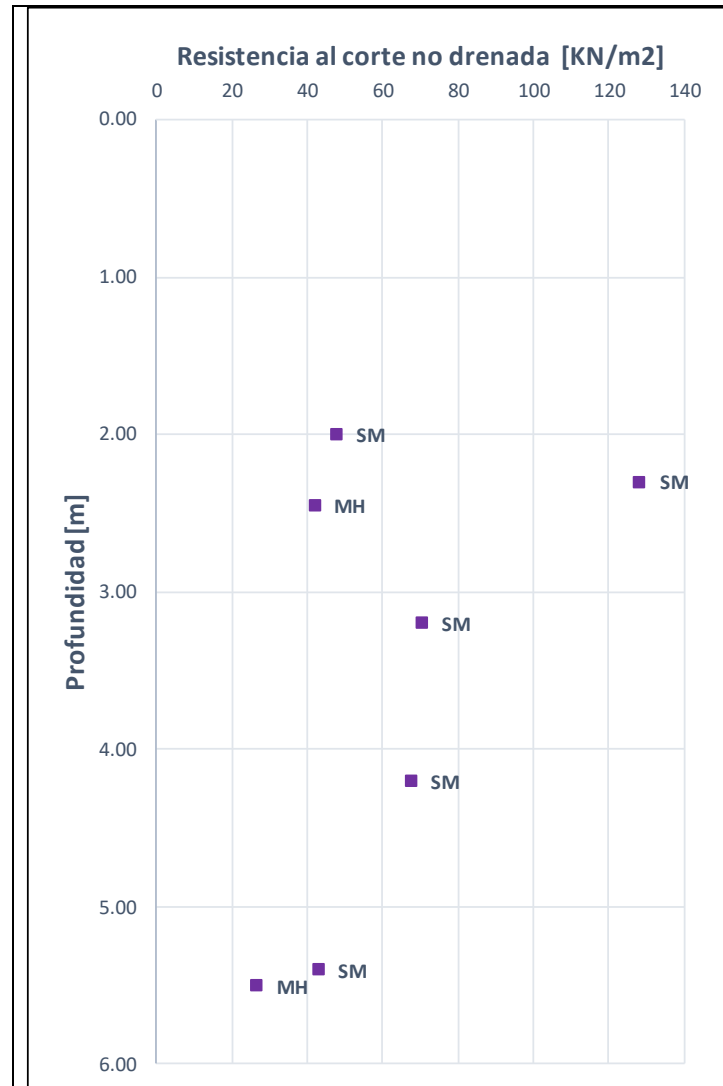
Fuente: WSP, 2019

Figura 74 Carta de Plasticidad - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192



Fuente: WSP, 2019

Figura 75 Variación de resistencia al corte - CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192



Fuente: WSP, 2019

9.3.13 CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200

De la Figura 76 a la Figura 78 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

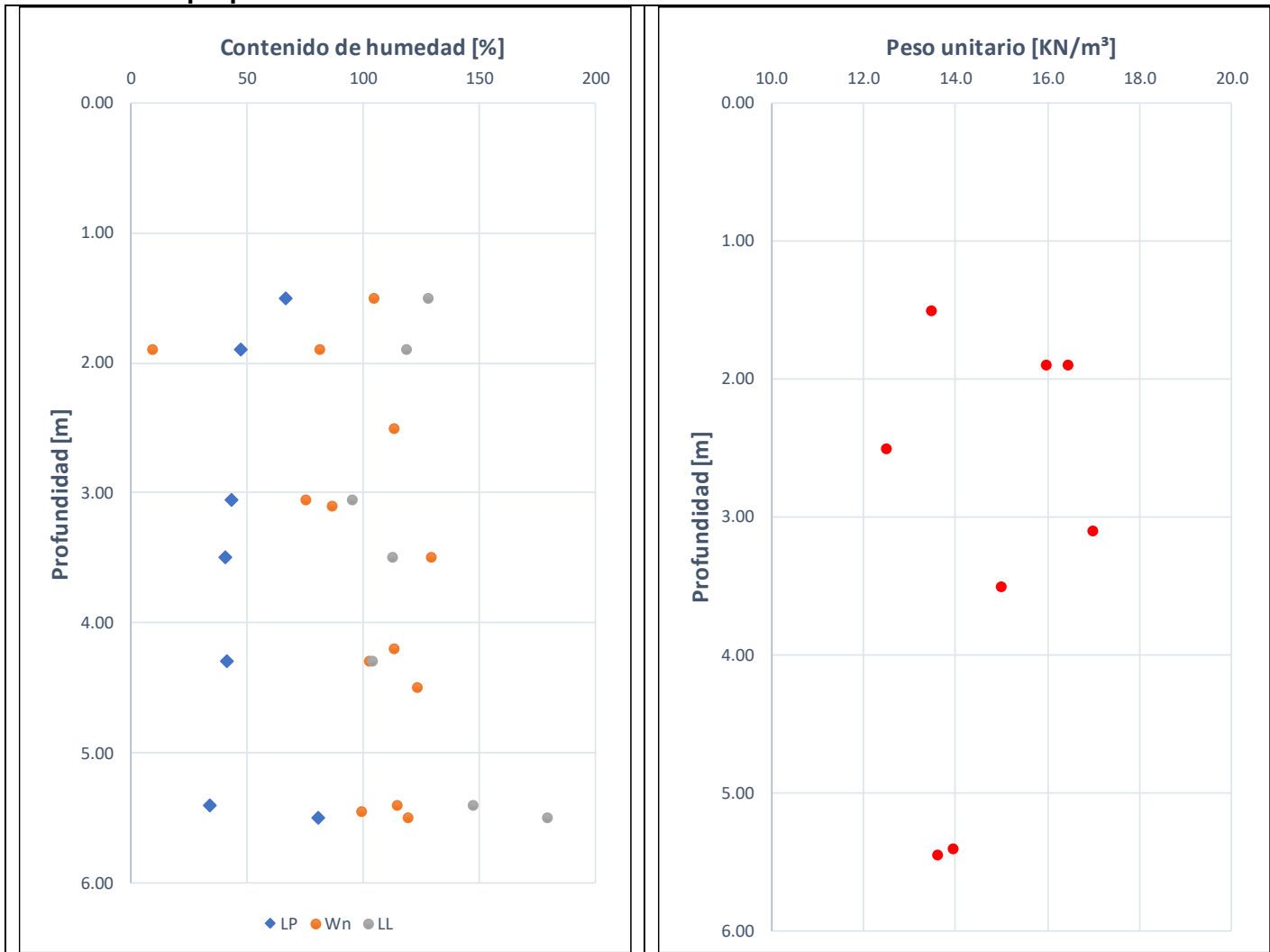
- Superficialmente y hasta una profundidad 3.0/4.8 m se encuentra una capa de limo arcilloso, de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no fue encontrado en el sondeo 62.
- Entre 0 y 6.0 m se encuentran arcillas limosas de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 19 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200

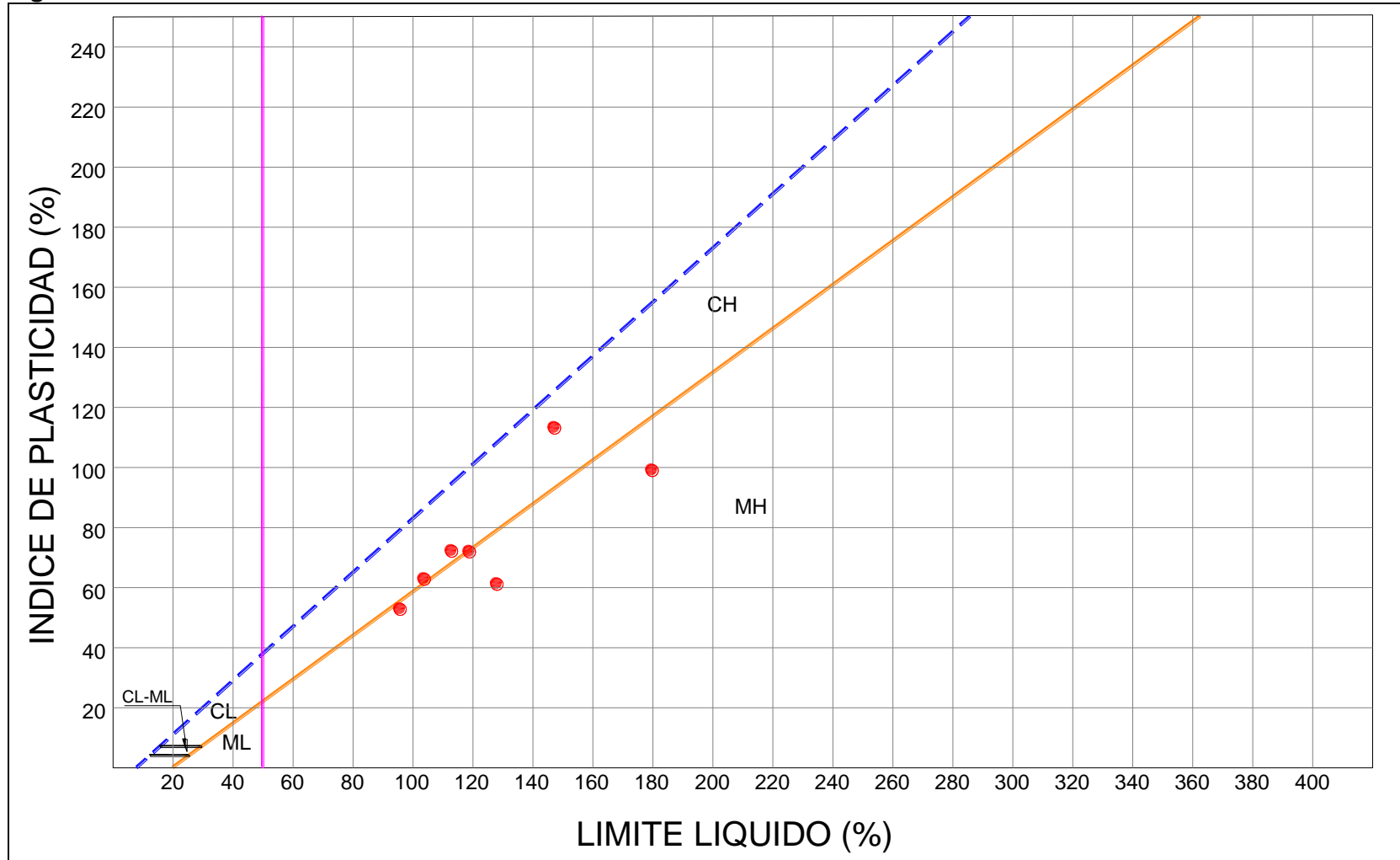
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.98	21.58	-	-
Arcillas limosas	15.19	16.97	-	-

Figura 76 Variación de propiedades índice - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



Fuente: WSP, 2019

Figura 77 Carta de Plasticidad - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



Fuente: WSP, 2019

Figura 78 Variación de resistencia al corte - CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



Fuente: WSP, 2019

9.3.14 AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200

De la Figura 79 a la Figura 81 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

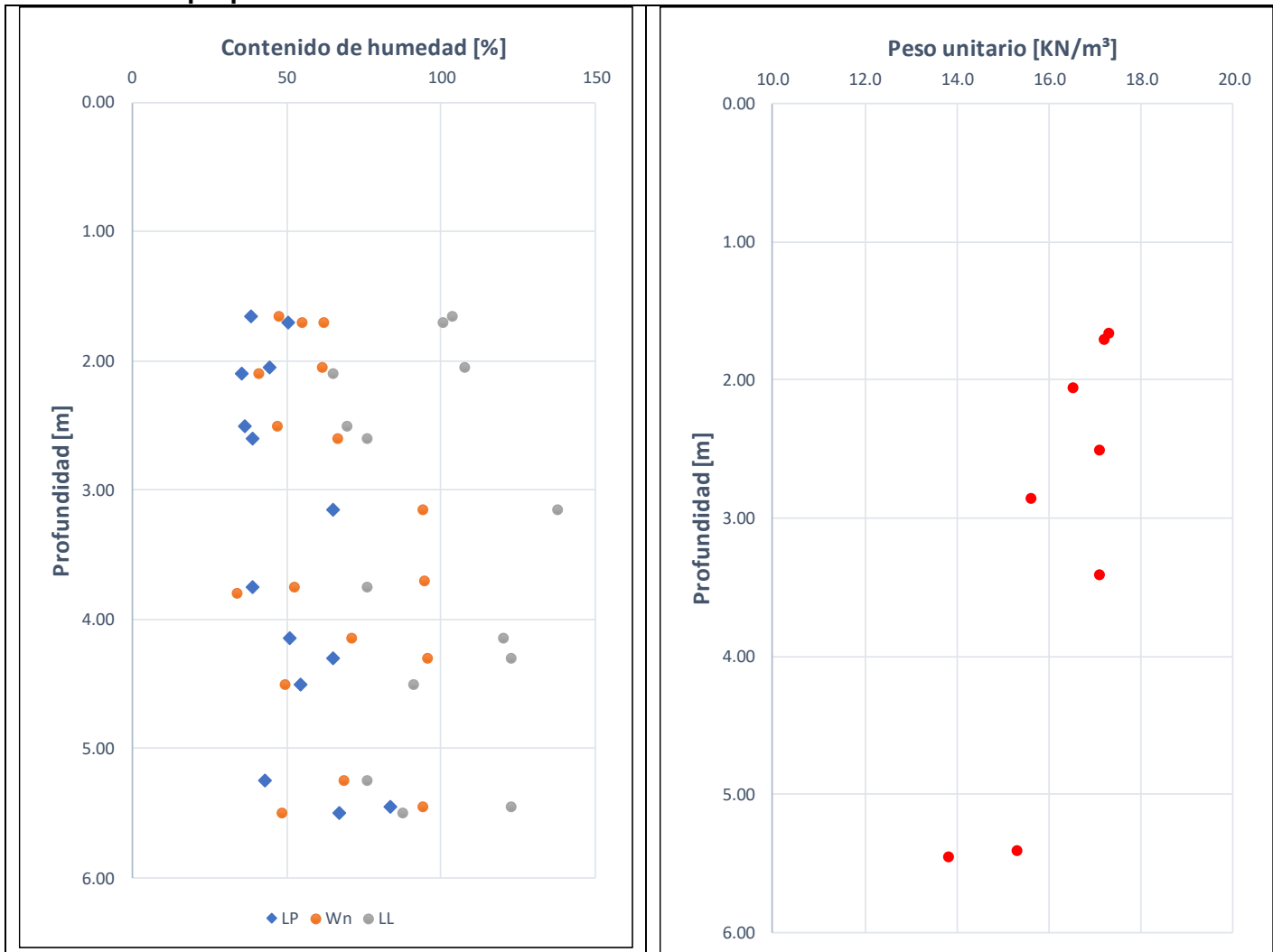
- En algunos sectores entre 0.0 y 3.5 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material no se encontró en los sondeos 44, 45 y 46.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 6 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia medio firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 20 Propiedades geotécnicas promedio - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200

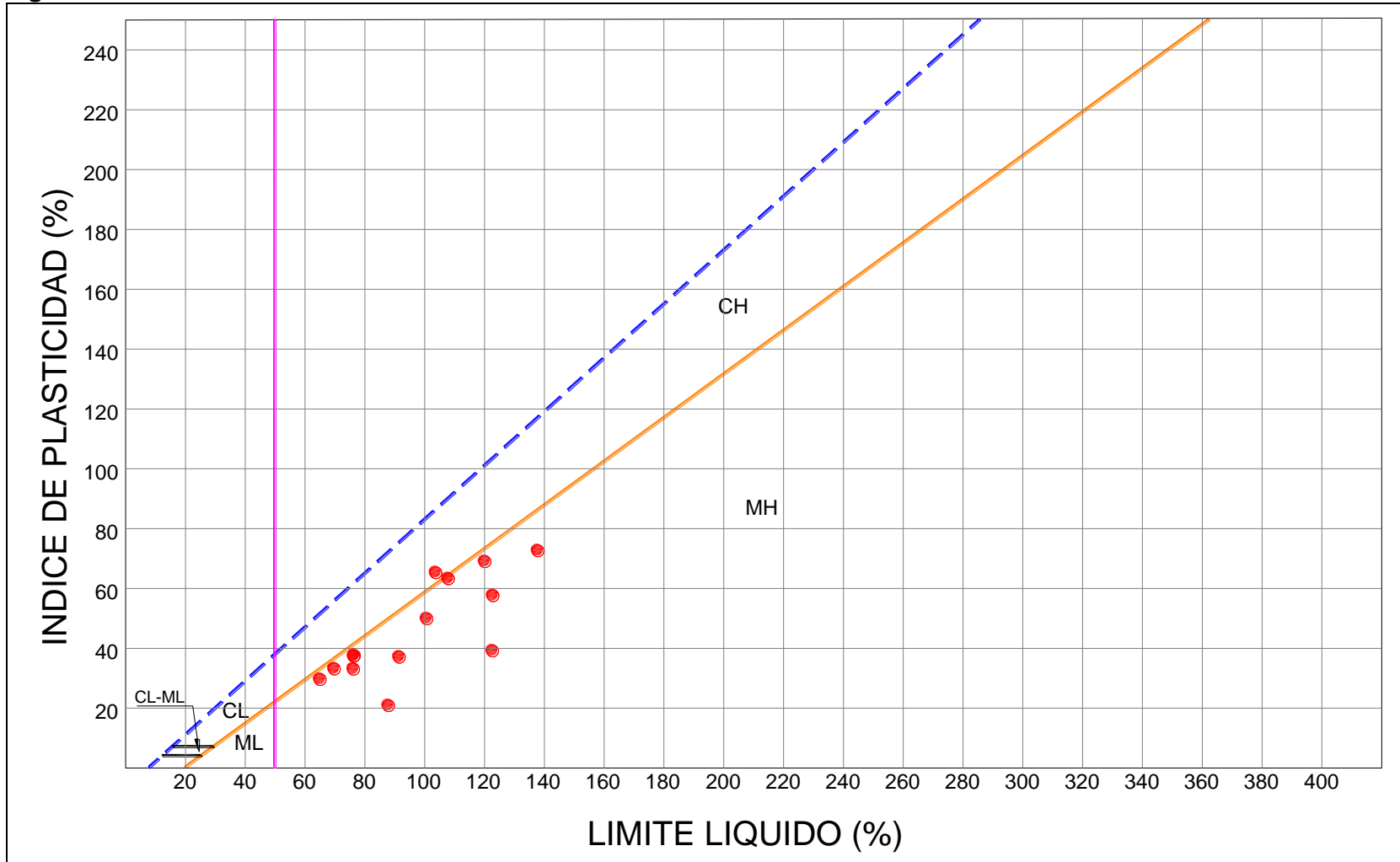
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla Limosa	16.67	42.18		
Limo Arcilloso	15.93	33.25		

Figura 79 Variación de propiedades índice - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



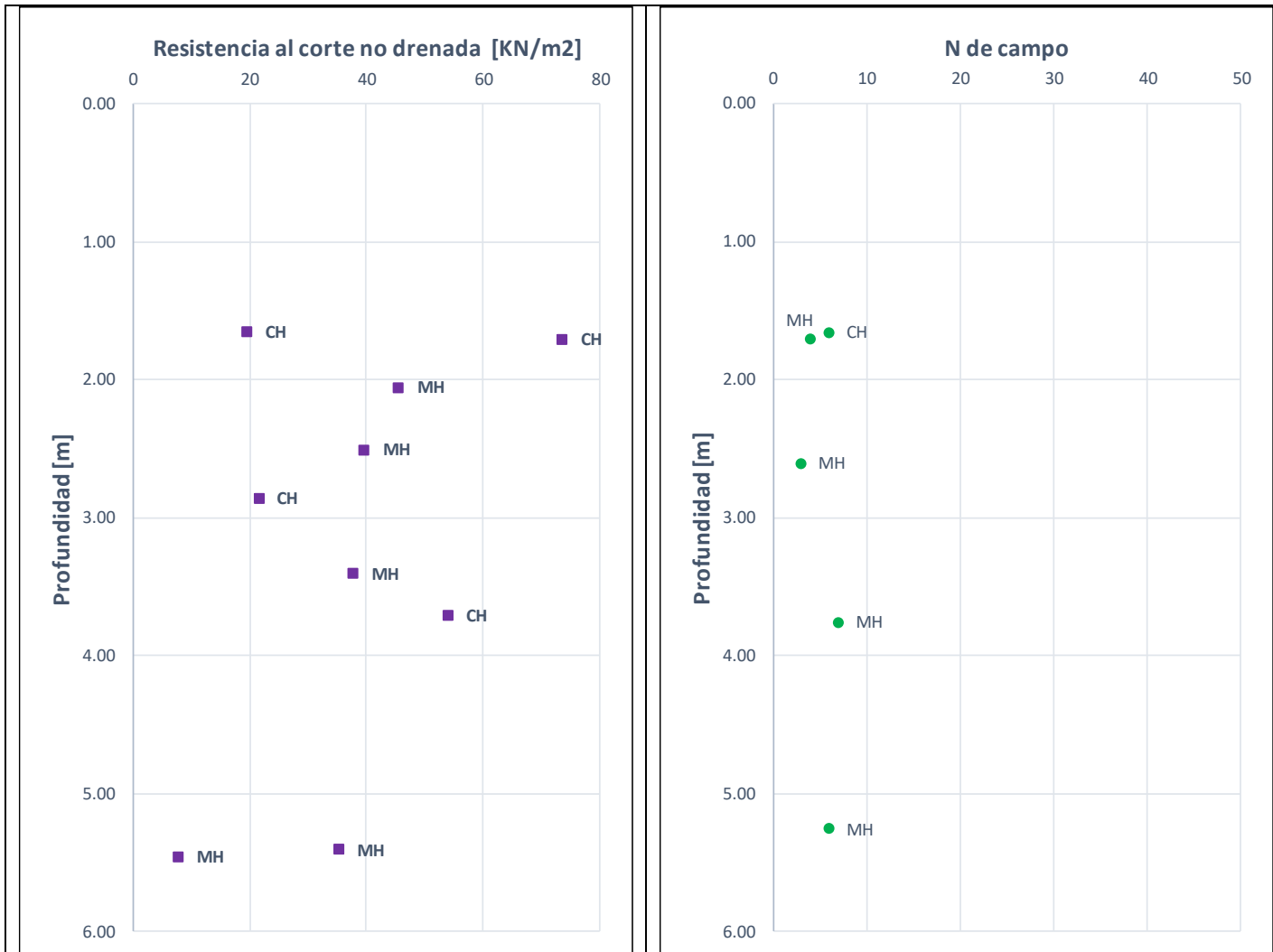
Fuente: WSP, 2019

Figura 80 Carta de Plasticidad - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



Fuente: WSP, 2019

Figura 81 Variación de resistencia al corte - AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200



Fuente: WSP, 2019

9.3.15 CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200

De la Figura 82 a la Figura 84 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

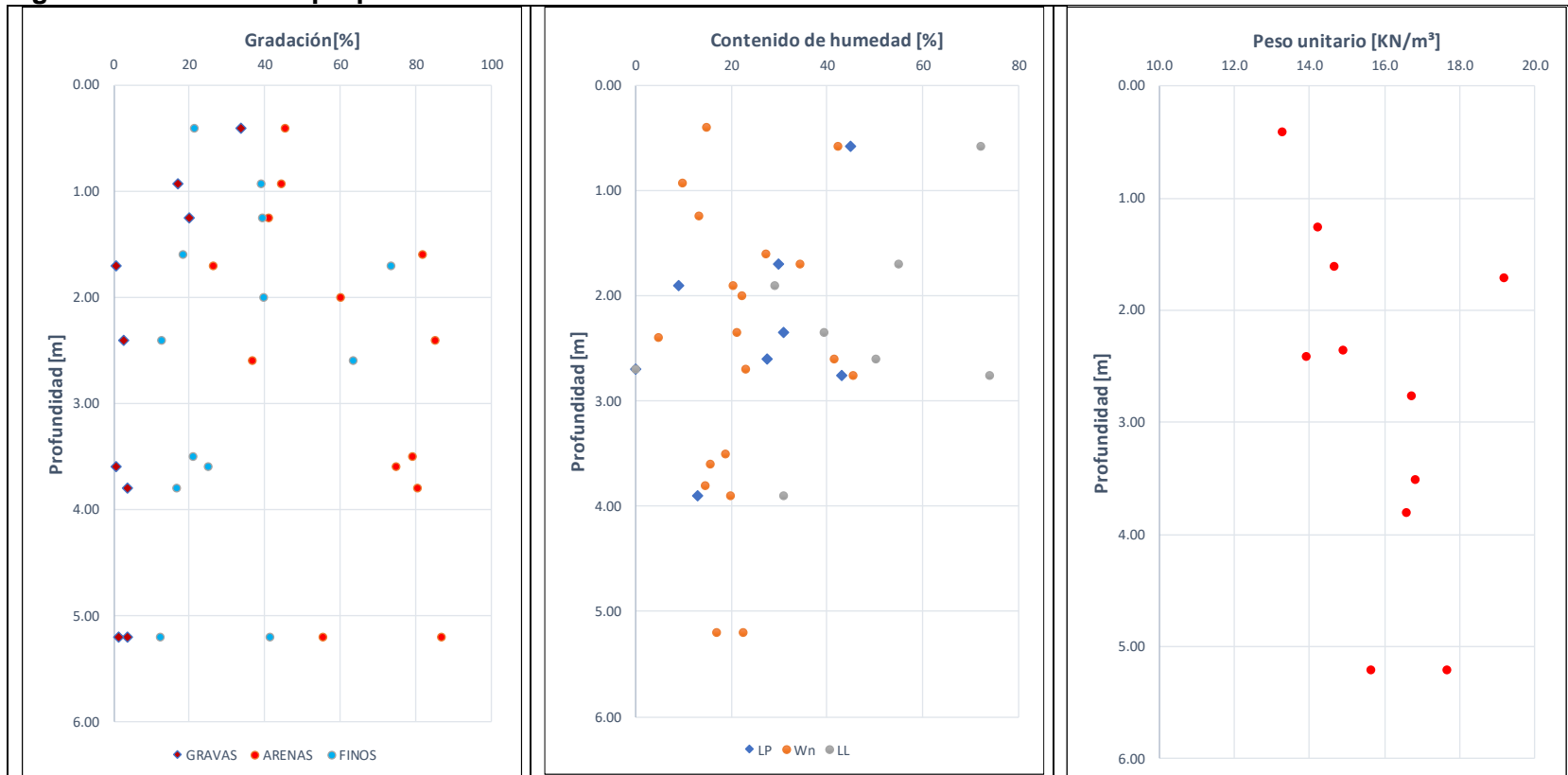
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.9/6 m se encuentran arenas limosas de humedad baja a muy baja y de compacidad firme. Este material no se encontró en el sondeo 23.
- Entre 3.7 y 6 m se encuentra arcilla de humedad media, plasticidad baja y consistencia blanda. Este material sólo fue encontrado en uno de los sondeos realizados en el tramo.
- En algunos sectores se encuentra entre 0.5 y 3.7 m limos arcillosos con algo de arena, de humedad media, plasticidad alta y consistencia medio firme. Este material no es encontrado en los sondeos 34 y 35.
- Entre 0 y 2.6 m se encuentra arena arcillosa de humedad muy baja. Este material sólo fue encontrado en el sondeo 35.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.1/ 3 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media, plasticidad alta y consistencia blanda. Este material no se encuentra en los sondeos 35, 34 y 24.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 21 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200

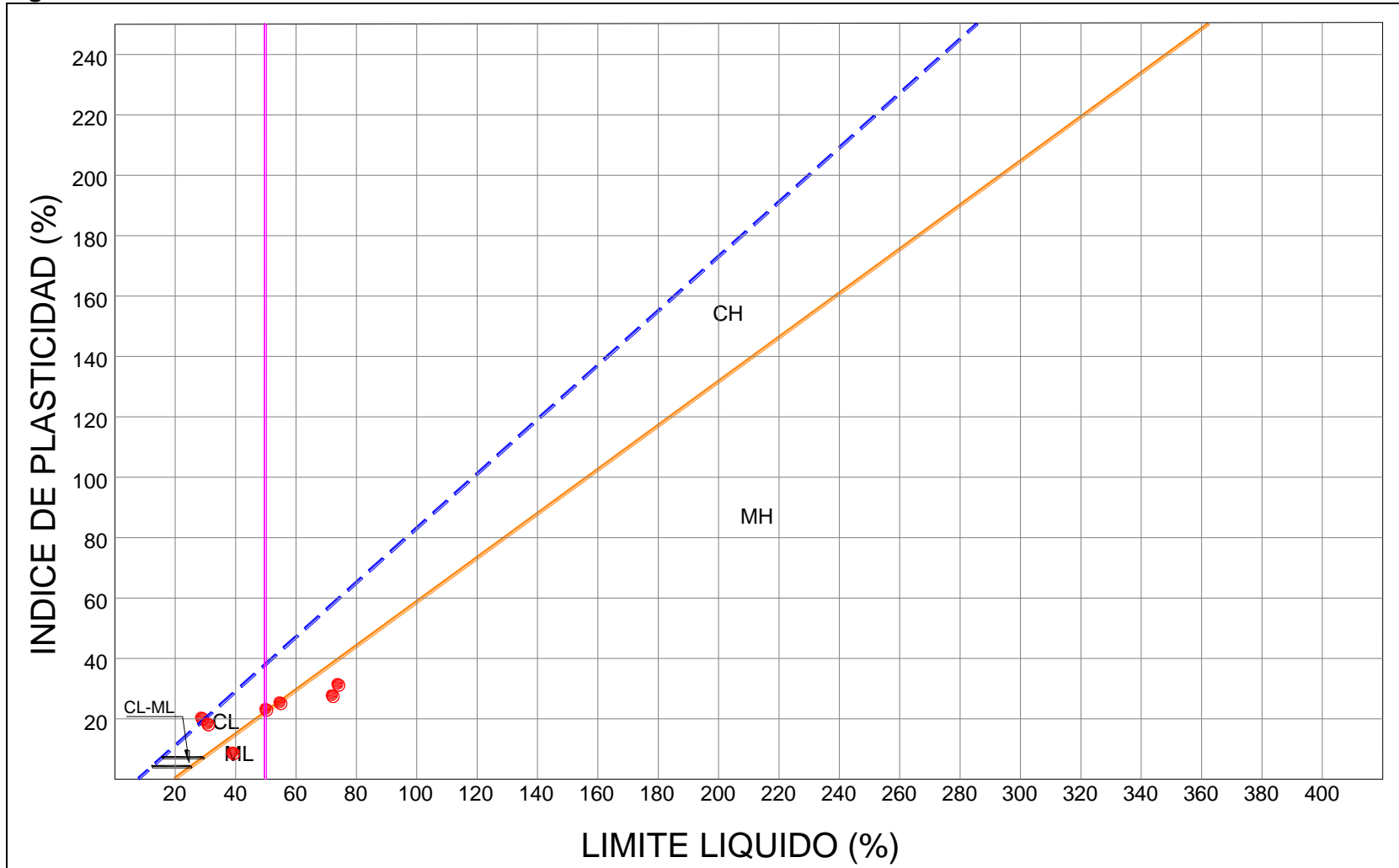
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arenas Limosas	15.77	26.73		
Arcillas	-	-	-	-
Limos arcillosos con algo de arena	16.92	67.44		
Arena arcillosa	14.06	20.85		
Arcilla limosa	-	-	-	-

Figura 82 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200



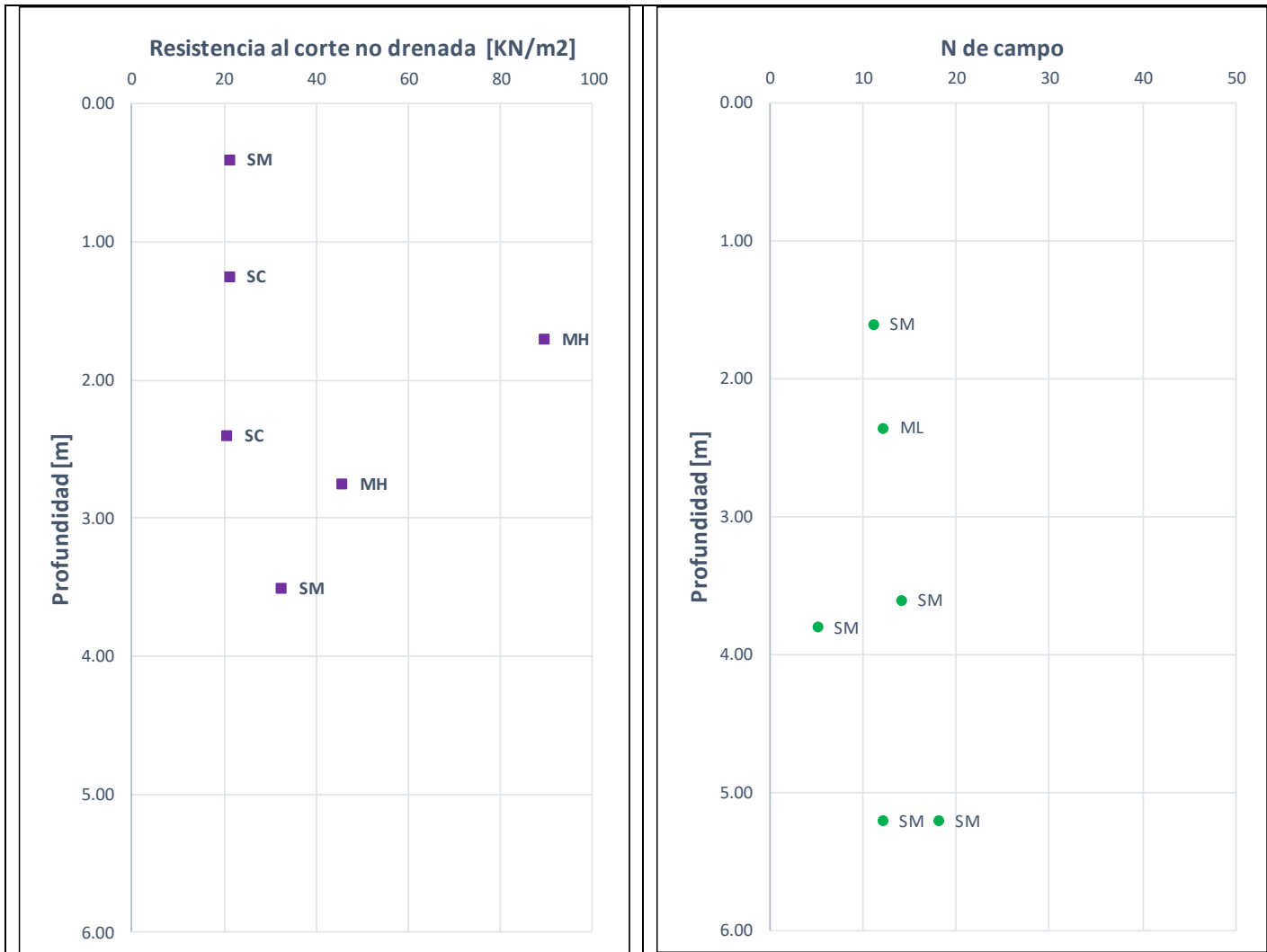
Fuente: WSP, 2019

Figura 83 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200



Fuente: WSP, 2019

Figura 84 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200



Fuente: WSP, 2019

9.3.16 CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11

De la Figura 85 a la Figura 87 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

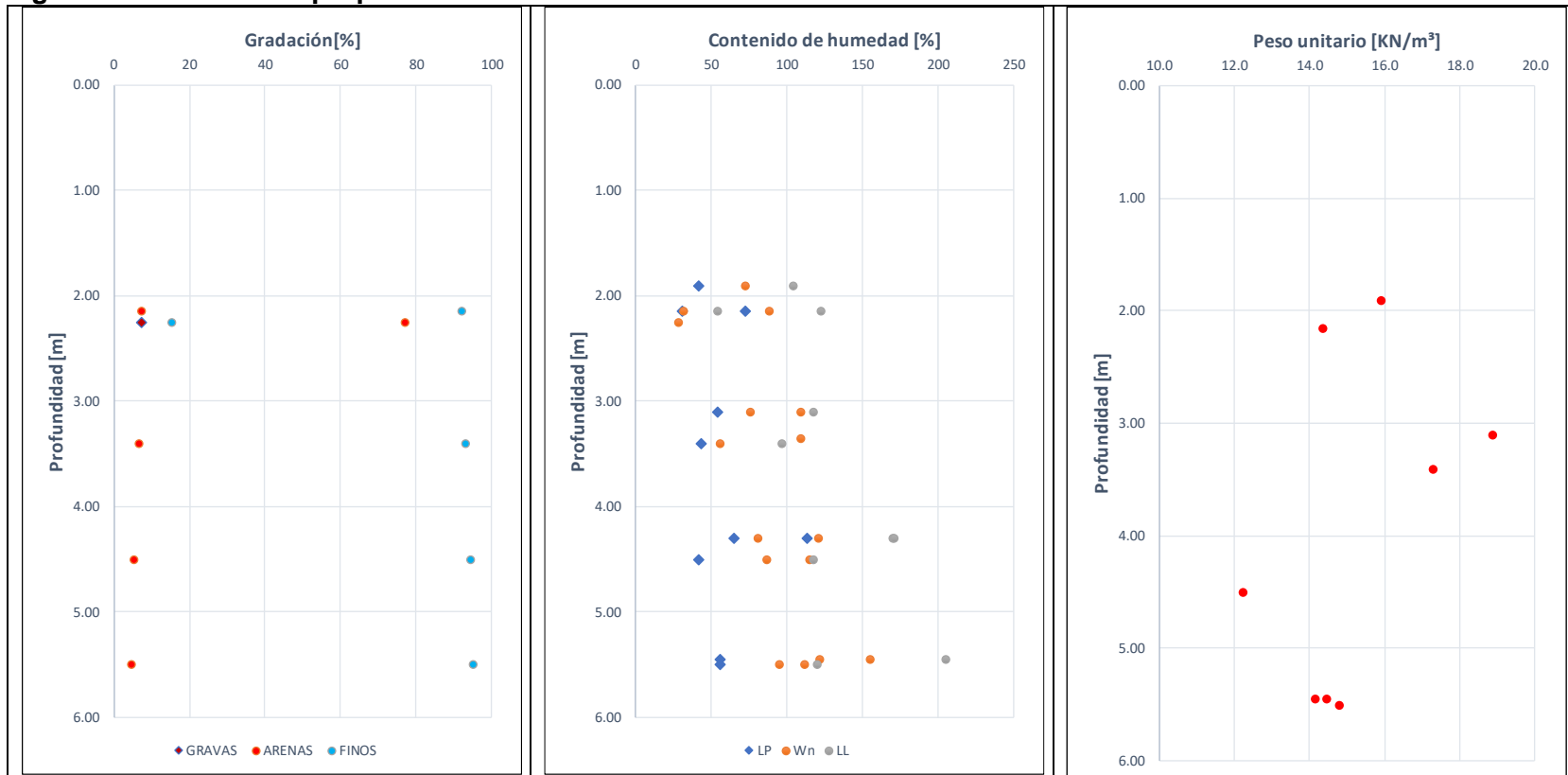
- Entre 0 y 2.8 m se encuentra una arena limosa de humedad baja.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 4/6 se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme
- Entre 0 y 6 metros se encuentra una arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme a firme. Este material no se encontró en el sondeo 55.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 22 Propiedades geotécnicas promedio - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11

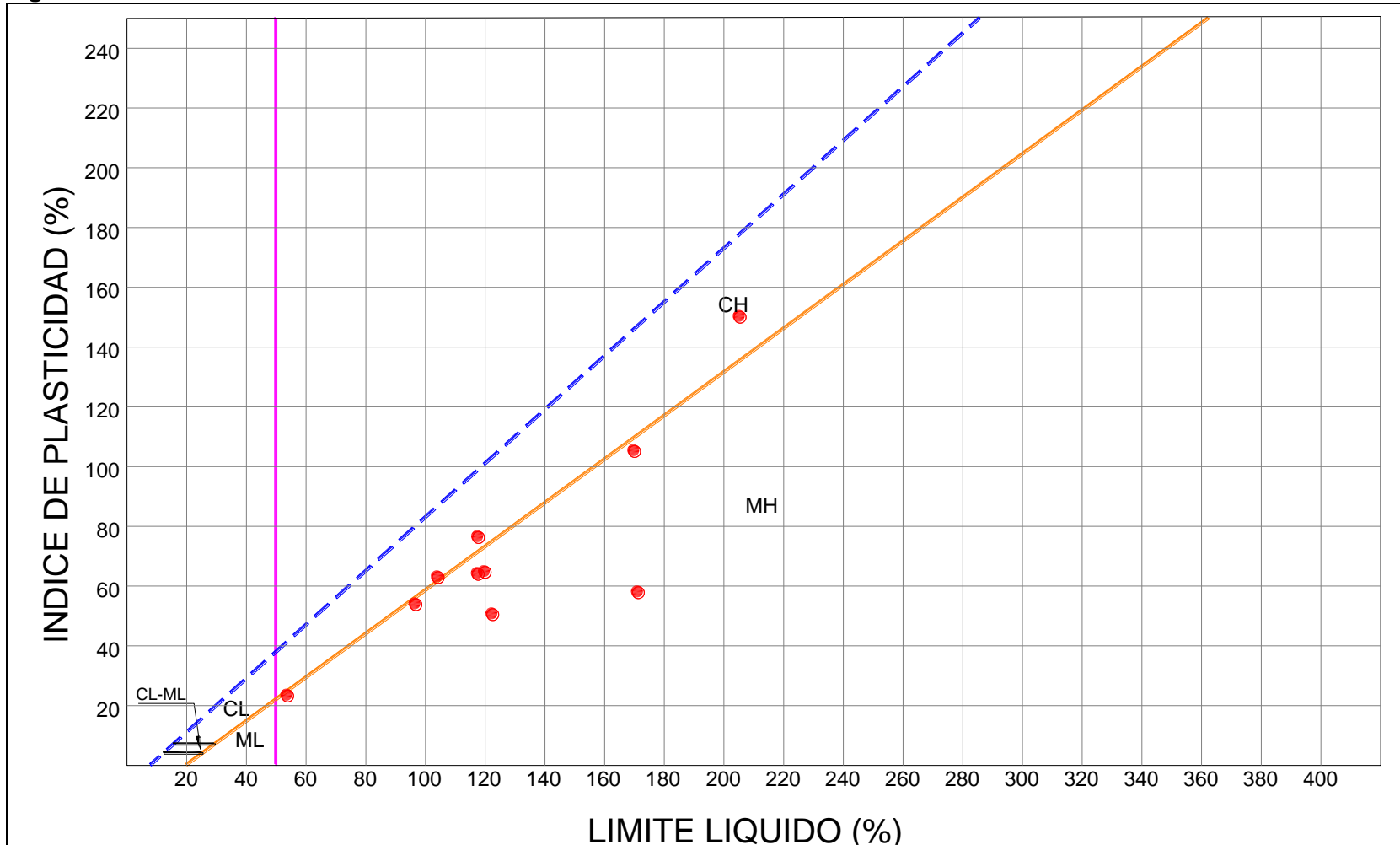
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arena Limosa	-	-	-	-
Limo Arcilloso	15.81	26.19		
Arcilla Limosa	14.30	34.01		

Figura 85 Variación de propiedades índice - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11



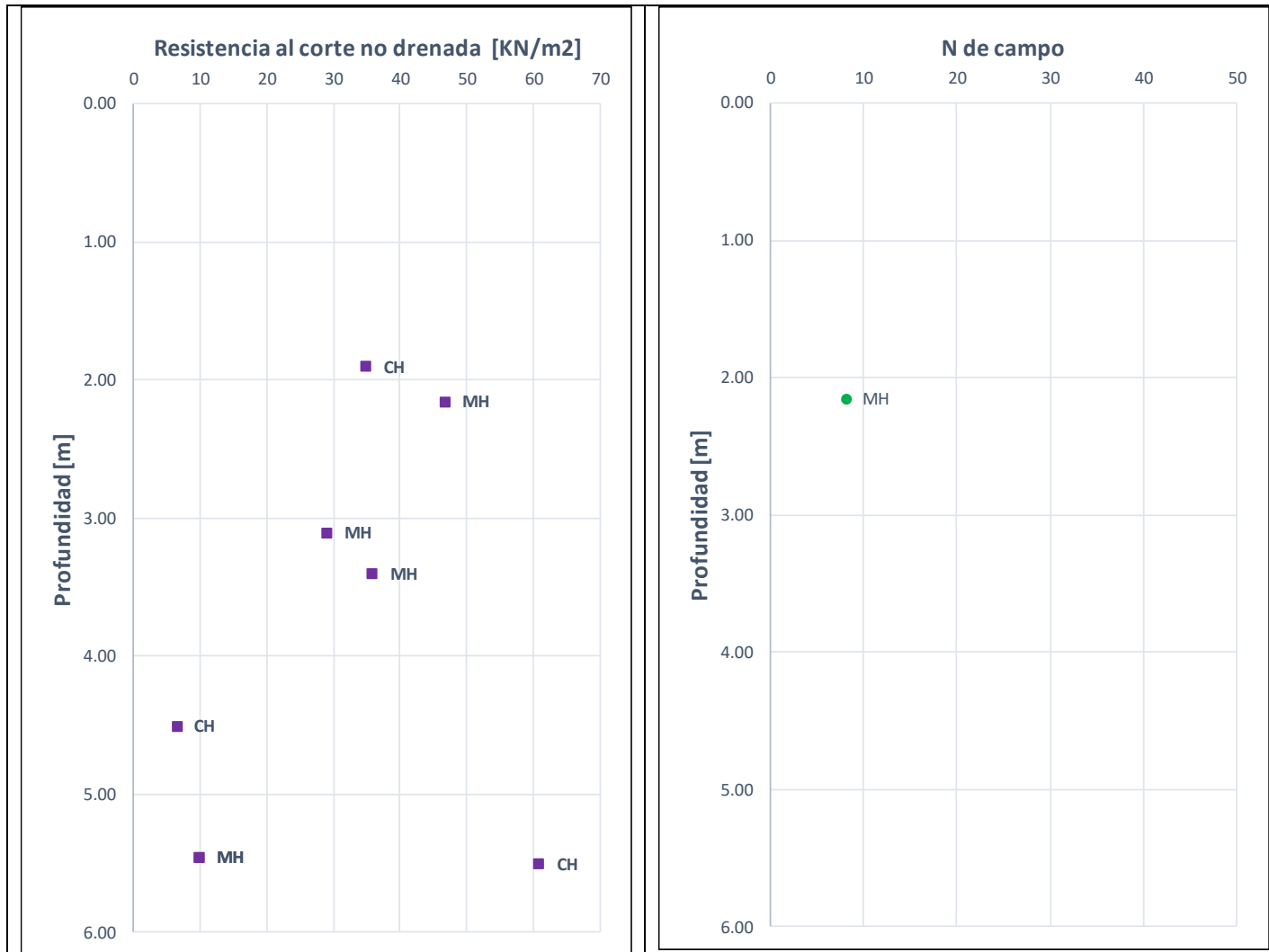
Fuente: WSP, 2019

Figura 86 Carta de Plasticidad - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11



Fuente: WSP, 2019

Figura 87 Variación de resistencia al corte - CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11



Fuente: WSP, 2019

9.3.17 CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1.

De la Figura 88 a la Figura 90 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

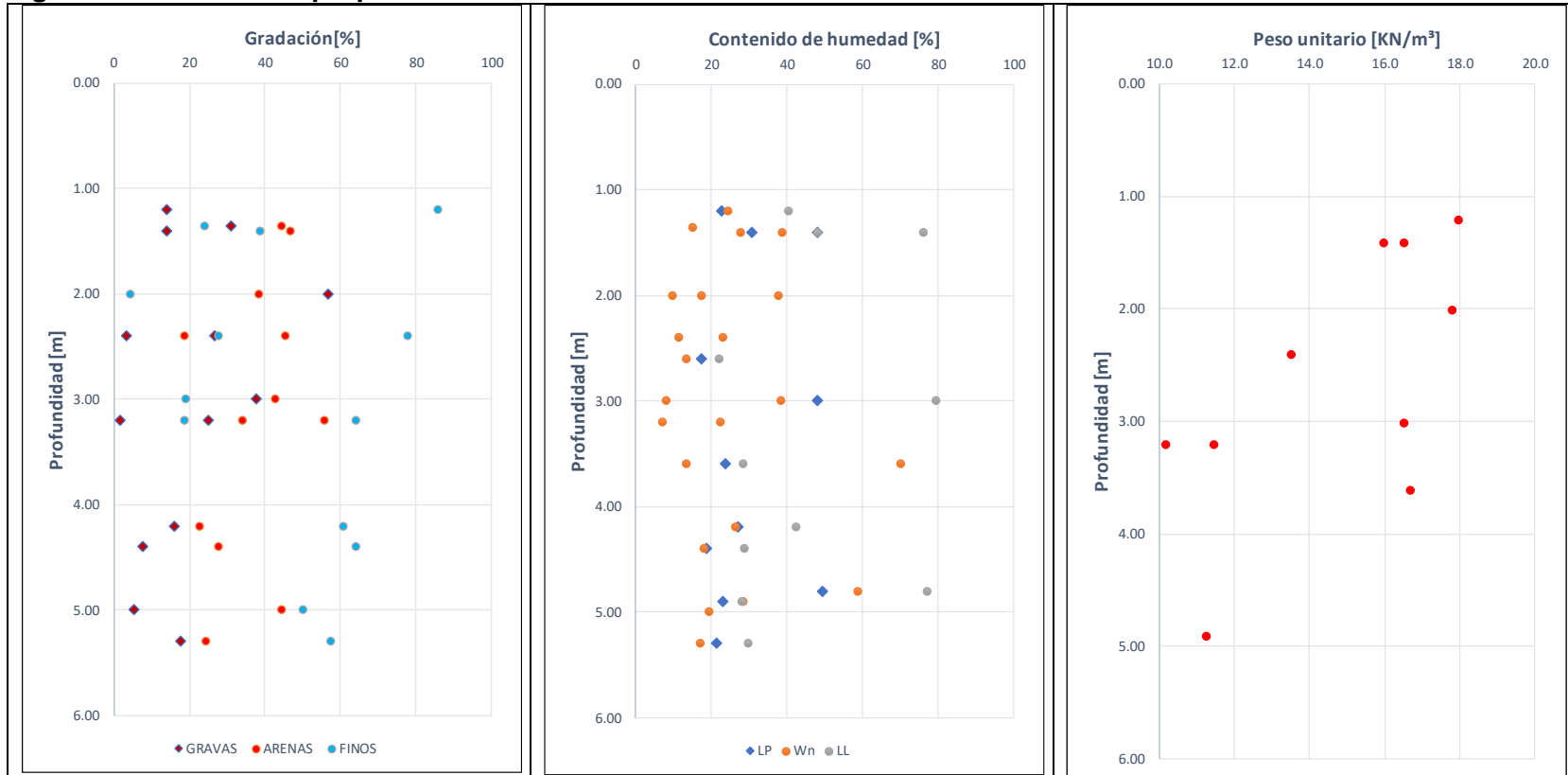
- Entre 0 y 5.1 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad baja a media, plasticidad alta y consistencia medio firme. Este material sólo fue encontrado en el sondeo 73.
- Entre 0 y 2.3 m se encontró una grava pobremente gradada de humedad muy baja y compacidad media. Este material sólo fue encontrado en el sondeo 74.
- Entre 0 y 6.1 m se encuentra arcilla limosa de humedad baja, plasticidad media y consistencia firme. Este material solo fue encontrado en los sondeos 76 y 77.
- Entre 0 y 3.5 m se encuentra arena limosa de humedad muy baja y compacidad suelta. Este material no se encontró en los sondeos 76 y 73.
- En algunos sectores se encontró entre 2.7 y 5.3 m un limo arcilloso con algo de arena de humedad baja, plasticidad baja y consistencia medio firme. Este material sólo fue encontrado en ellos sondeos 76 y 77.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.1/3.3 m se encontró una arena arcillosa de humedad muy baja y compacidad suelta. Este material solo fue encontrado en el sondeo 75.

A continuación se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 23 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1

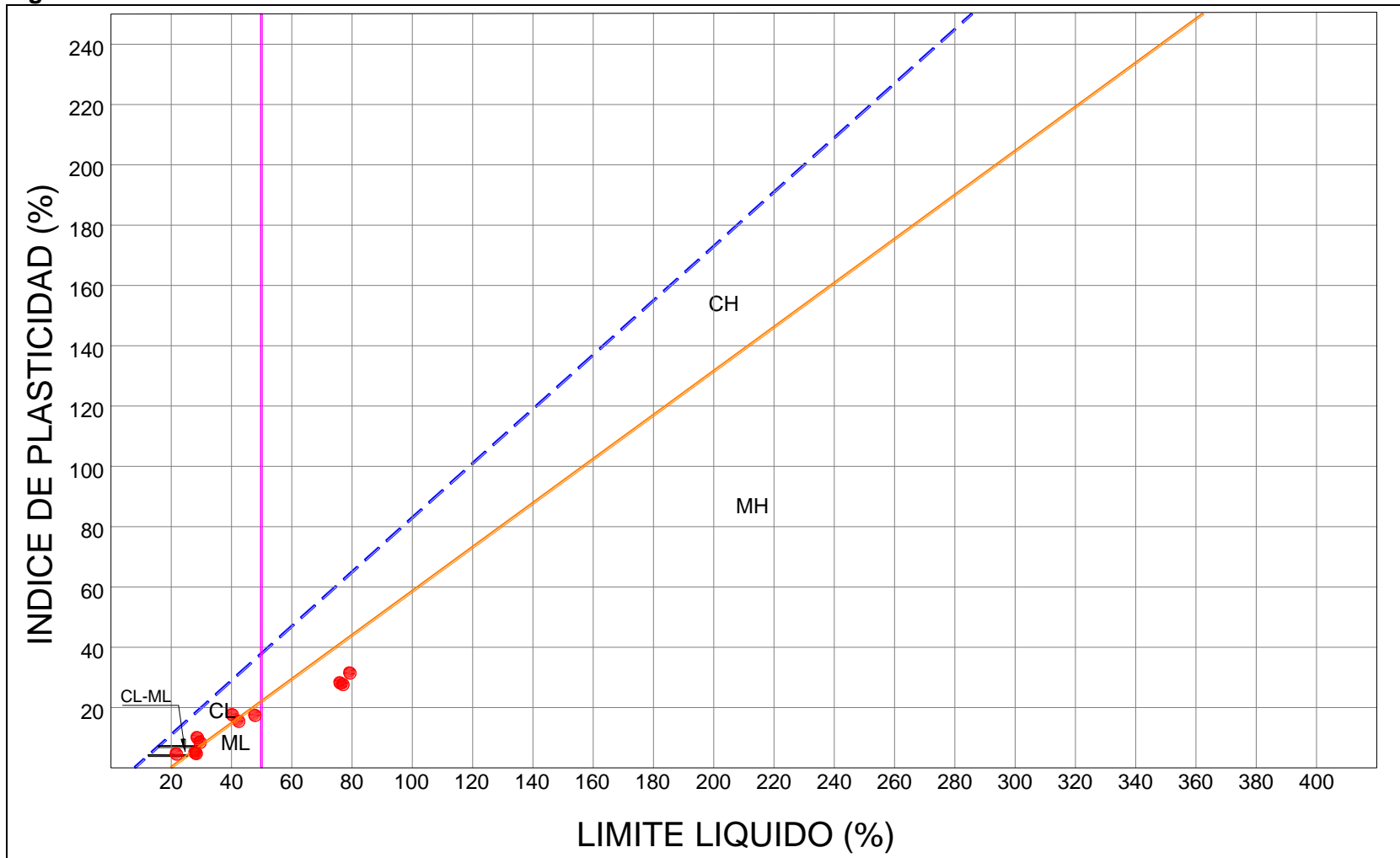
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, ϕ' [°]	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.23	64.75		
Grava pobremente gradada	17.77	69.65		
Arcilla limosa	14.69	72.59		
Arena limosa	14.73	57.39		
Arena arcillosa	-	-	-	-

Figura 88 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1.



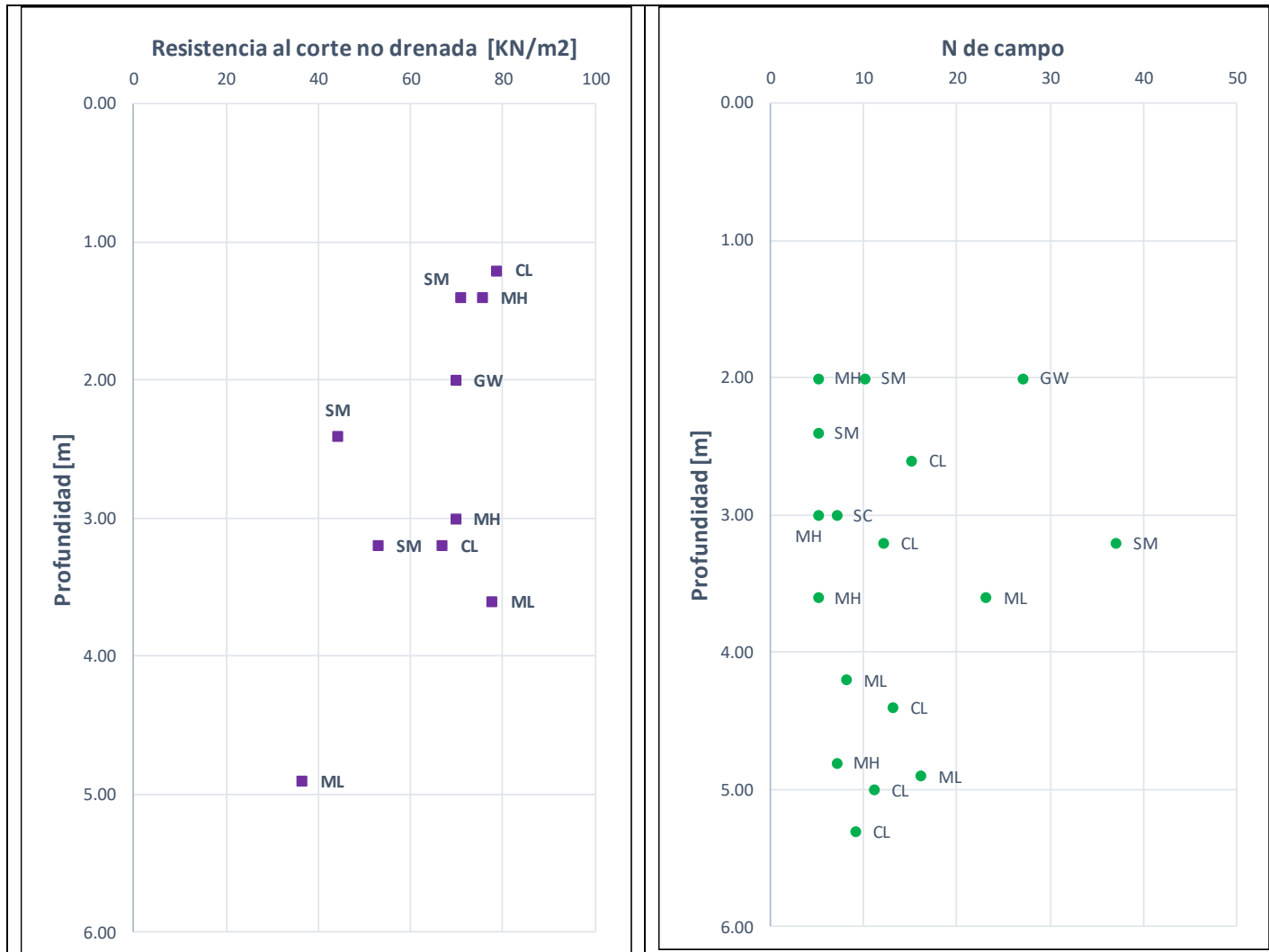
Fuente: WSP, 2019

Figura 89 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 90 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1.



Fuente: WSP, 2019

9.3.18 CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.

De la Figura 91 a la Figura 93 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

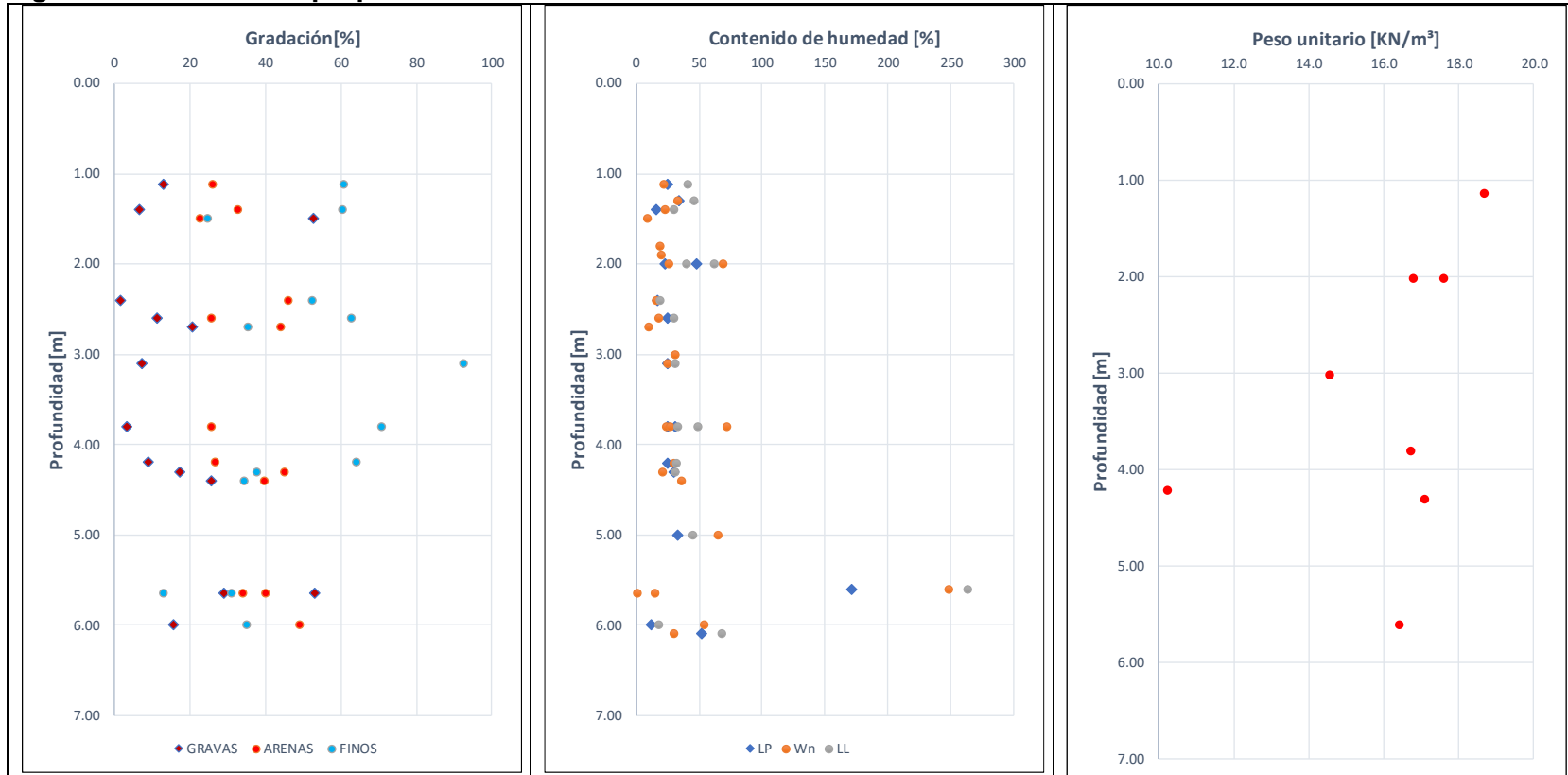
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.7/4.1 m se encuentra una arcilla limosa con algo de arena, de humedad media, plasticidad media y consistencia firme a muy firme. Este material no se encontró en los sondeos 99 y 102.
- Entre 0 y 6.4 m se encuentra un limo de humedad baja a media, plasticidad media y consistencia firme. Este material no se encontró en los sondeos 99 y 102.
- Entre 0 y 5.9 m se encuentra una capa de limo de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material solo fue encontrado en el sondeo 102.
- En algunos sectores entre 1.8 y 4.7 m se encuentra una arena limosa de humedad baja, plasticidad baja y consistencia muy firme. Este material fue encontrado en los sondeos 100, 99 y 98.
- En el sondeo 99 se encuentra superficialmente una grava limosa de humedad muy baja y compacidad muy densa.
- Entre 4.5 y 6.2 se encuentra una grava arcillosa de humedad muy baja y compacidad media. Este material solo fue encontrado en el sondeo 78.
- En algunos sectores entre 4.1 y 6.3 se encuentra una arena arcillosa de humedad media y compacidad densa. Este material fue encontrado en el sondeo 98 y 101.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 24 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2

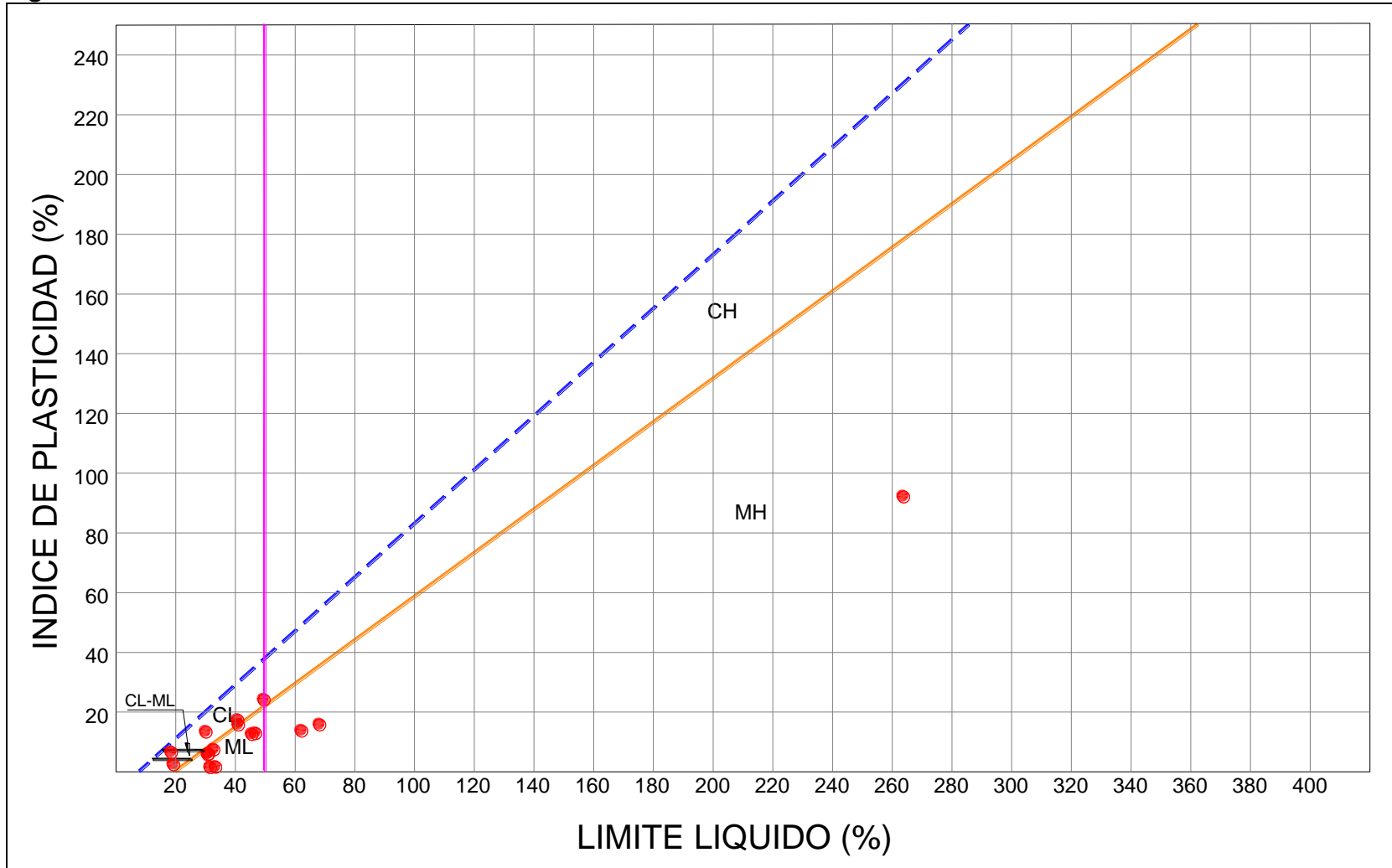
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, ϕ' [°]	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla limosa con algo de arena	16.52	66.46		
Limo plasticidad baja	10.20	60.82		
Limo plasticidad alta	16.97	75.05		
Arena Limosa	17.05	55.9		
Grava Limosa	-	-	-	-
Arena arcillosa	-	-	-	-

Figura 91 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.



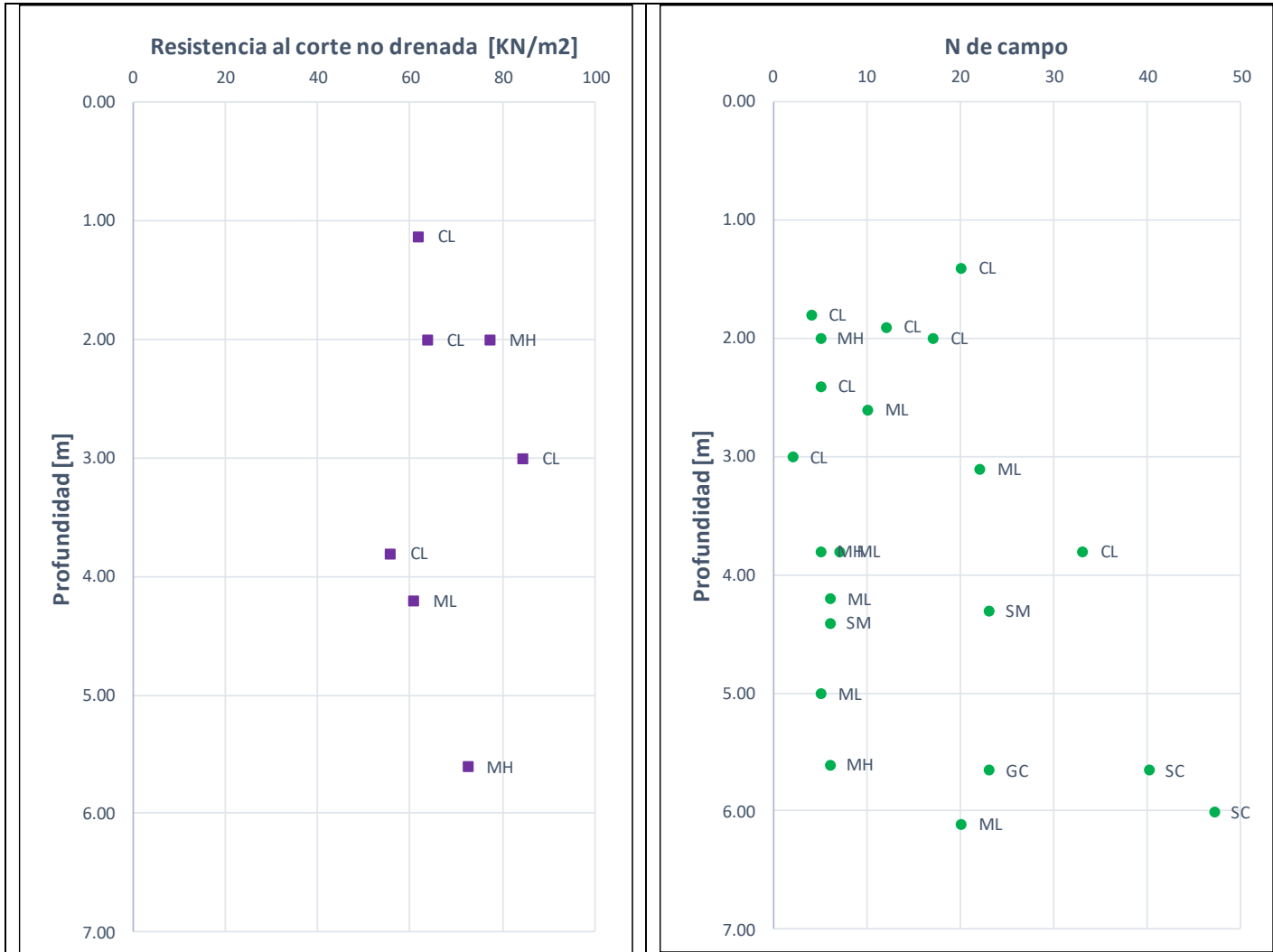
Fuente: WSP, 2019

Figura 92 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 93 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2.



Fuente: WSP, 2019

9.3.19 AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.

De la Figura 94 a la Figura 96 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

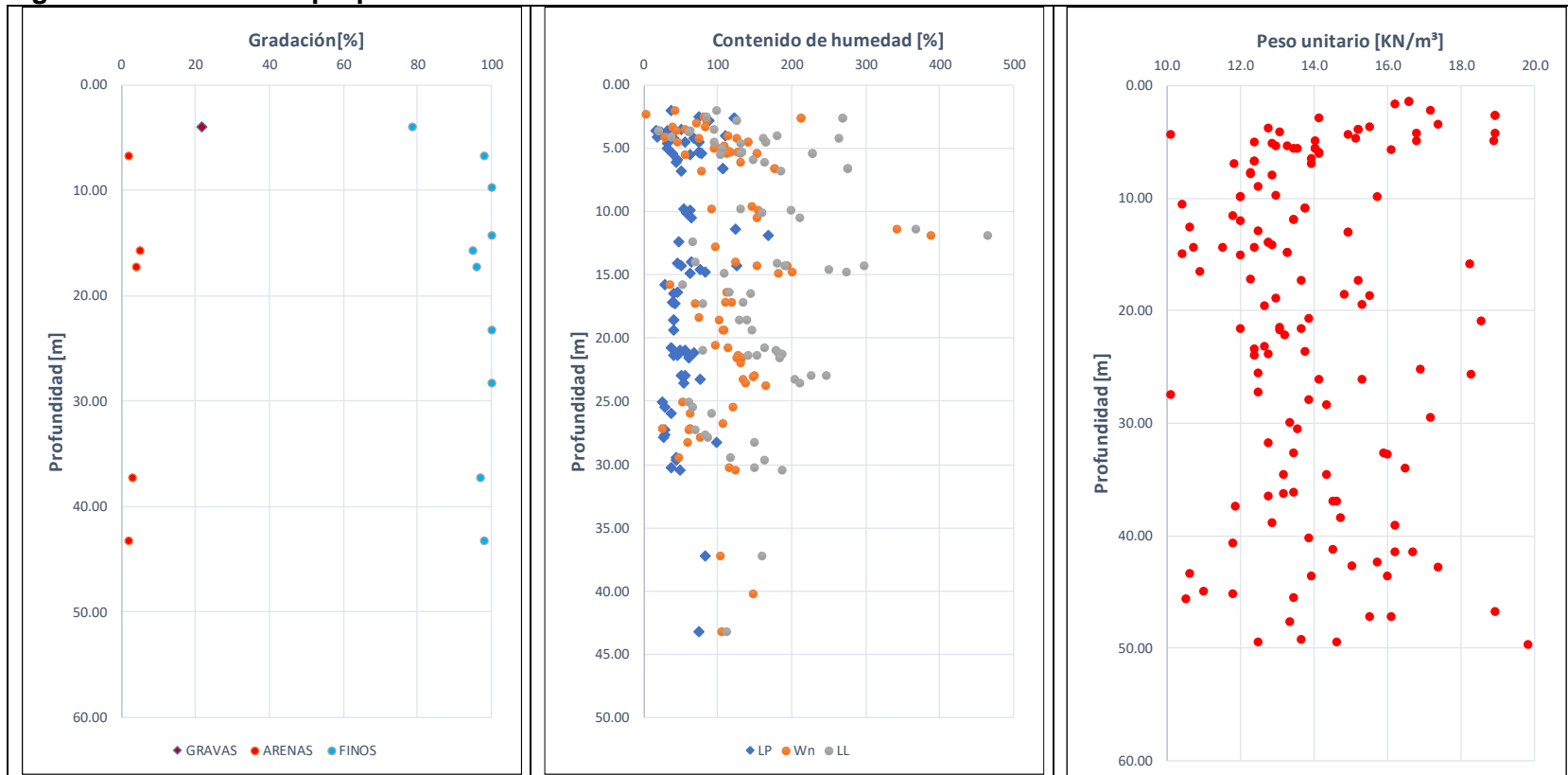
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.5/13 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme
- Entre 0 y 6.0 m, y hasta profundidades >13 m se encuentra un limo arcilloso con algo de arena, de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 25 Propiedades geotécnicas promedio - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.

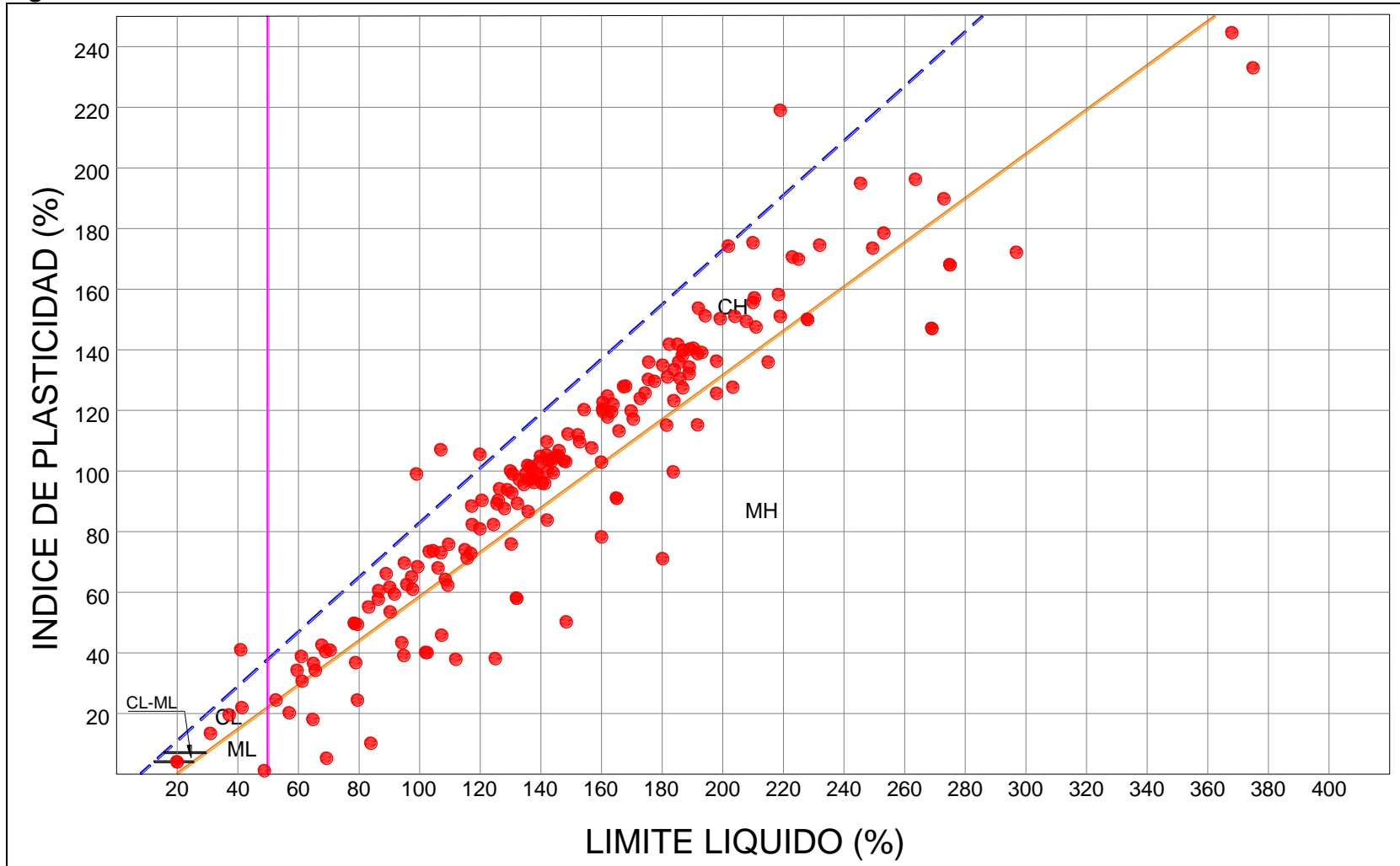
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla Limosa	14.18	30.64		49.45
Limo Arcilloso	13.64	26.4		

Figura 94 Variación de propiedades índice - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.



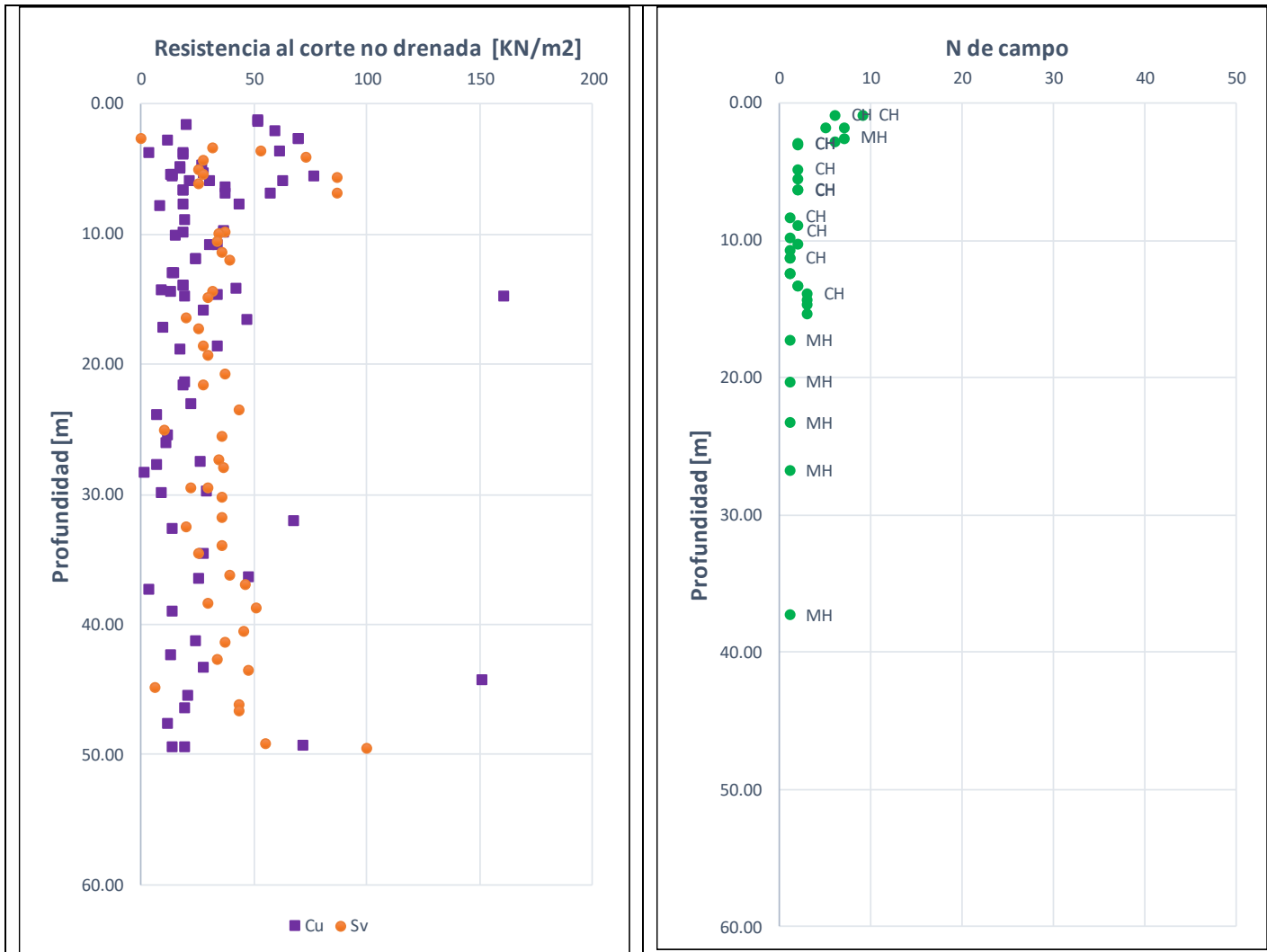
Fuente: WSP, 2019

Figura 95 Carta de Plasticidad - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS



Fuente: WSP, 2019

Figura 96 Variación de resistencia al corte - AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS.



Fuente: WSP, 2019

9.3.20 AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.

De la Figura 97 a la Figura 99 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

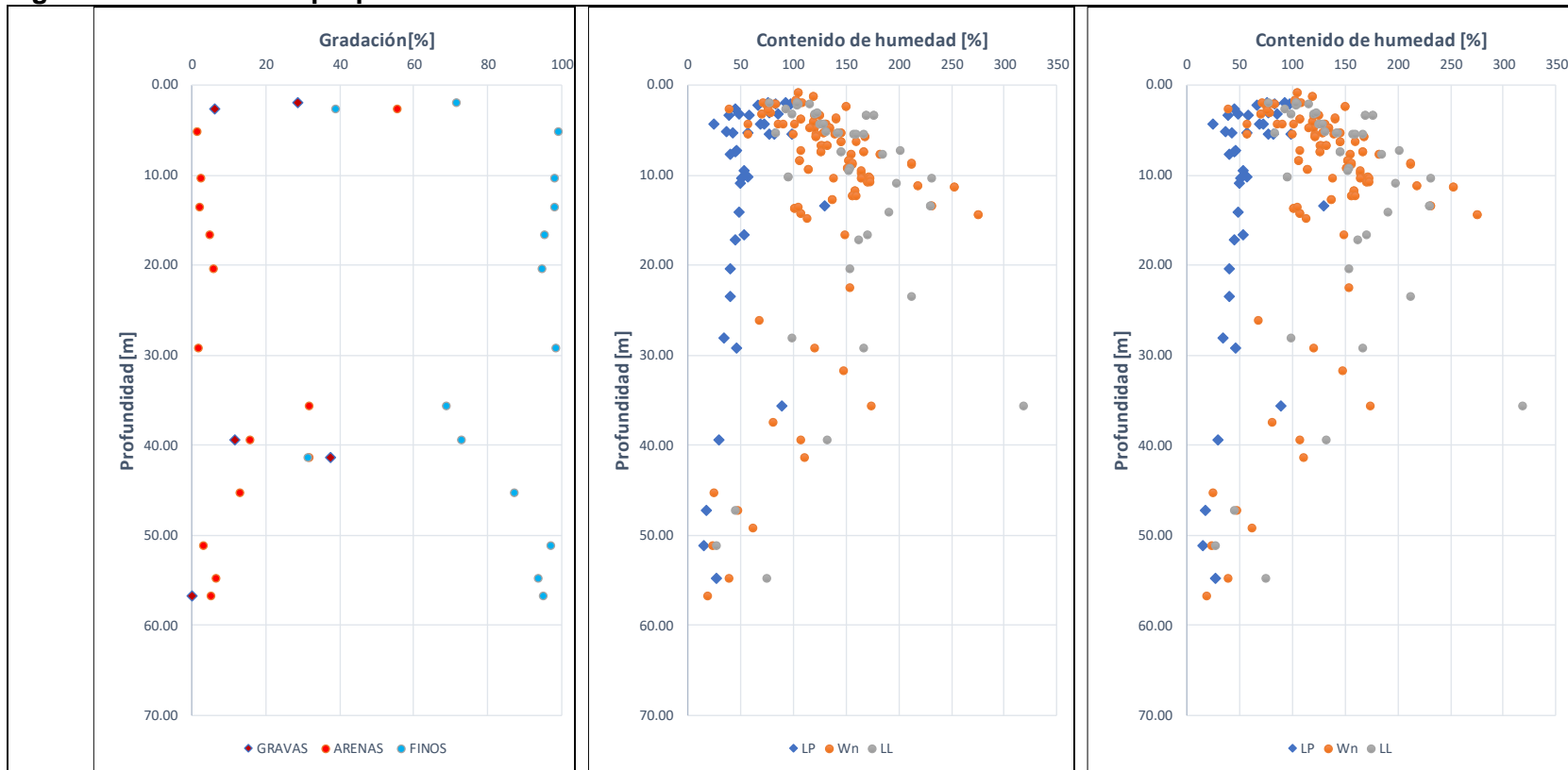
- Entre 0 y 6 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme. Este material no se encontró en el sondeo 84.
- Entre 2.5 y 6 se encuentra una arcilla limosa de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme. Este material sólo se encontró en el sondeo 84.
- En el sondeo 84 superficialmente se encuentra una capa de materia orgánica de humedad alta.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 26 Propiedades geotécnicas promedio - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA

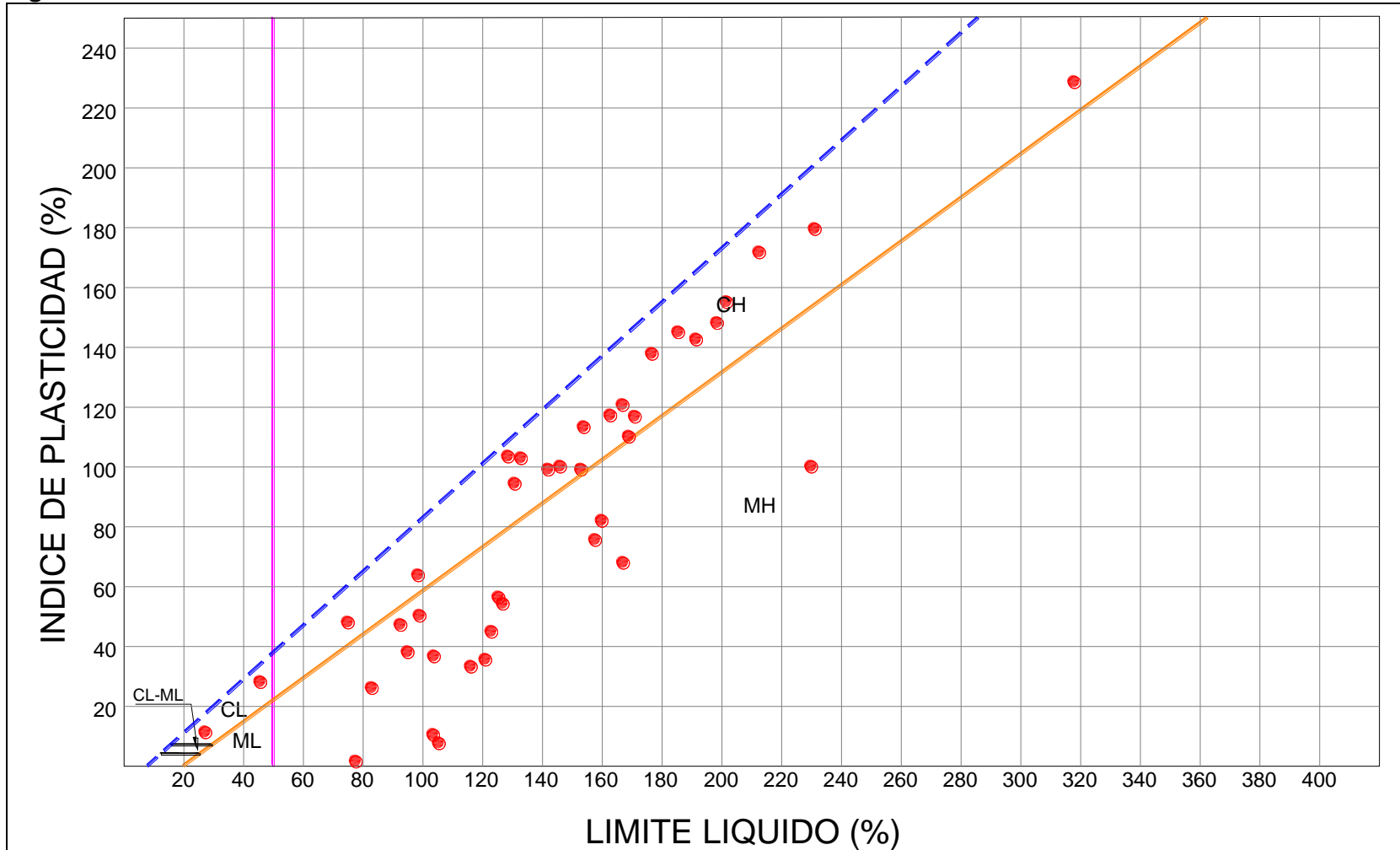
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.13	20.91		
Arcillas limosas	12.79	13.89		

Figura 97 Variación de propiedades índice - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.



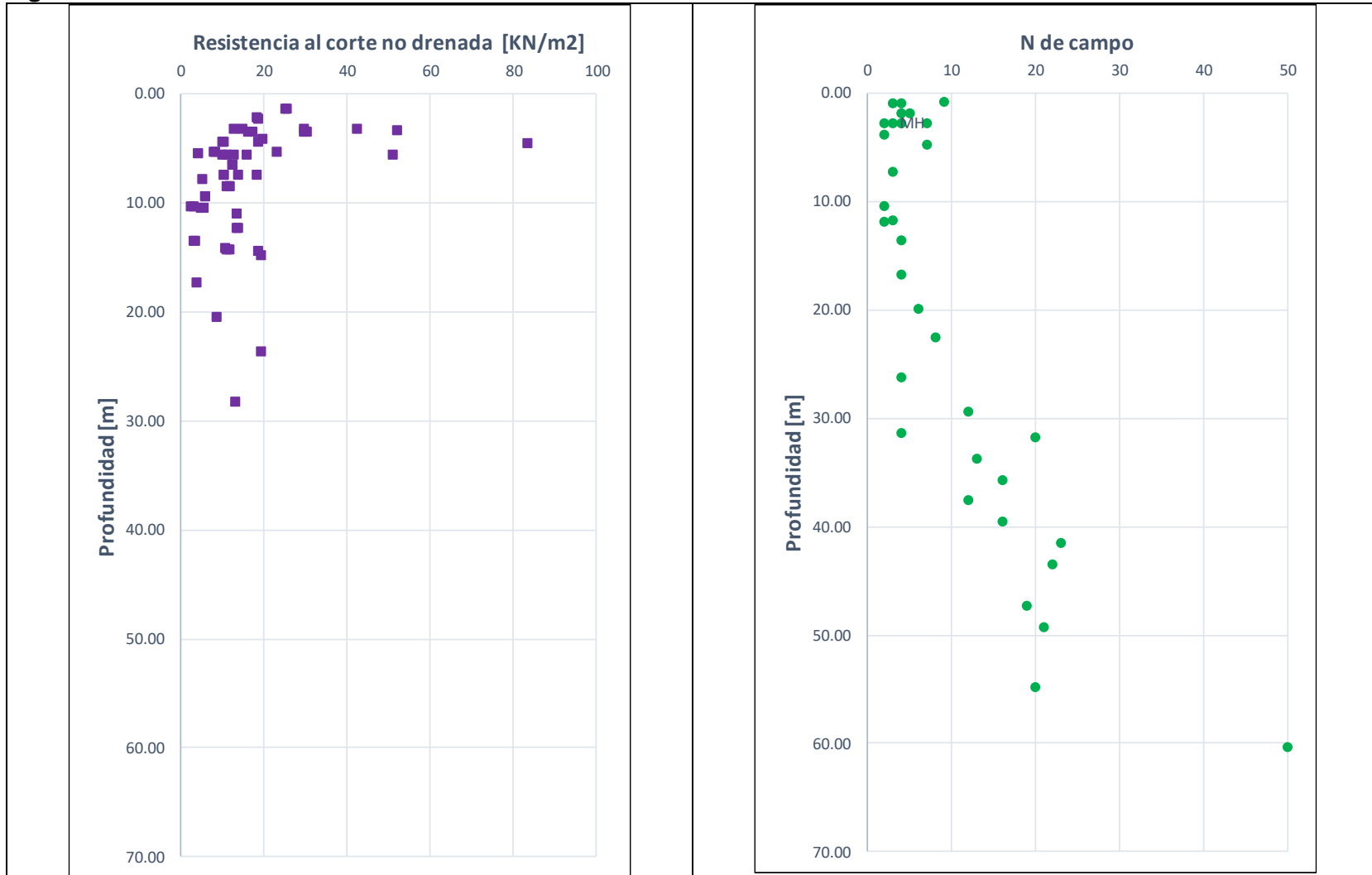
Fuente: WSP, 2019

Figura 98 Carta de Plasticidad - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA



Fuente: WSP, 2019

Figura 99 Variación de resistencia al corte - AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA.



Fuente: WSP, 2019

9.3.21 AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.

De la Figura 100 a la Figura 102 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

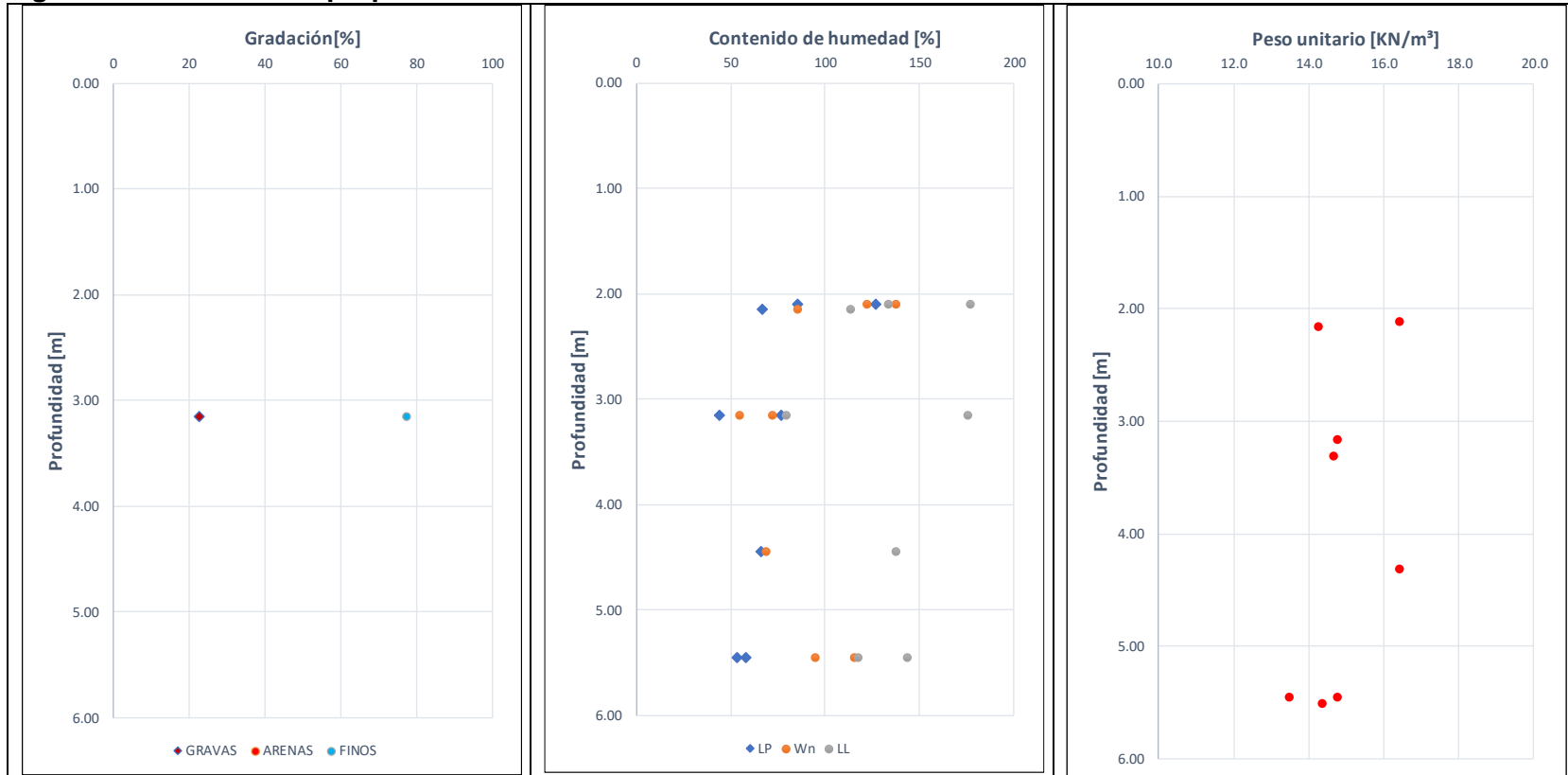
- Entre 0 y 6 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en el sondeo 89.
- Entre 2.6 y 6 m se encuentra una arcilla limosa de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material sólo se encontró en el sondeo 89.
- Entre 0 y 2.6 m se encuentra una capa de materia orgánica de humedad muy alta.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 27 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN

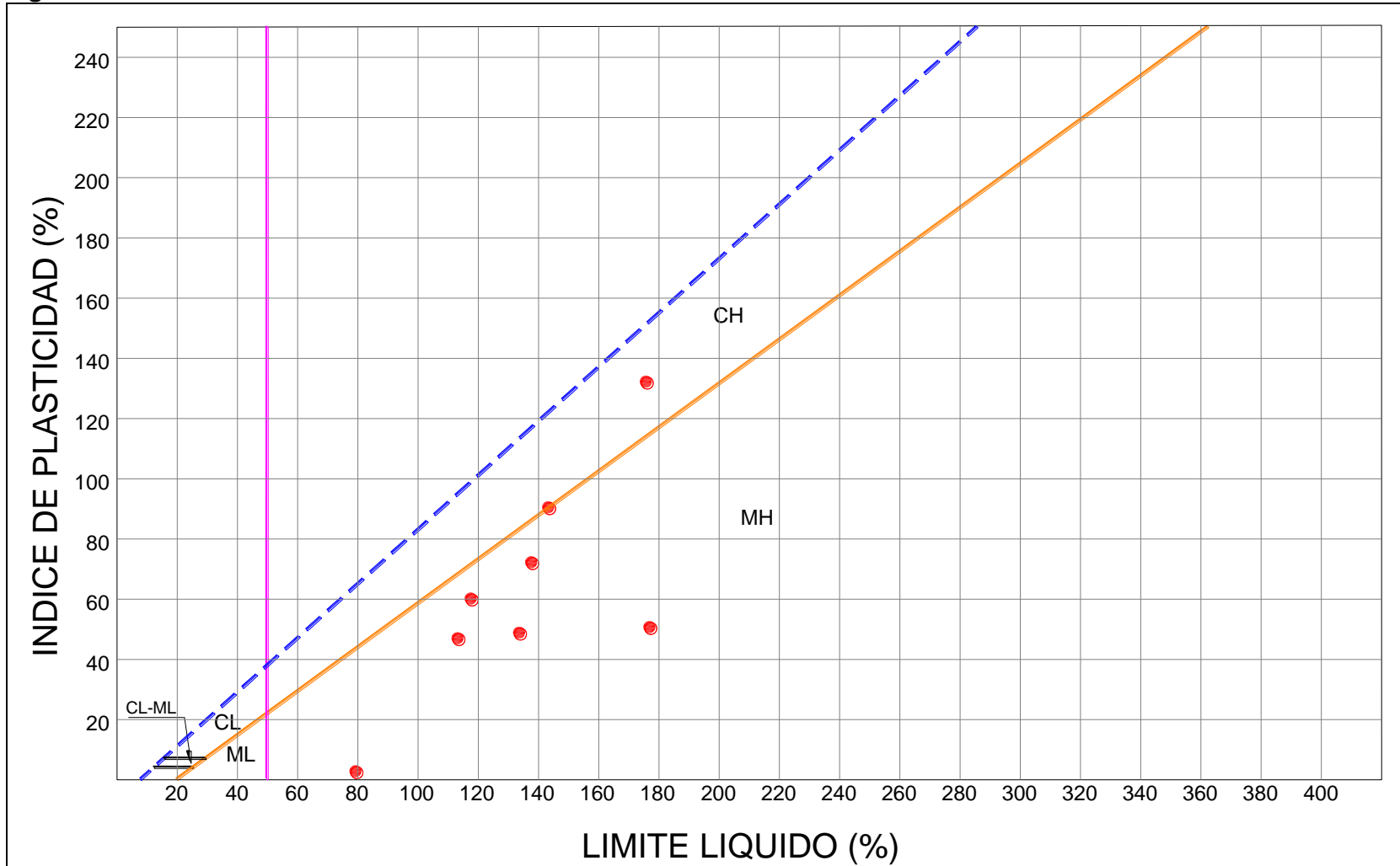
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.89	19.62		
Arcillas limosas	14.7	11.77		

Figura 100 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.



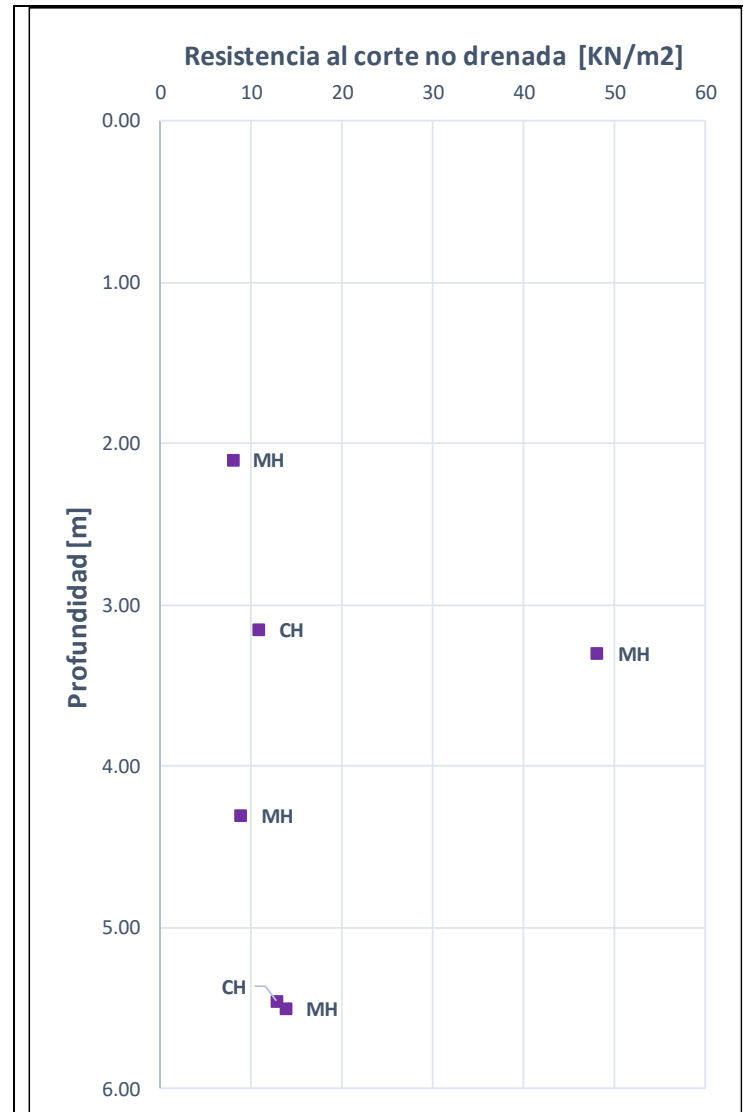
Fuente: WSP, 2019

Figura 101 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN



Fuente: WSP, 2019

Figura 102 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.



Fuente: WSP, 2019

9.3.22 . AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA

De la Figura 103 a la Figura 105 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

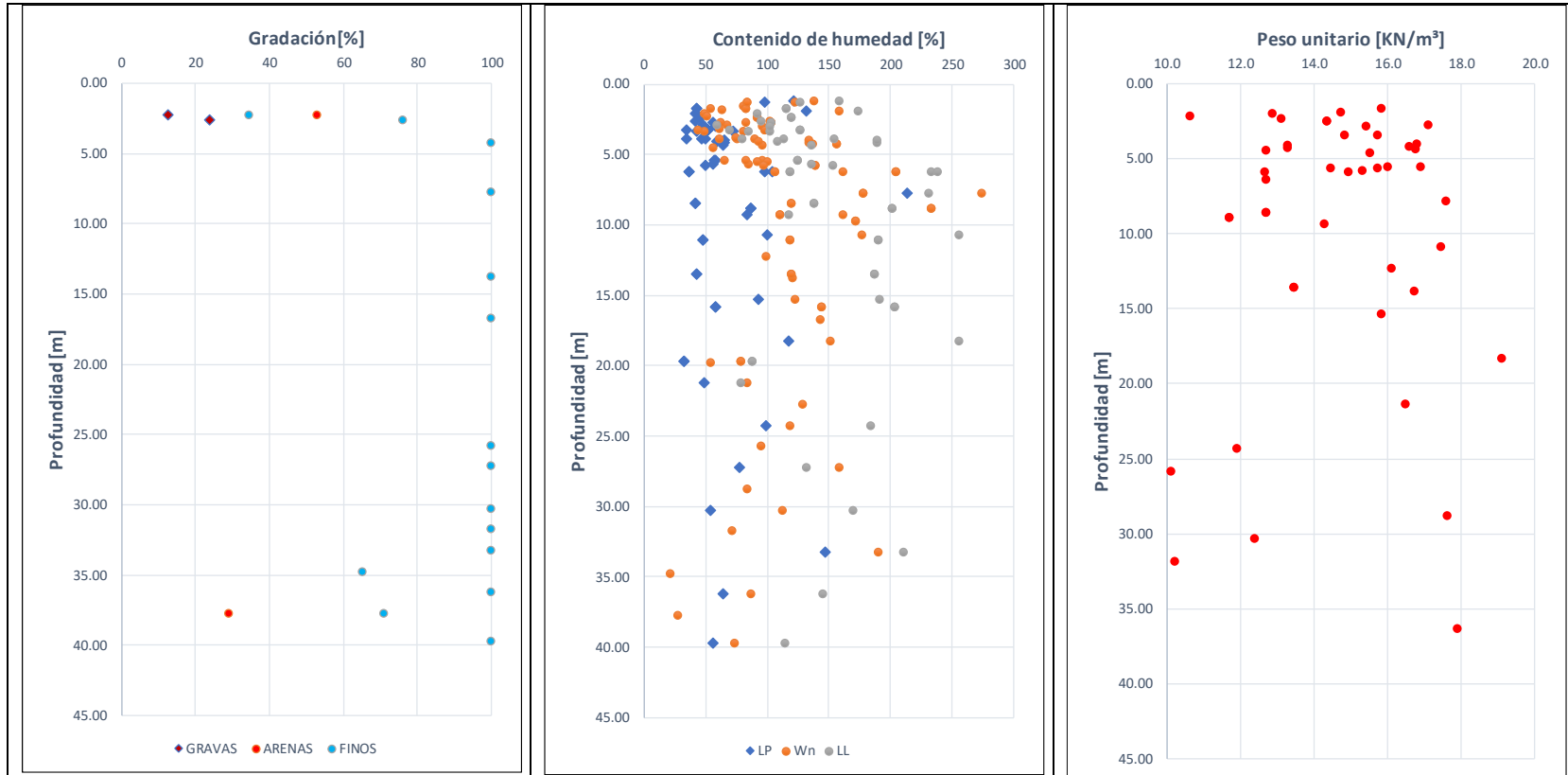
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.6/>10 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.
- Entre 0 y 6 m se encuentra una arcilla limosa de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material se encontró en los sondeos 91, 92 y 95.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.5 m se encuentra una arena arcillosa de humedad media.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 28 Propiedades geotécnicas promedio - AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA

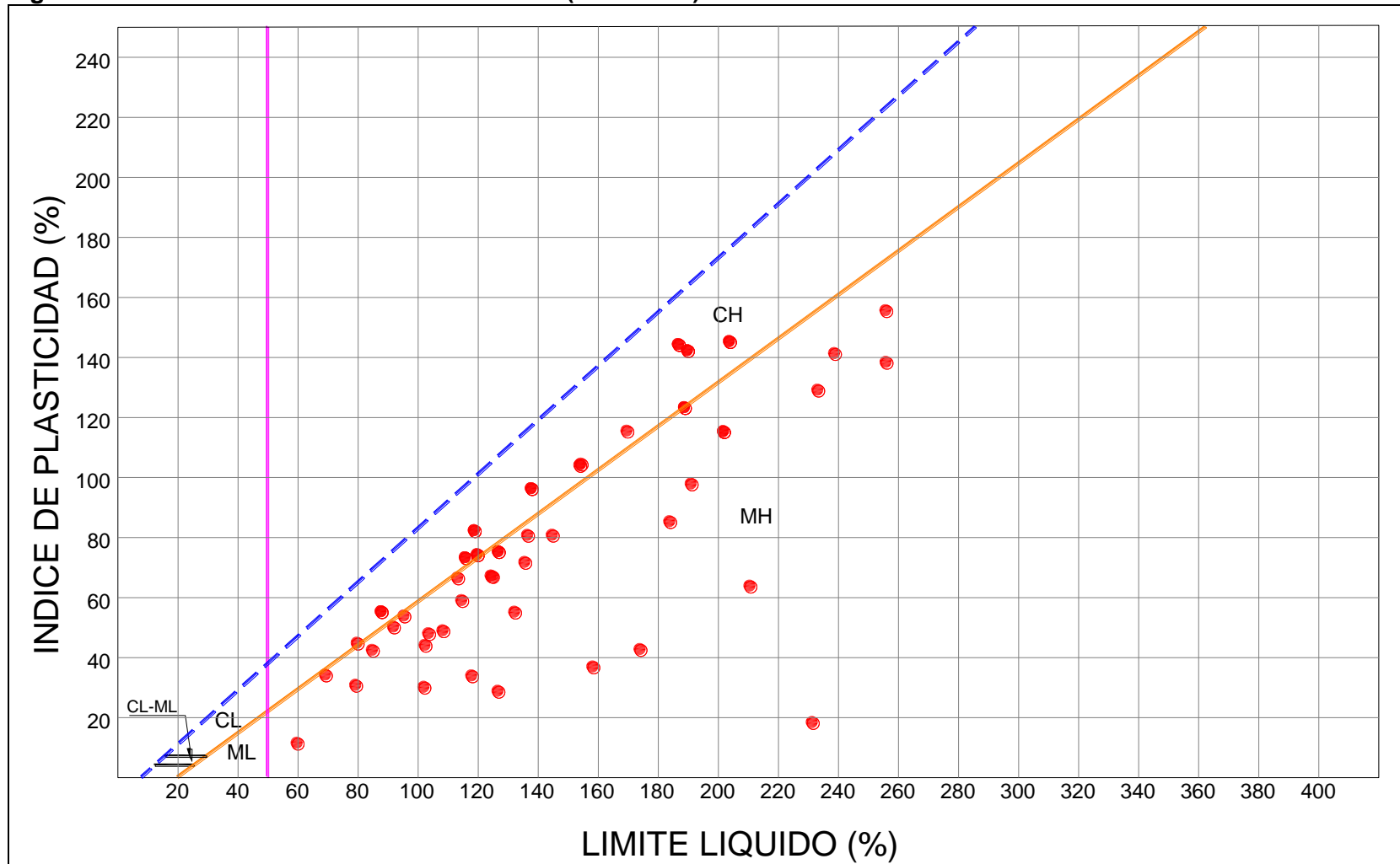
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.09	21.58		
Arcillas limosas	13.93	21.35		
Arena arcillosa	13.07	11.77		

Figura 103 Variación de propiedades índice - . AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA



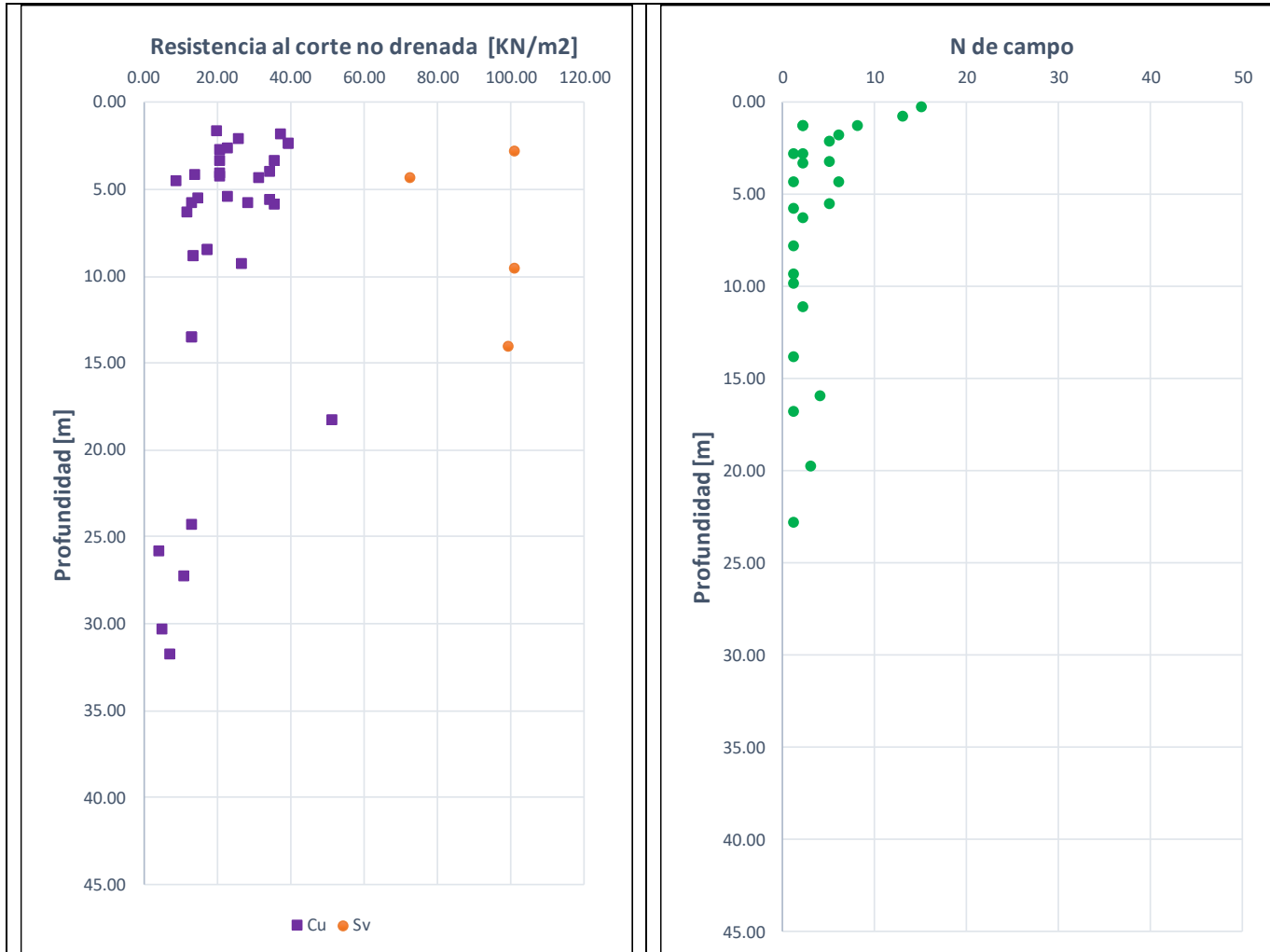
Fuente: WSP, 2019

Figura 104 Carta de Plasticidad - AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA



Fuente: WSP, 2019

Figura 105 Variación de resistencia al corte - . AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA



Fuente: WSP, 2019.

9.3.23 . AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA

De la Figura 106 a la Figura 108 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

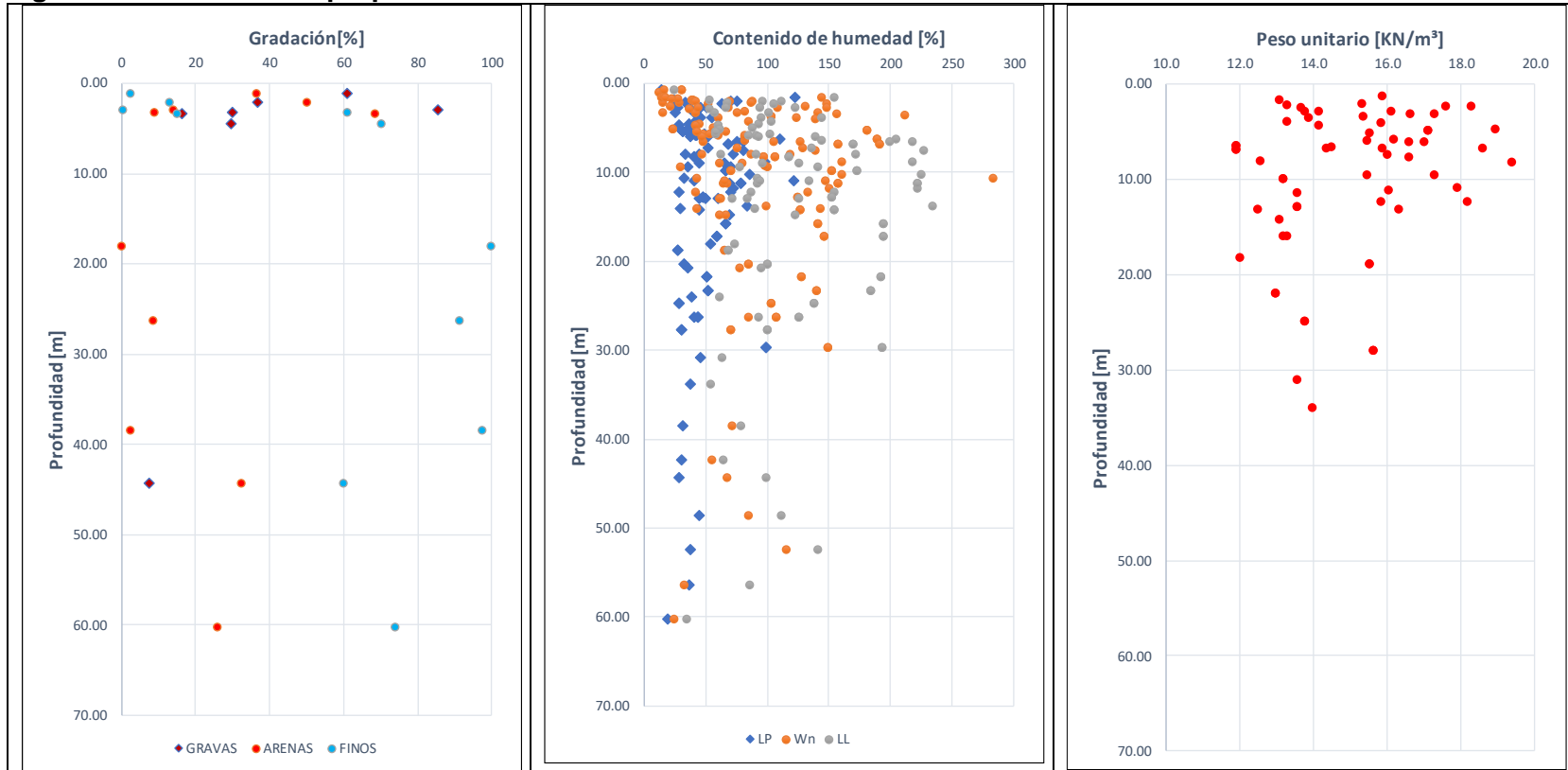
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.3/>11 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia firme a muy firme.
- Entre 2.3 y 11 m y hasta profundidades >11 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme. Este material se encontró en el sondeo 107.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.6 m se encuentra una arena arcillosa de humedad muy baja y compacidad media. Este material solo fue encontrado en el sondeo 103.
- Entre 0 y 3 m se encuentra una arcilla limosa de humedad baja, plasticidad baja y consistencia blanda.
- Entre 0 y 3.2 m se encuentra una grava de humedad baja y muy compacta. Este material solo fue encontrado en el sondeo 107.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 29 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA

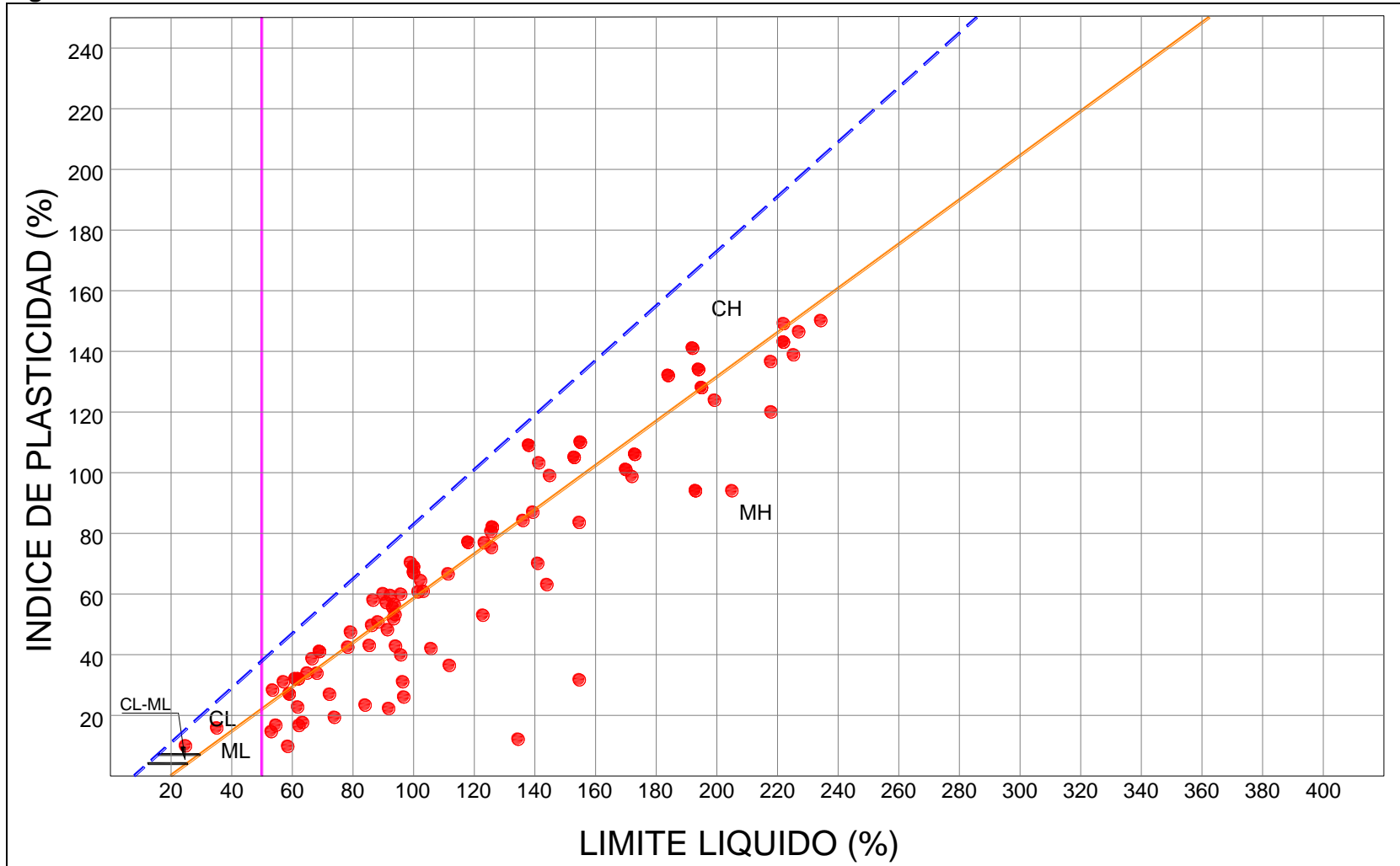
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.1	40.19		
Arcillas limosas	14.93	24.57		
Arena arcillosa	17.57	58.86		
Grava	16.22	75.04		

Figura 106 Variación de propiedades índice - . AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA.



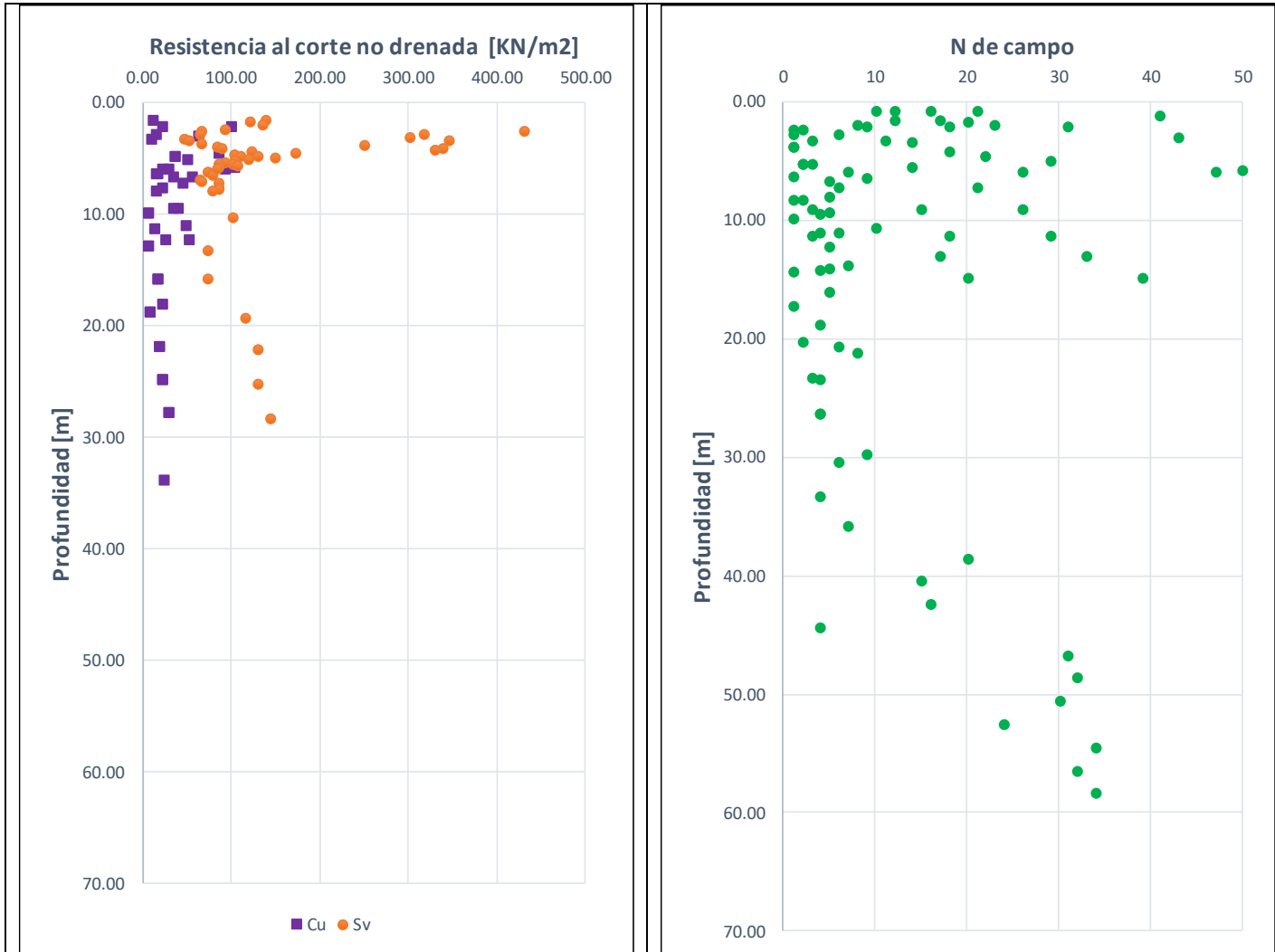
Fuente: WSP, 2019

Figura 107 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA



Fuente: WSP, 2019

Figura 108 Variación de resistencia al corte - . AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA



Fuente: WSP, 2019.

9.3.24 AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL

De la Figura 109 a la Figura 111 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

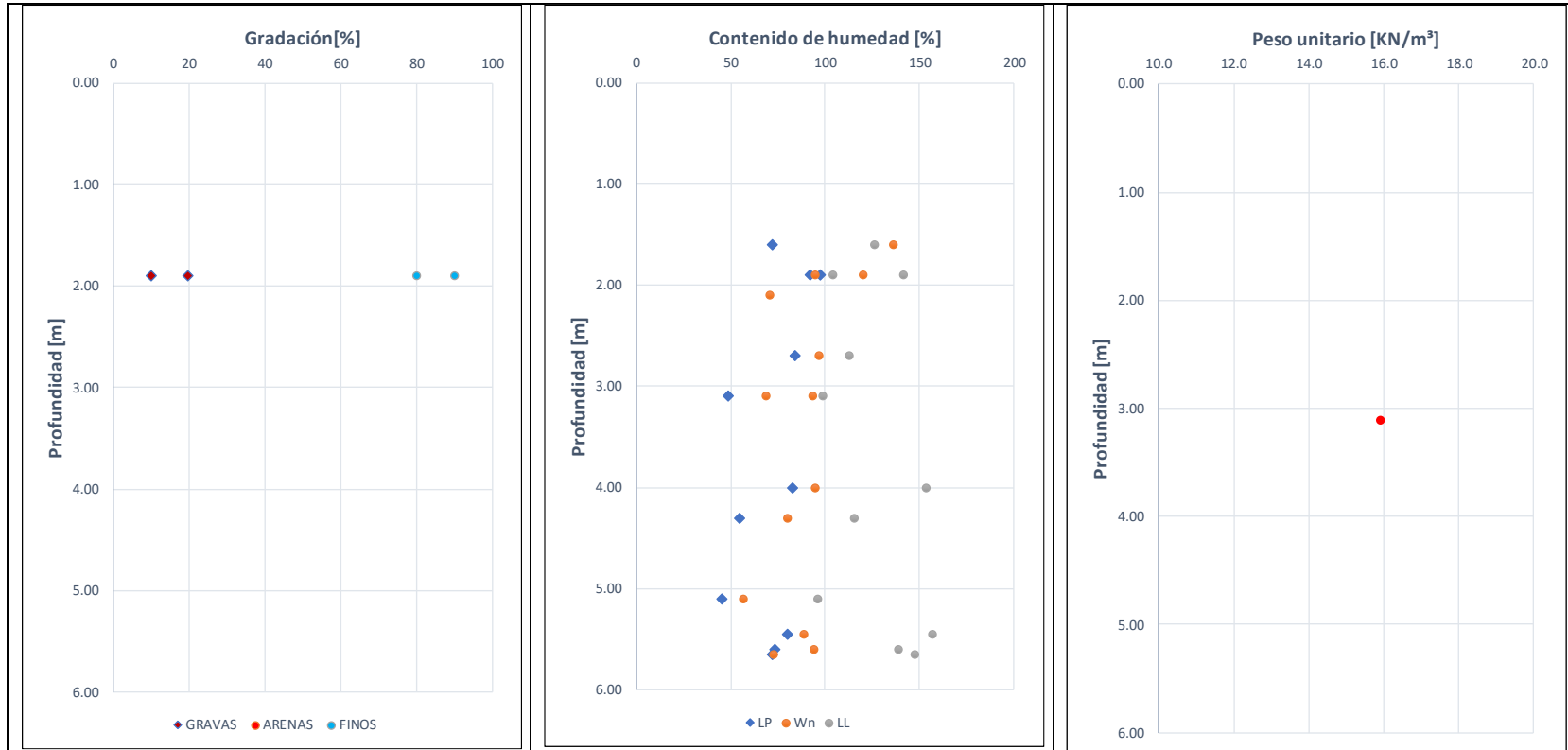
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.9/6 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia firme.
- Entre 1.9 y 3.1 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material sólo se encontró en el sondeo 109

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 30 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL

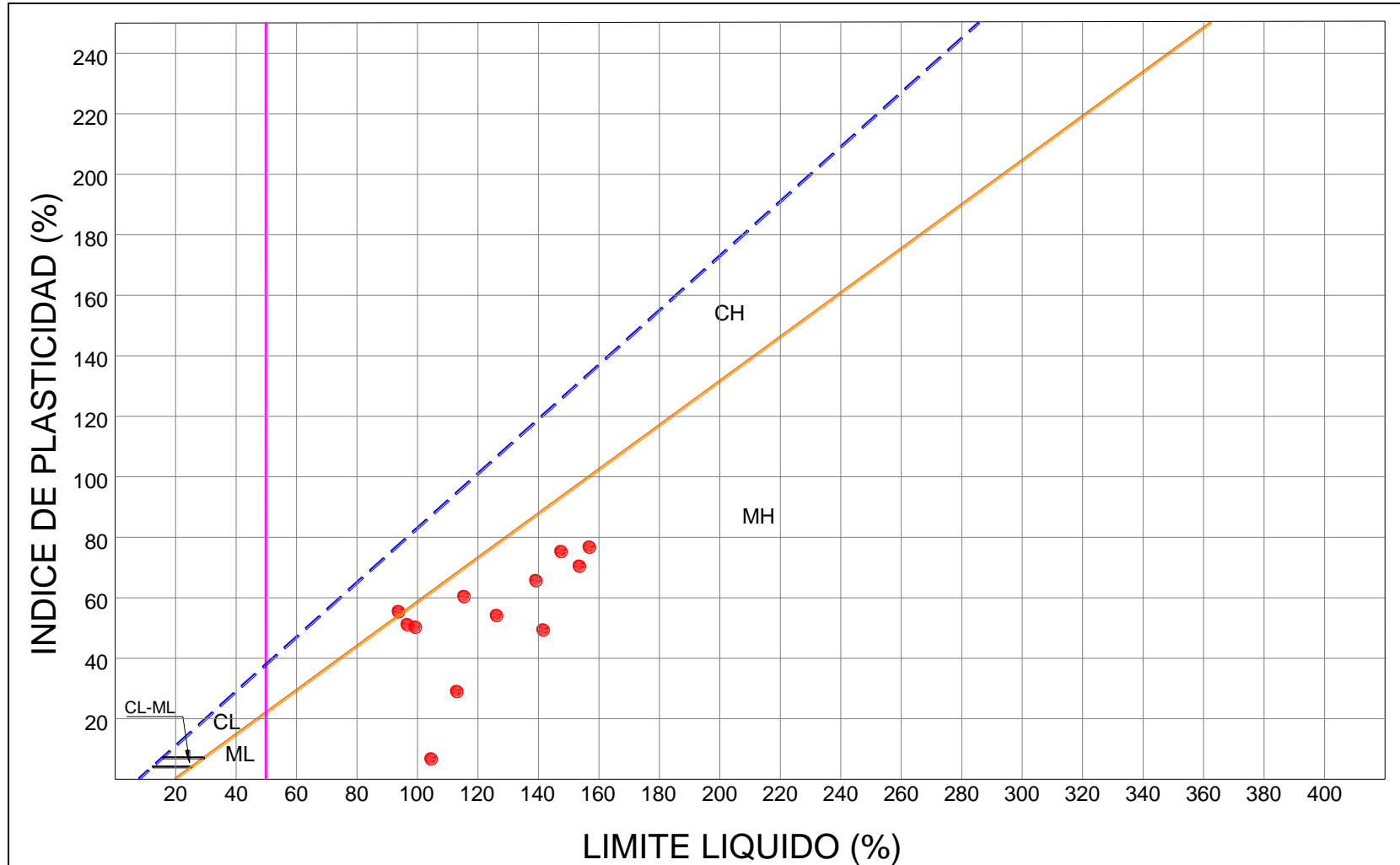
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.89			
Arcillas limosas	15.69			

Figura 109 Variación de propiedades índice - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL



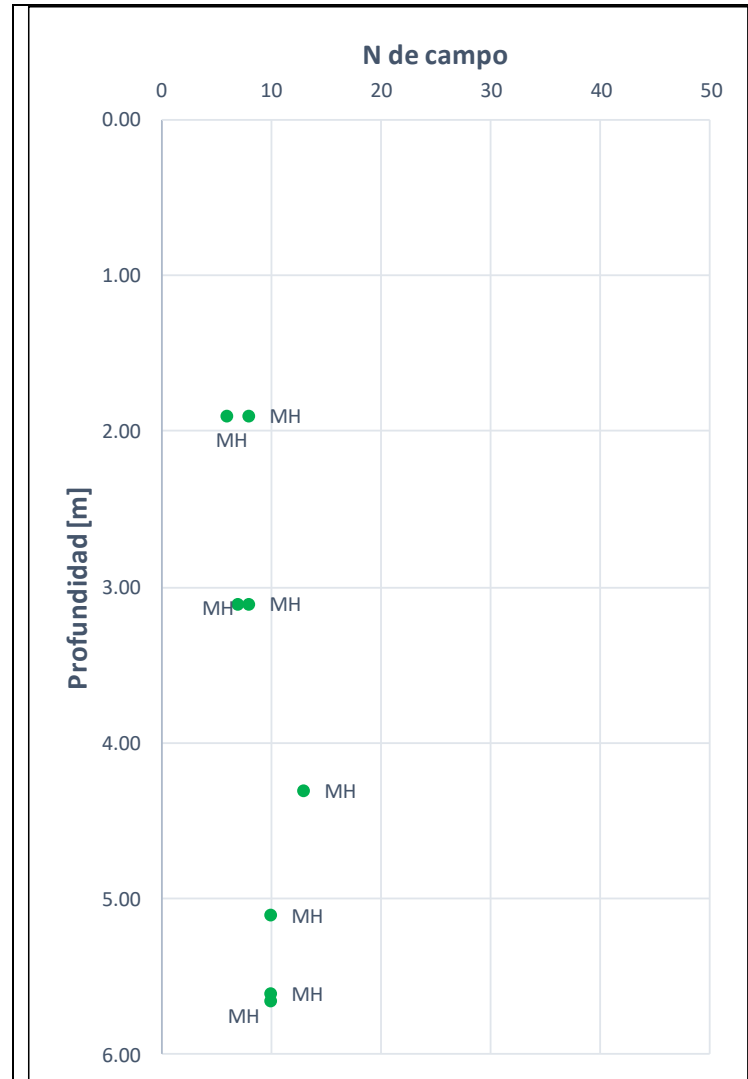
Fuente: WSP, 2019

Figura 110 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL



Fuente: WSP, 2019

Figura 111 Variación de resistencia al corte - AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL



Fuente: WSP, 2019.

9.3.25 CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210

De la Figura 112 a la Figura 114 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

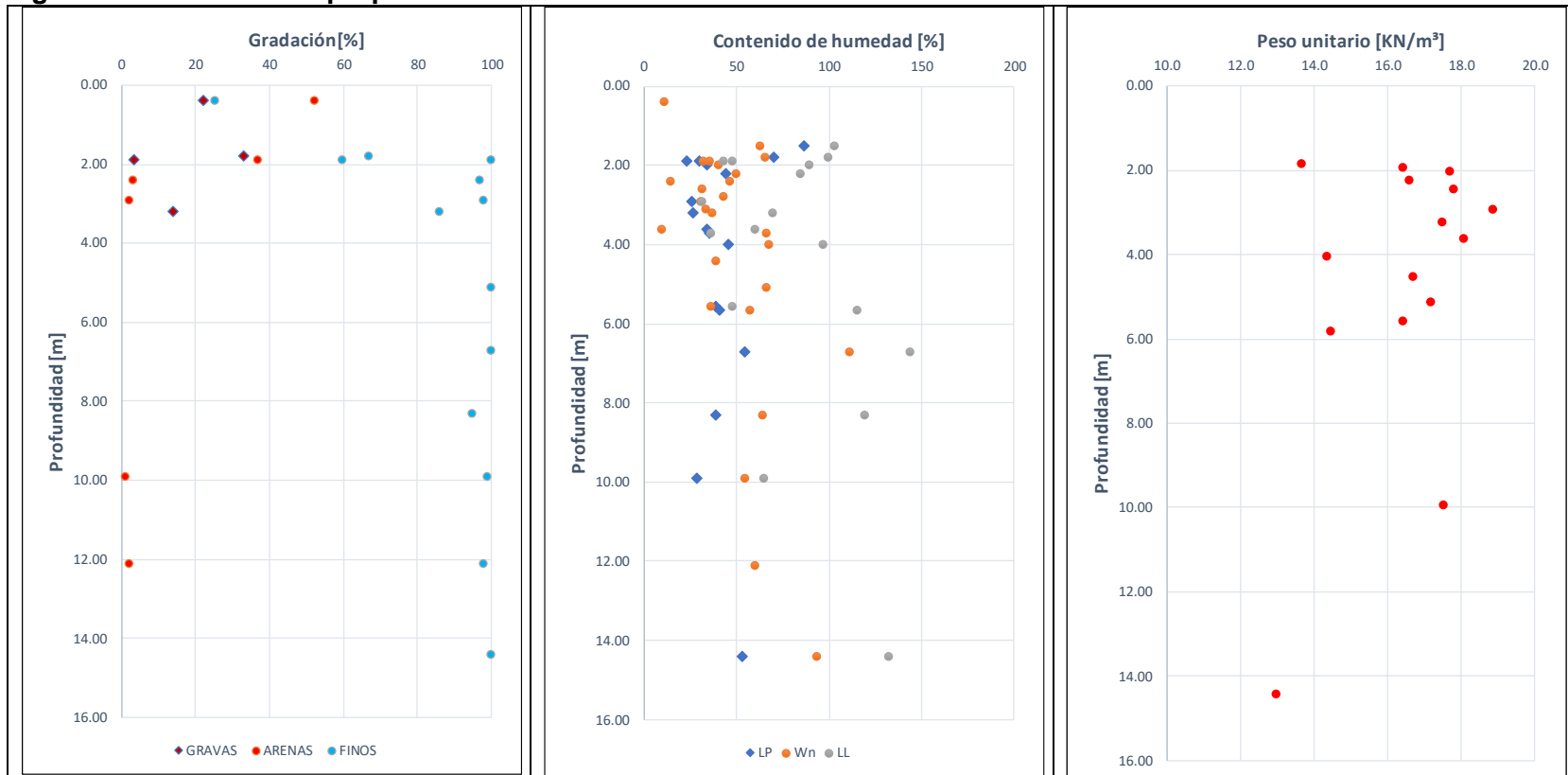
- Entre 0 y 6 m se encuentra un limo arcilloso de humedad media, plasticidad alta a muy alta y consistencia medio firme. Este material no fue encontrado en los sondeos 13-prof, 114 y 115.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.6/>10 m se encuentra una arcilla limosa con algo de arena de humedad baja a media, plasticidad muy alta y consistencia blanda.
- Entre 0 y 6 m se encuentra un limo arcilloso de humedad baja, plasticidad baja y consistencia blanda a muy blanda. Este material solo fue encontrado en los sondeos 13-prof y 104.
- Superficialmente se encuentra una capa de arena limosa de humedad muy baja. Este material solamente se encontró en el sondeo 113.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 31 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210

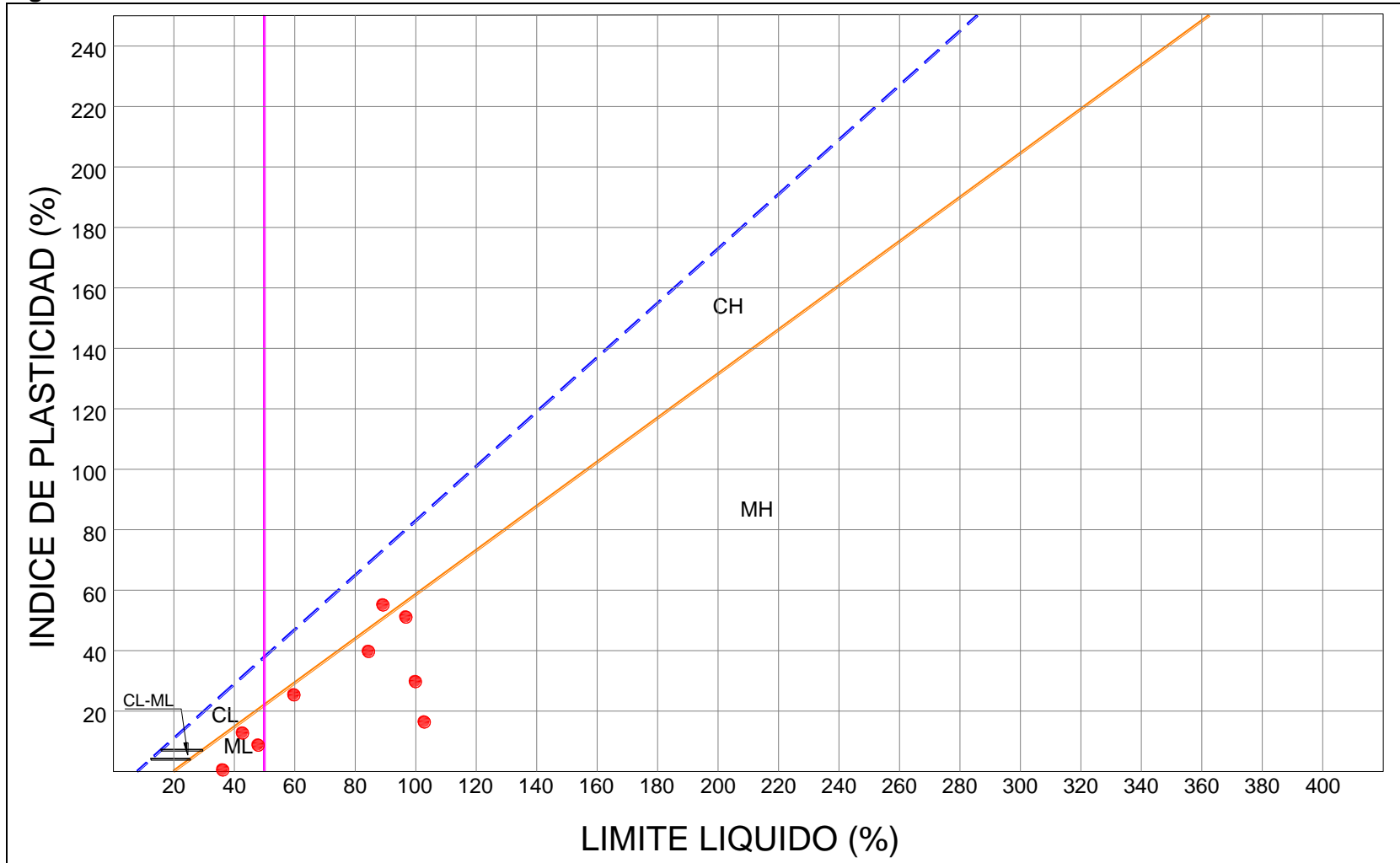
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	16.09	40.87		
Arcillas limosas	17.53	135.38		

Figura 112 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210.



Fuente: WSP, 2019

Figura 113 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210



Fuente: WSP, 2019

Figura 114 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210



Fuente: WSP, 2

9.3.26 CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1

De la Figura 115 a la Figura 117 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

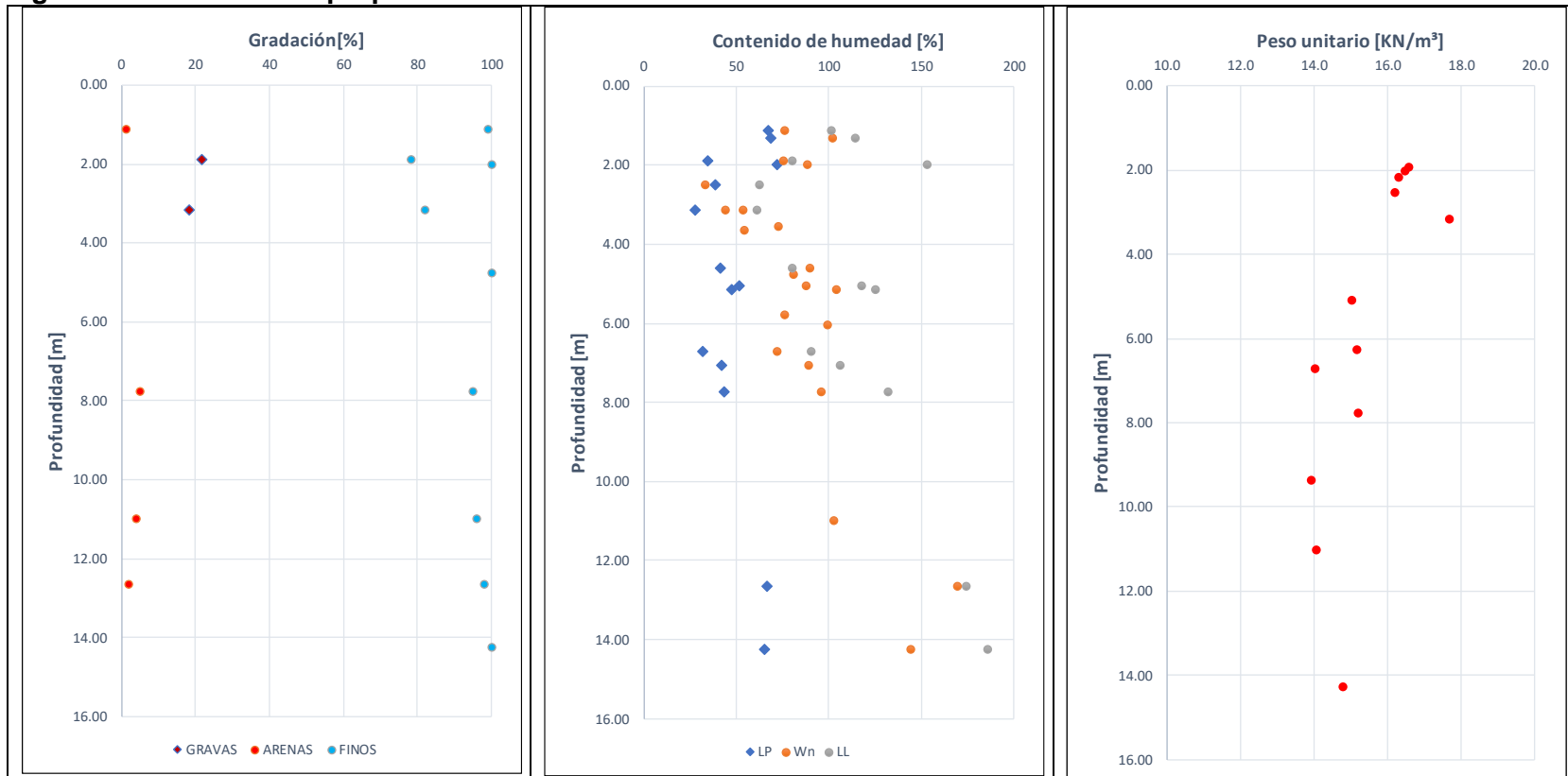
- Entre 0 y 7 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material no se encontró en el sondeo 107.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.5/>10 m se encuentra una arcilla limosa con algo de arena de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia firme a medio firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 32 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1

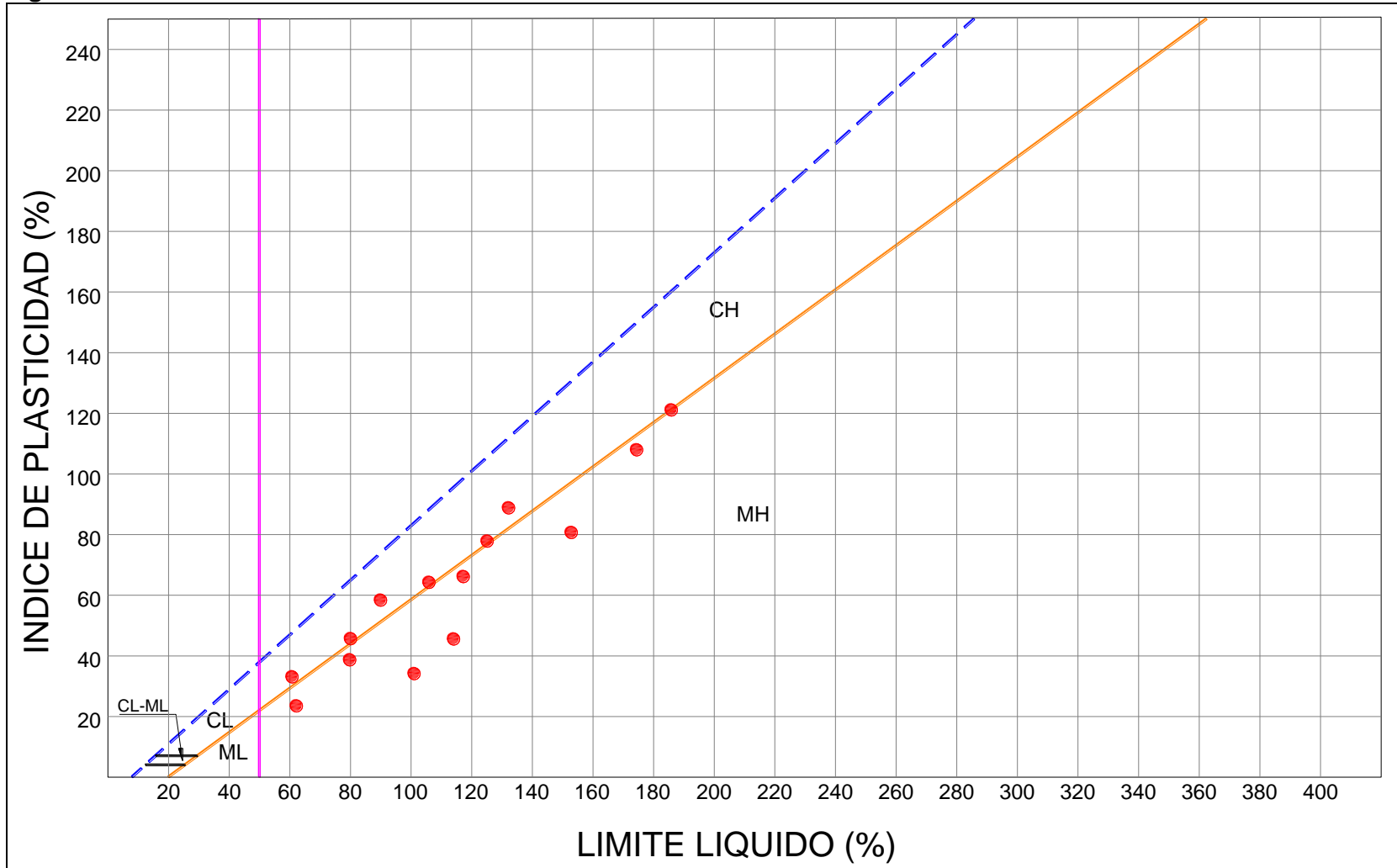
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.70	41.2		
Arcilla limosa	15.31	14.06		

Figura 115 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



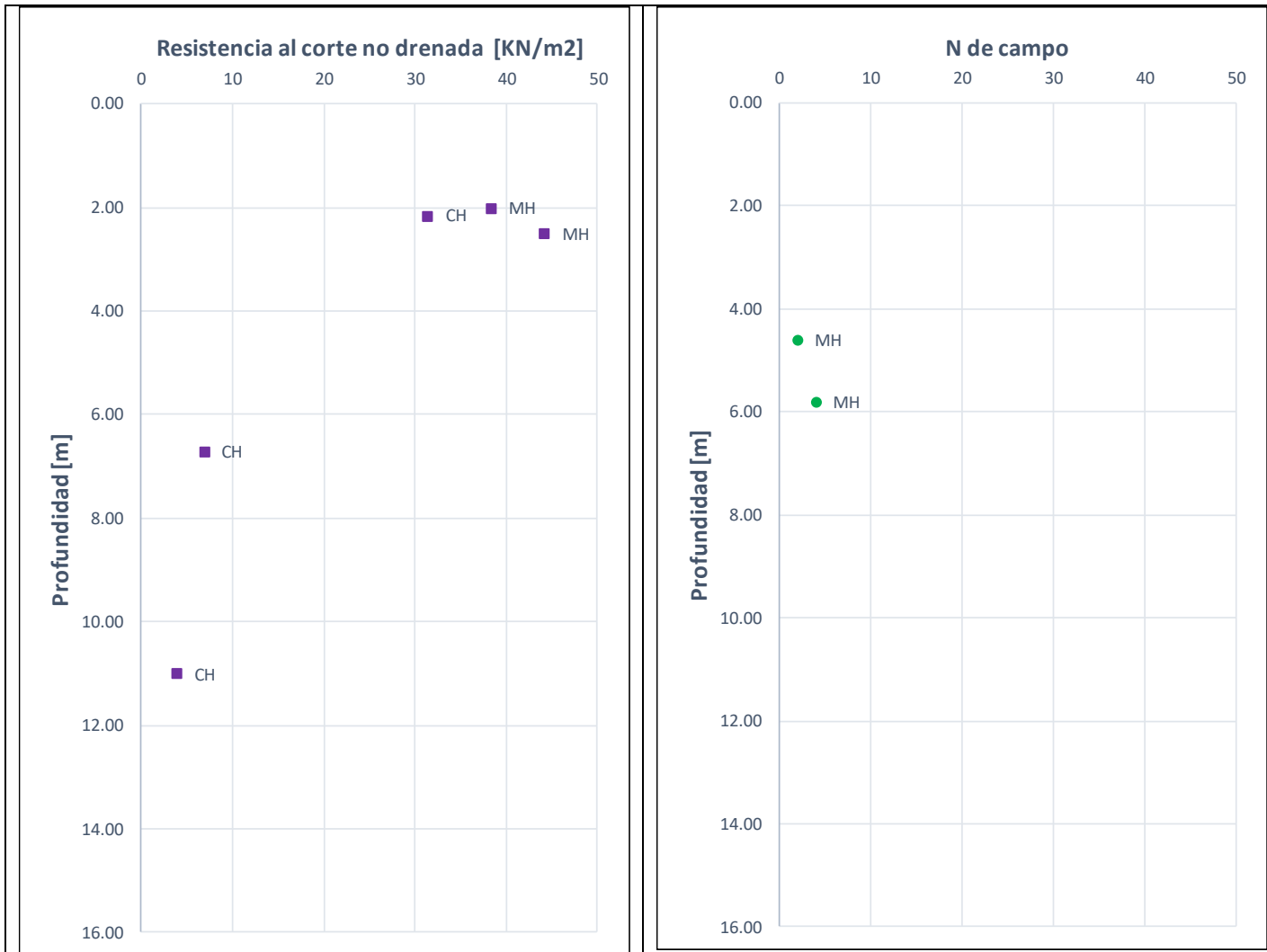
Fuente: WSP, 2019

Figura 116 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 117 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.27 CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2

De la Figura 118 a la Figura 120 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

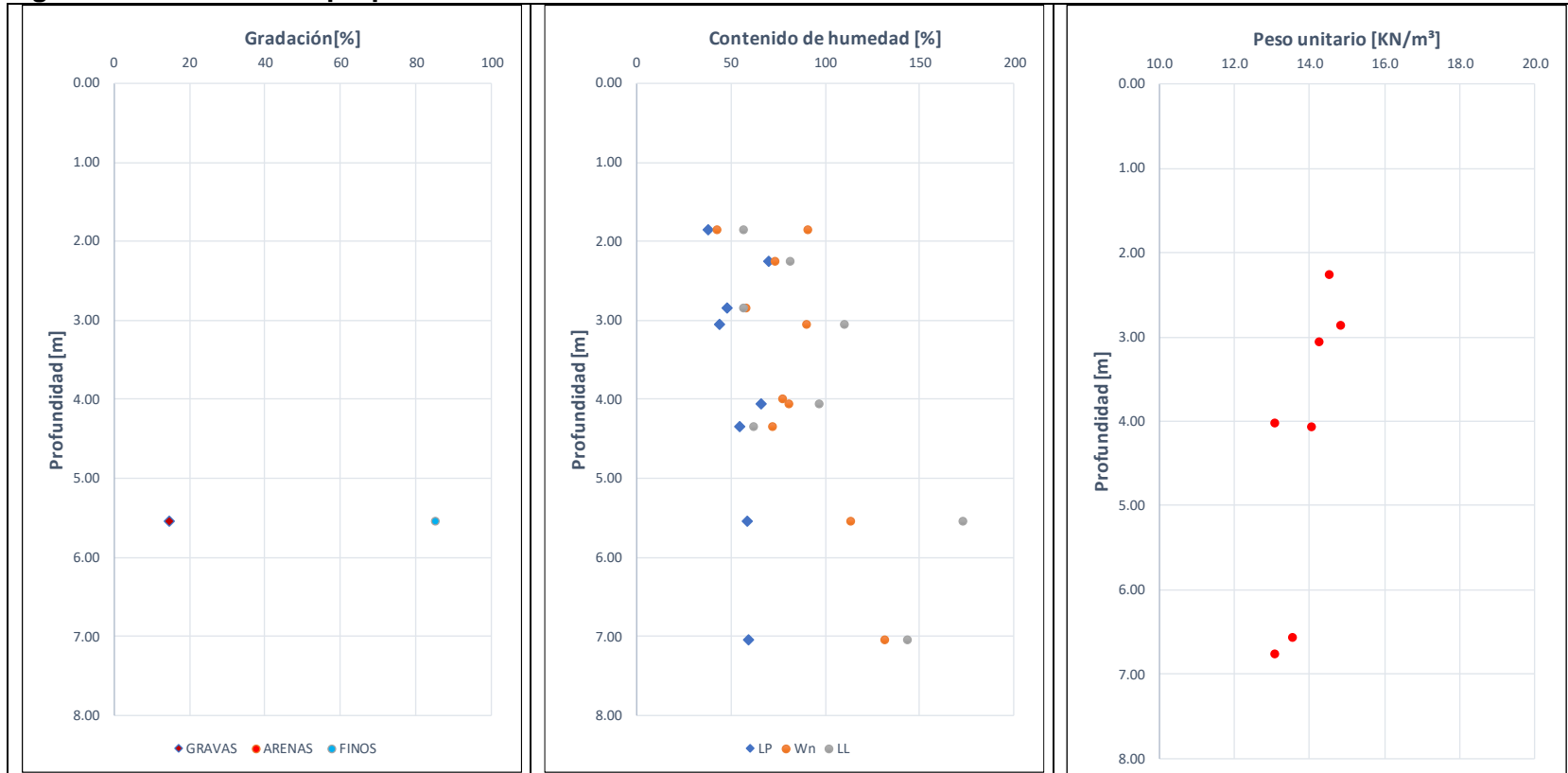
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.3/7.3 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.
- Entre 0 y 6.8 m se encuentra una arcilla de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda. Este material no se encontró en el sondeo 120.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 33 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2

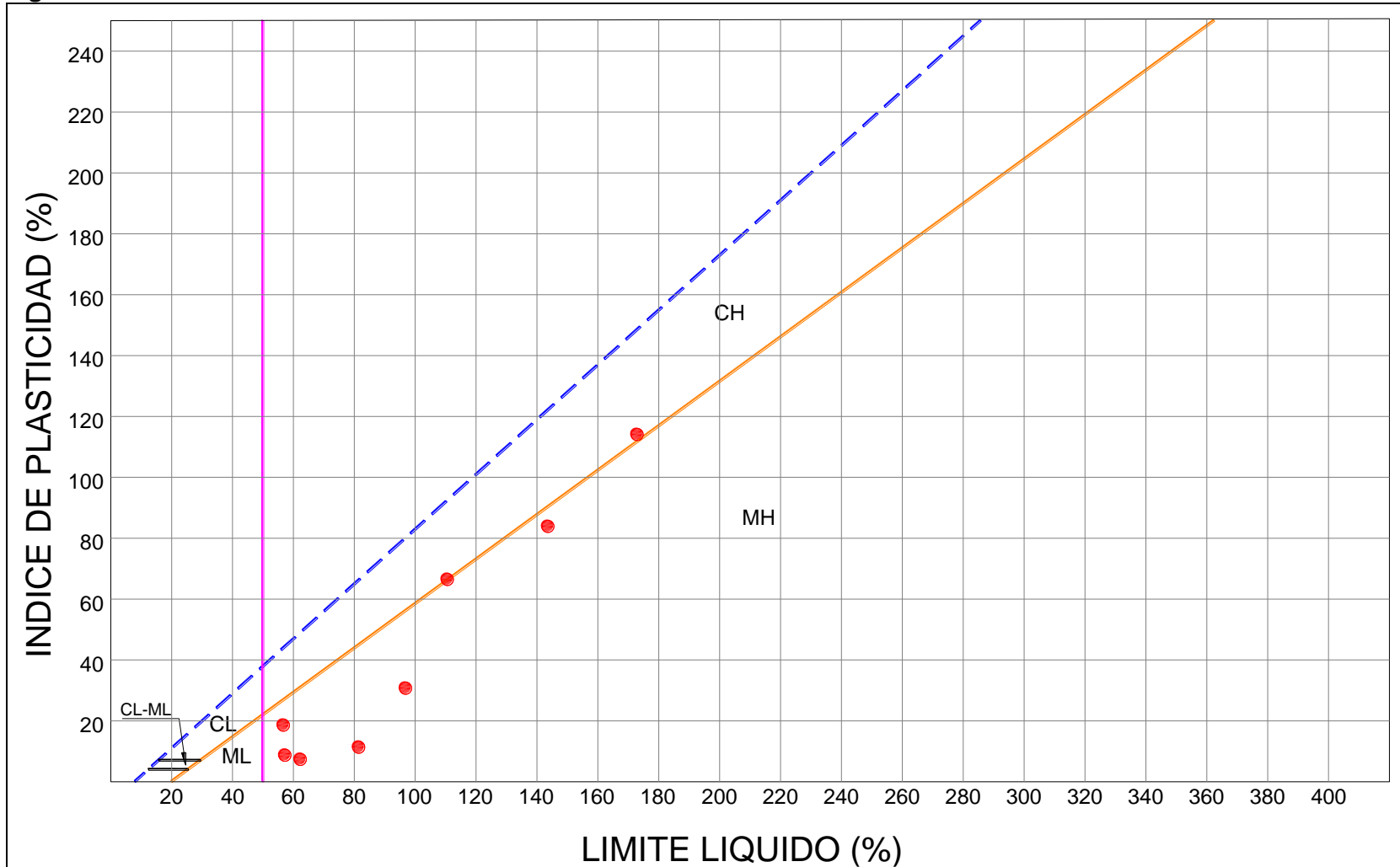
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.15	6.86		
Arcilla	13.54	5.40		

Figura 118 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



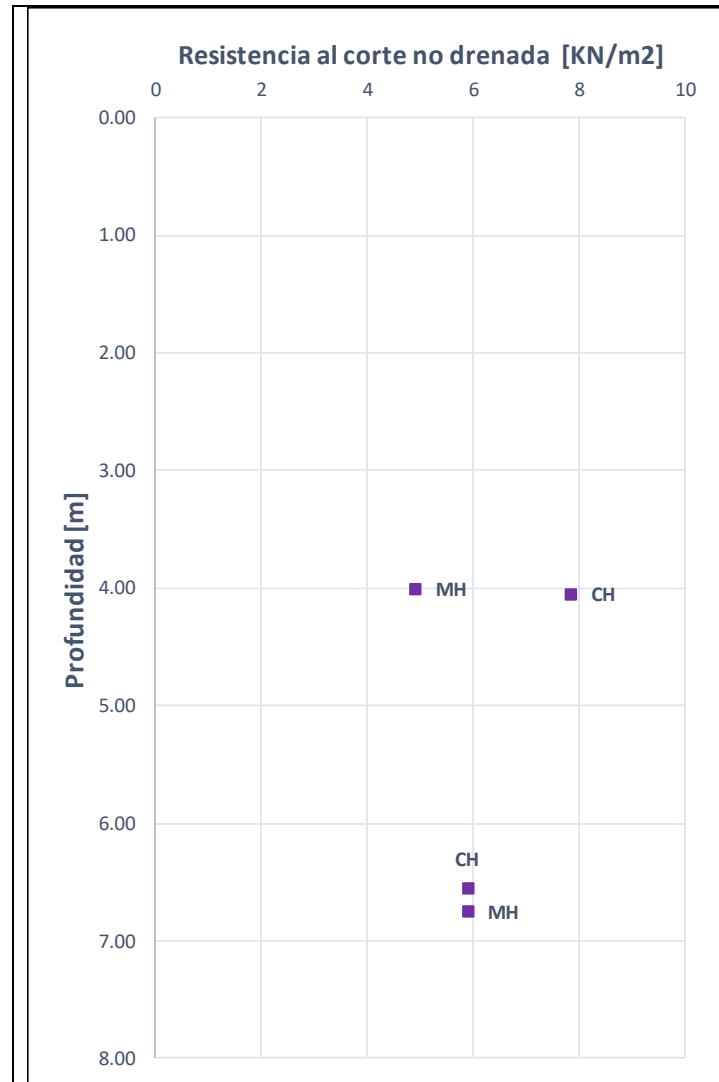
Fuente: WSP, 2019

Figura 119 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 120 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.28 CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1

De la Figura 121 a la Figura 123 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

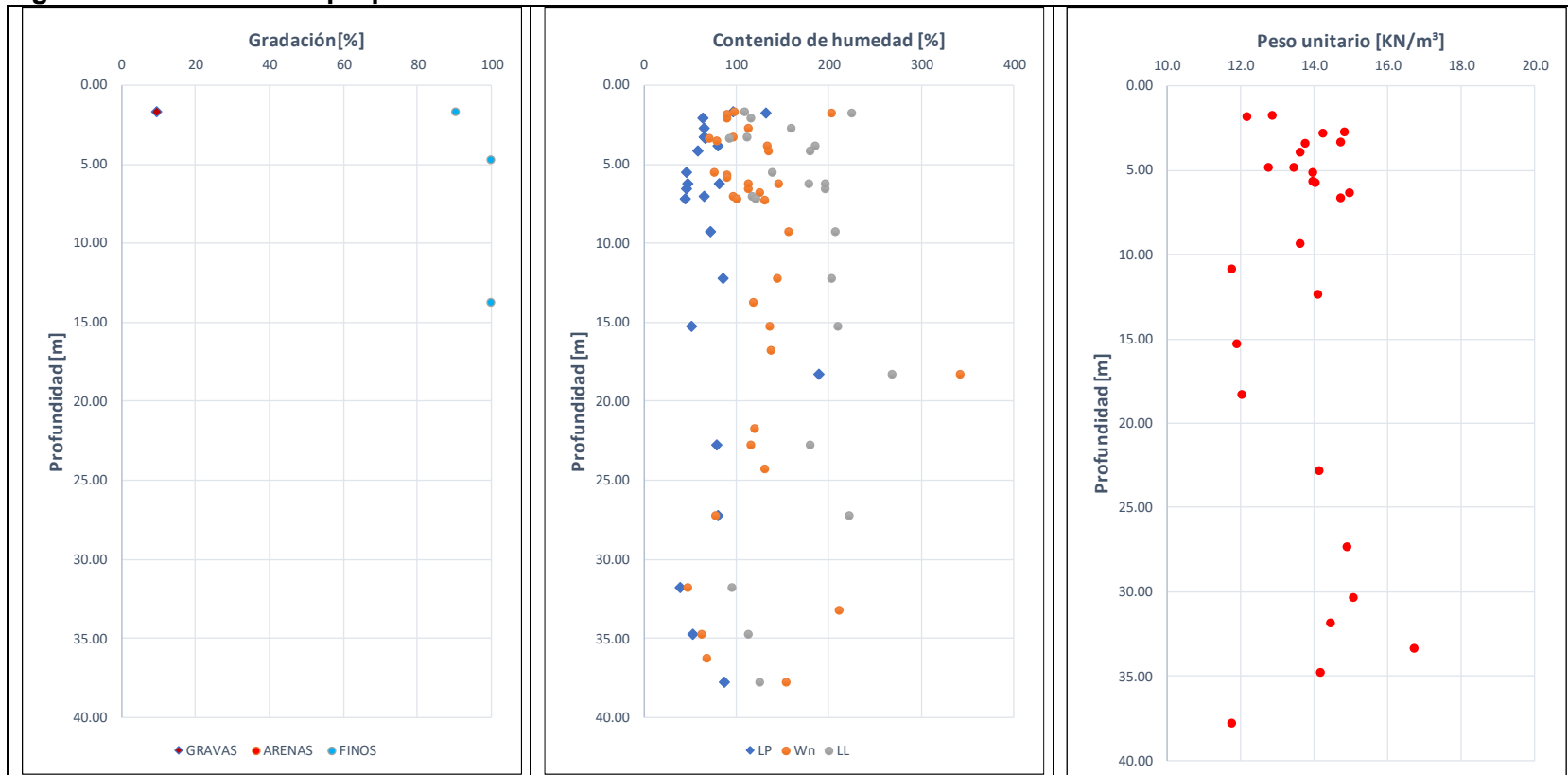
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.9/>10 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.
- Entre 0 y 7 m se encuentra una arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 34 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1

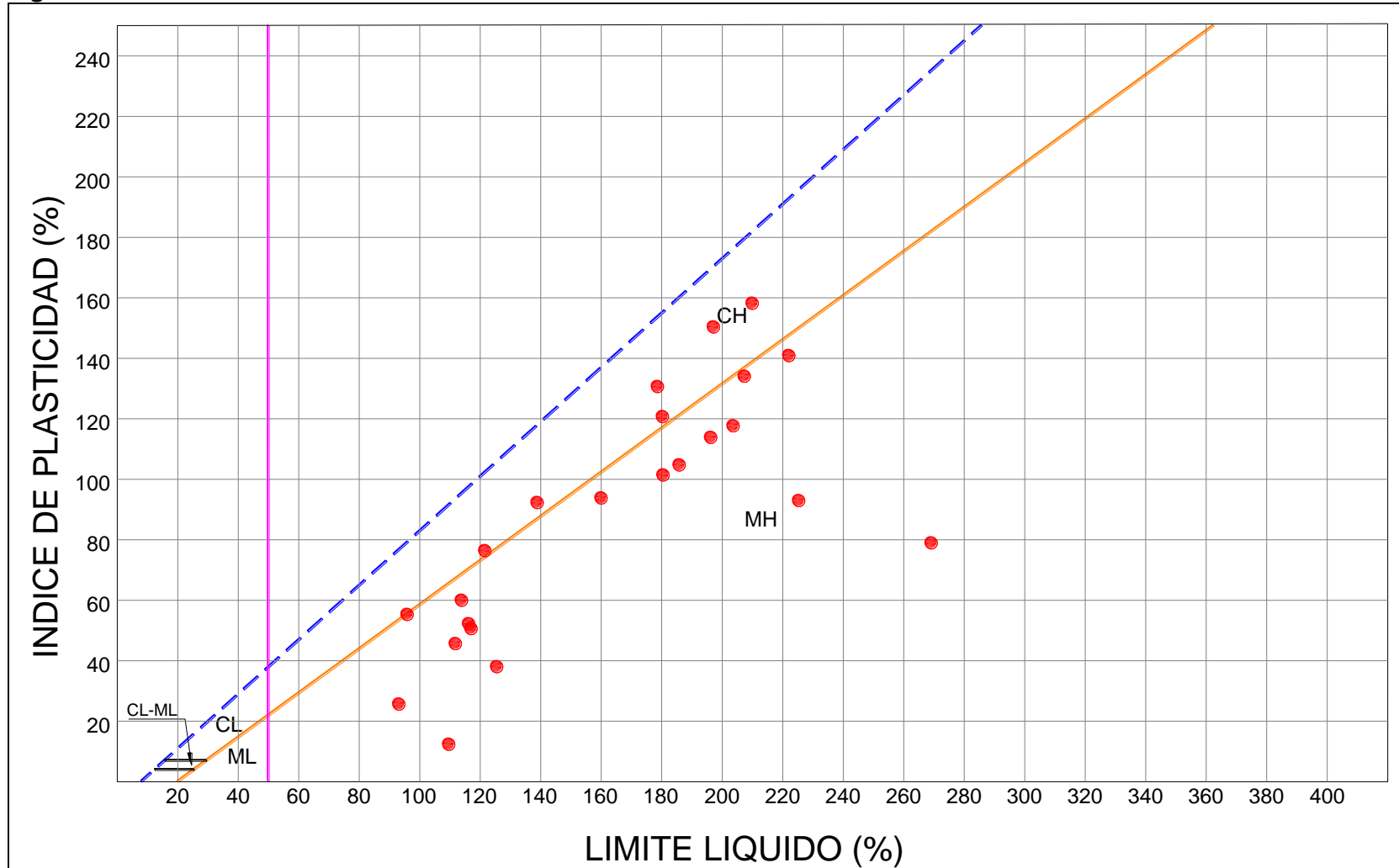
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.63	12.26		
Arcilla limosa	14.28	31.55		

Figura 121 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1



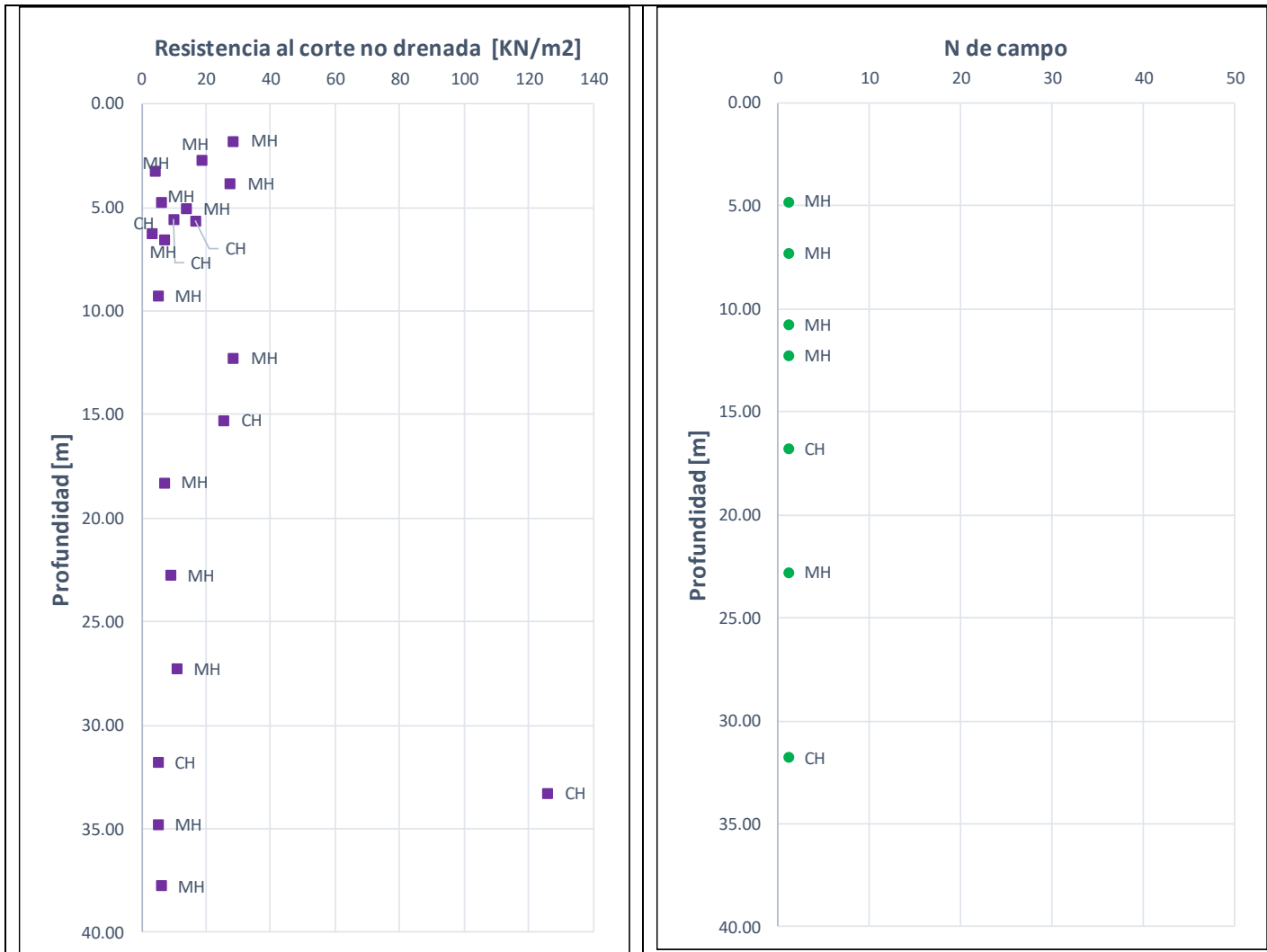
Fuente: WSP, 2019

Figura 122 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 123 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.29 CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2

De la Figura 124 a la Figura 126 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

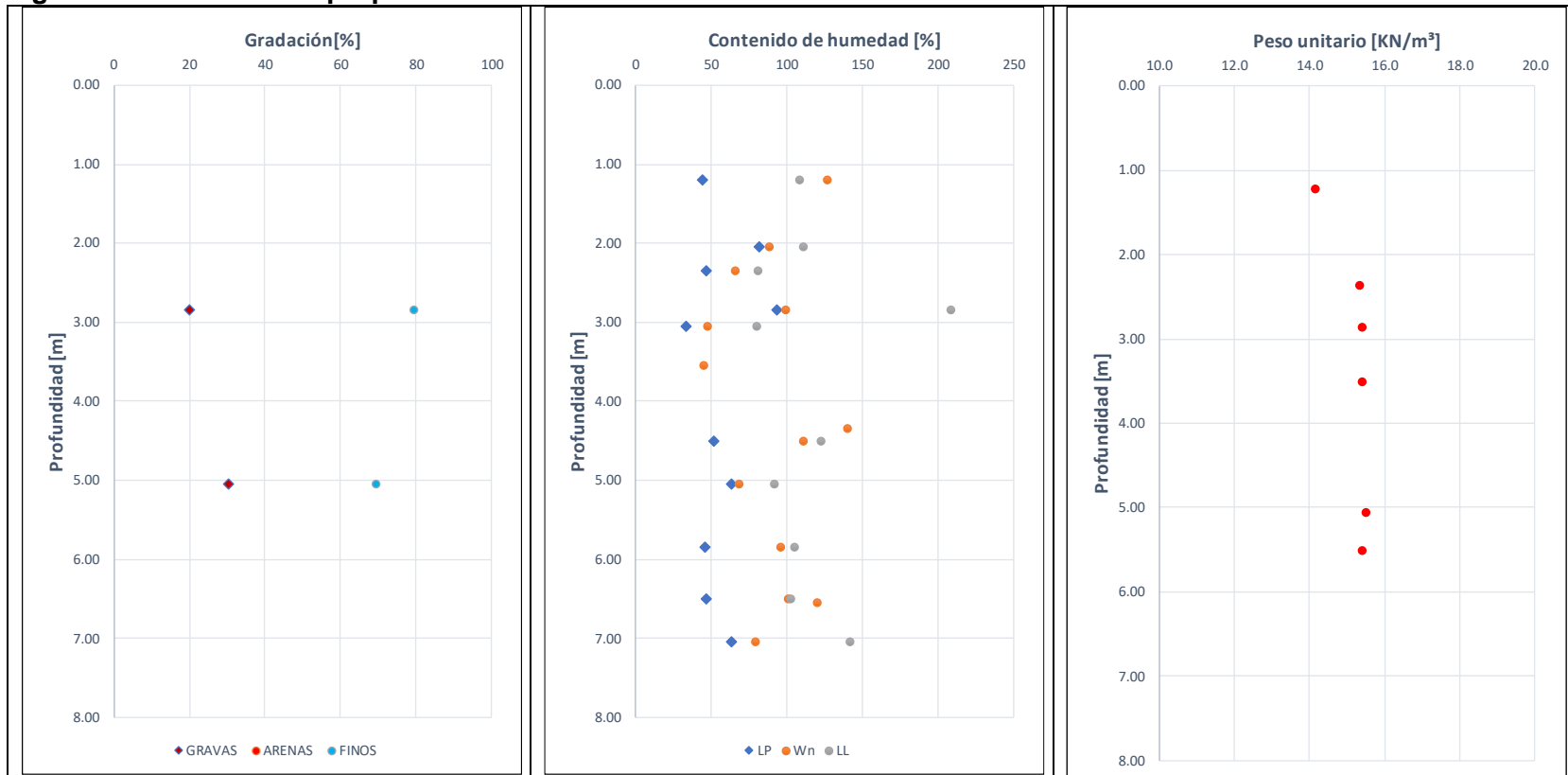
- Entre 0 y 7.3 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad mu alta y consistencia muy blanda a blanda.
- Entre 2.3 y 3.8 m se encuentra una arcilla limosa de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 35 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2

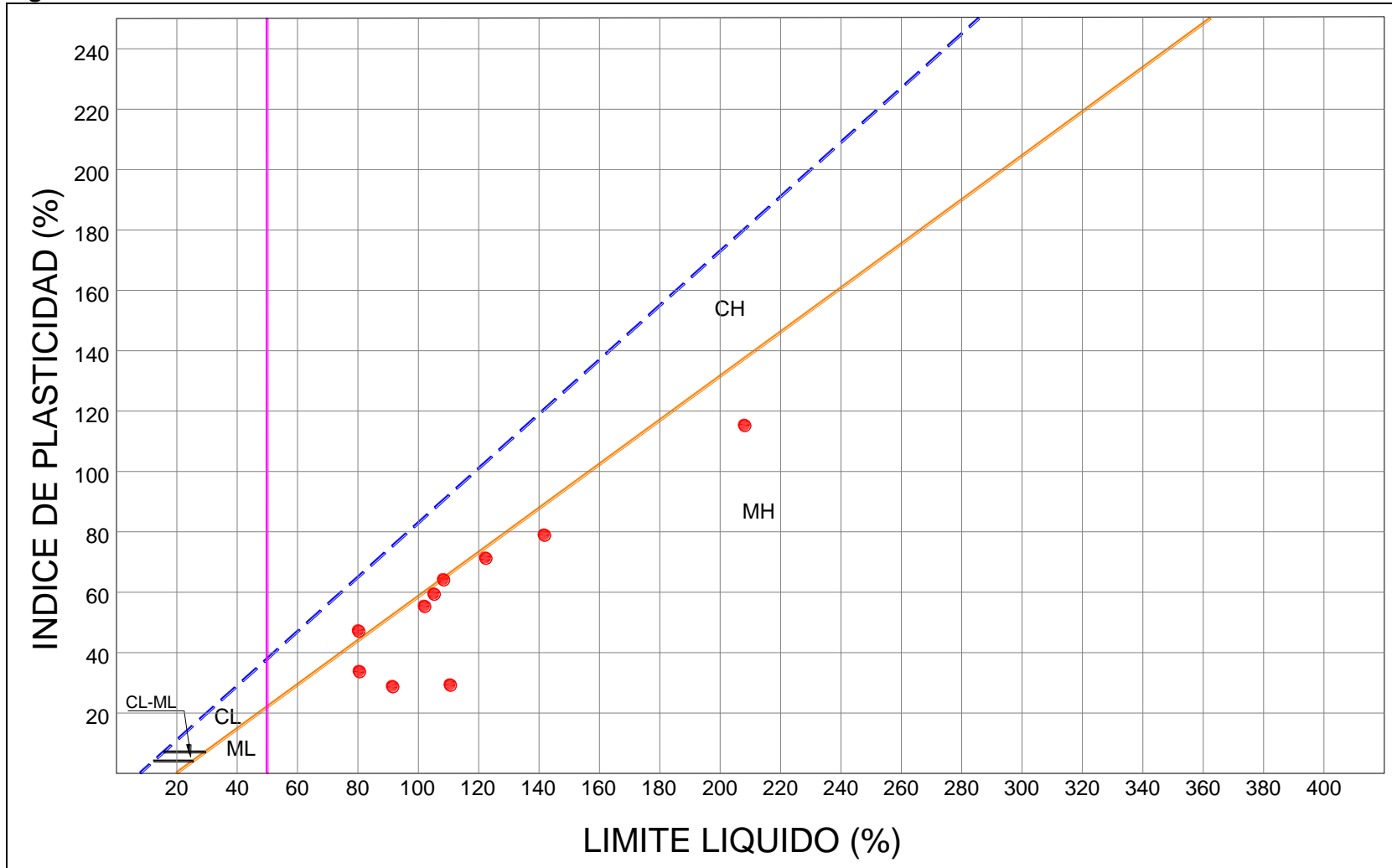
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.93	17.90		
Arcillas limosas	-	-	-	-

Figura 124 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2



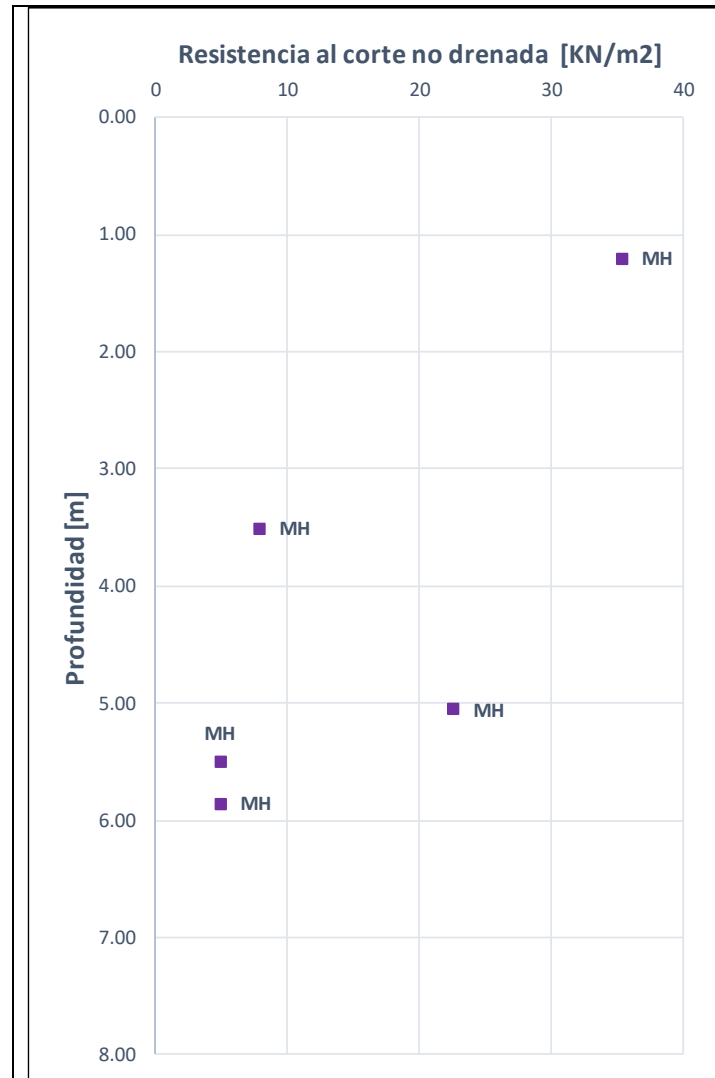
Fuente: WSP, 2019

Figura 125 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 126 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.30 CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1

De la Figura 127 a la Figura 129 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

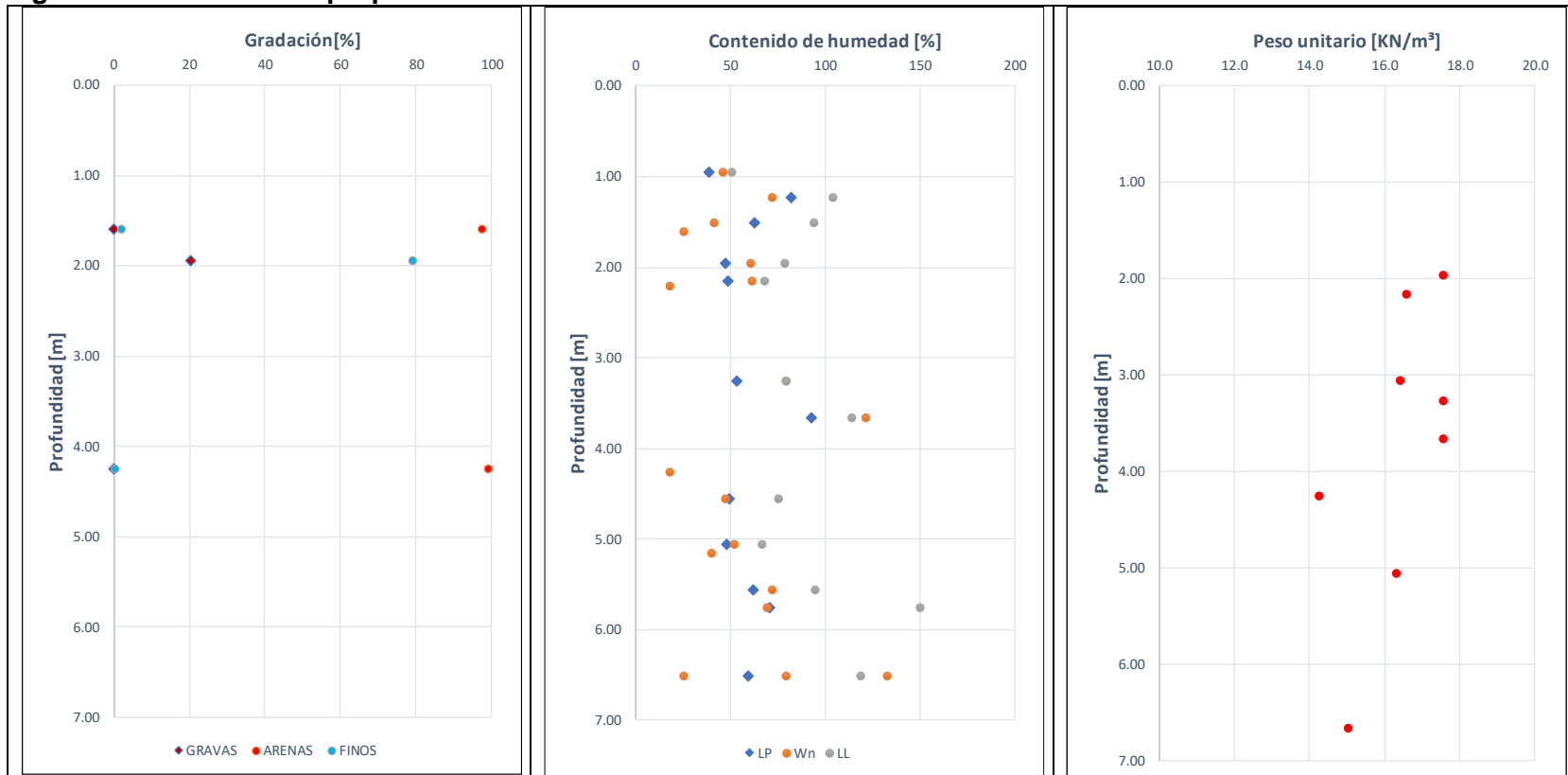
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7 m se encuentra un limo arcilloso de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.
- Entre 1.3 y 4.5 m se encuentra una capa de arena con algo de limo de humedad muy baja, y compactidad suelta.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 36 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1

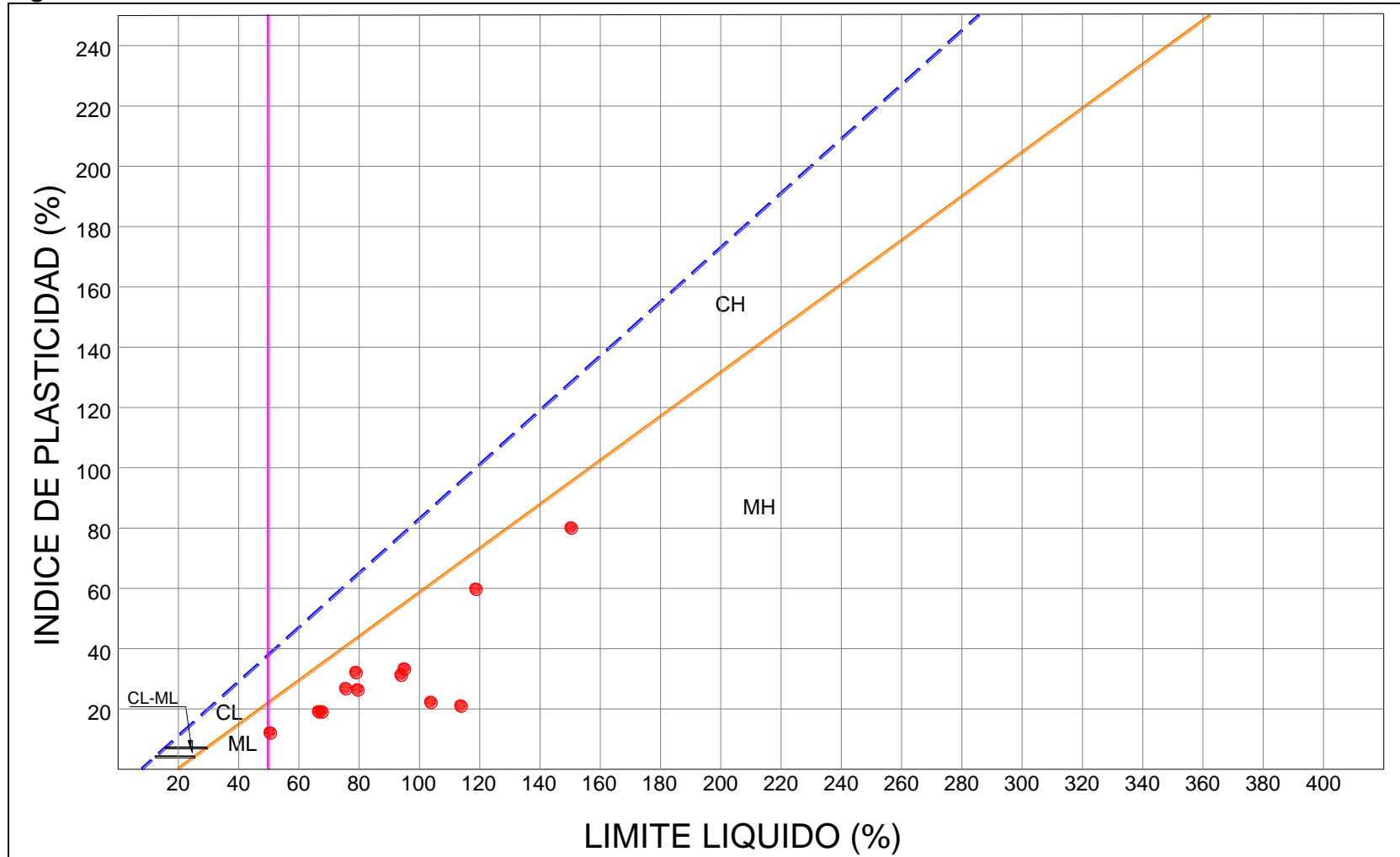
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	16.40	35.15		
Arena	-	-	-	-

Figura 127 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



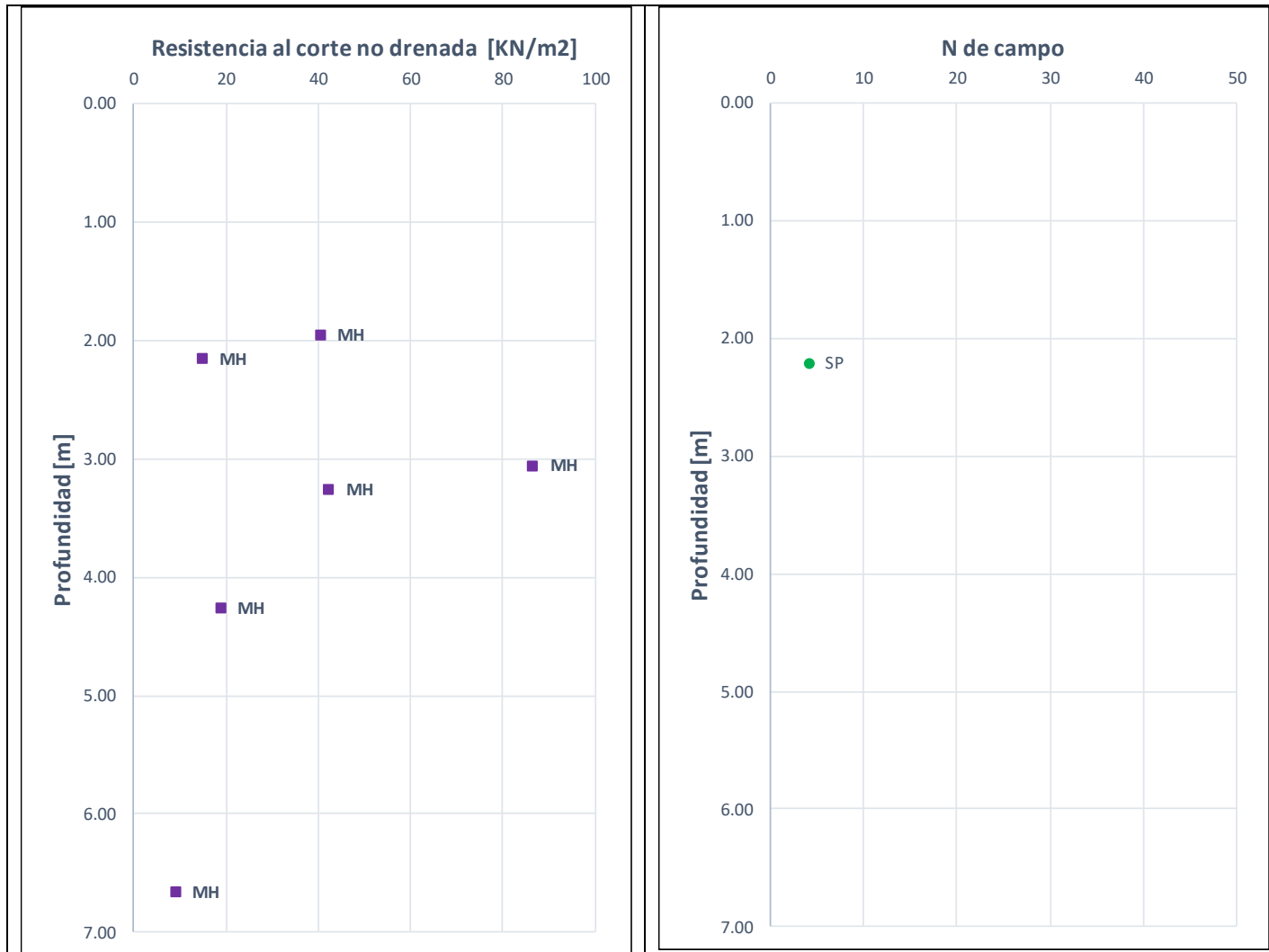
Fuente: WSP, 2019

Figura 128 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 129 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.31 CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2

De la Figura 130 a la Figura 132 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

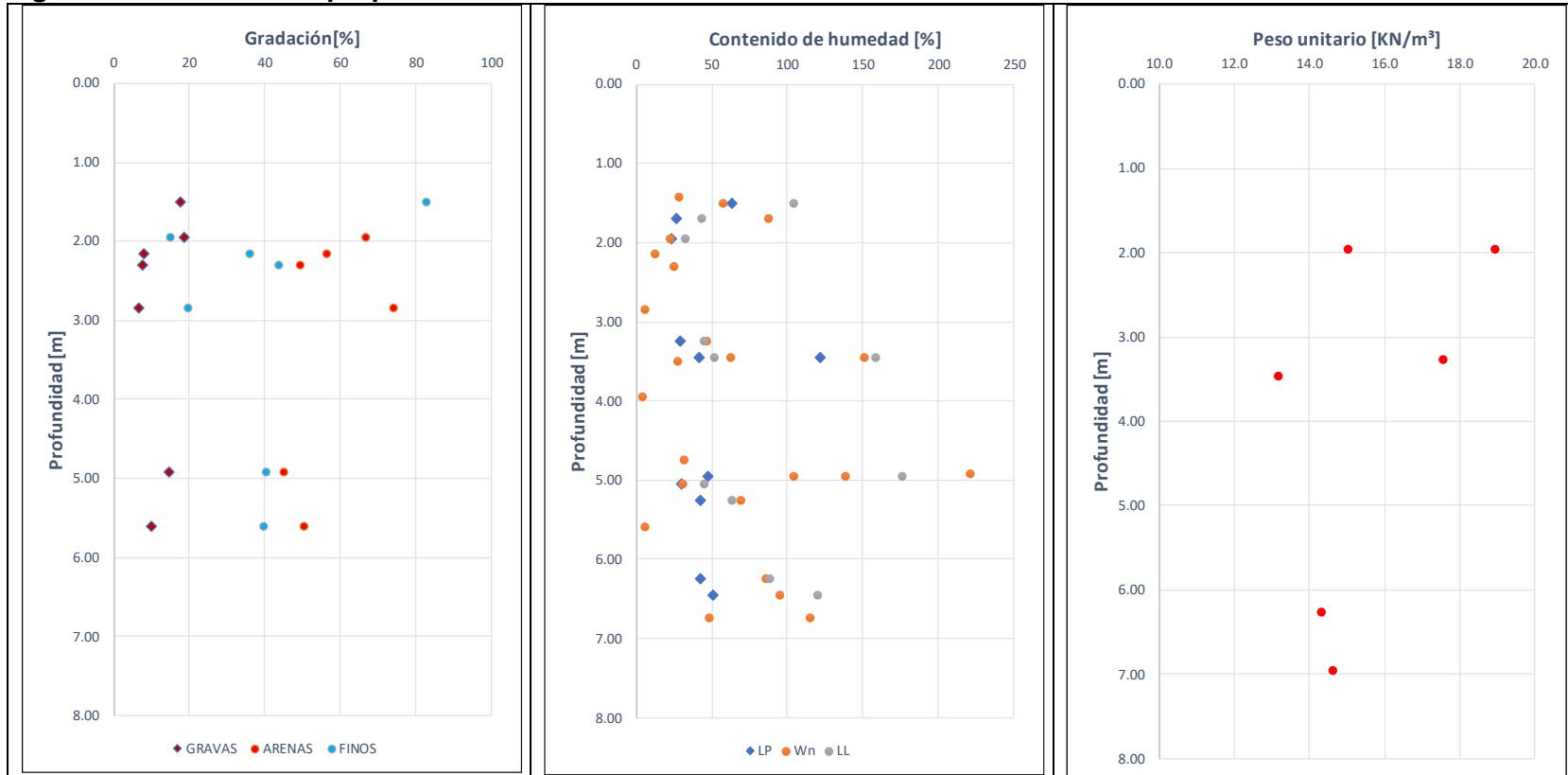
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.7/7.2 m se encuentra un limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda a blanda.
- Entre 0 y 5.3 m se encuentra un limo arcilloso de humedad baja a media, plasticidad baja y consistencia medio firme a firme.
- Entre 3.7 y 5.2 m se encuentra una arcilla limosa de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material sólo se encontró en el sondeo 133.
- Entre 1.7 y 5.9 m se encuentra una arena limosa baja a muy baja y compacidad suelta a media. Este material no se encuentra en el sondeo 133.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 37 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2

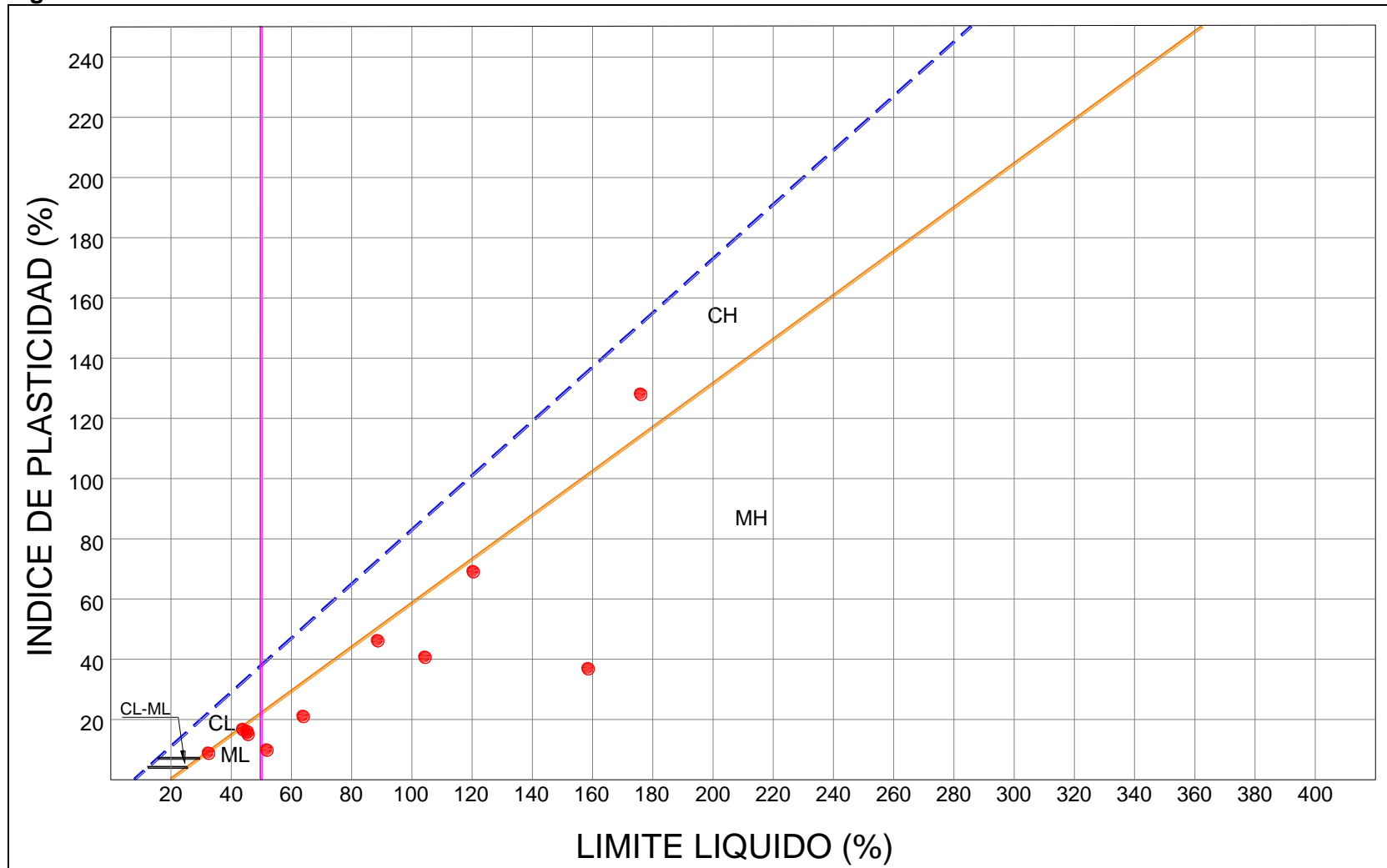
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.93	17.91		
Arcilla limosa				
Arena limosa	18.93			

Figura 130 Variación de propiedades índice - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



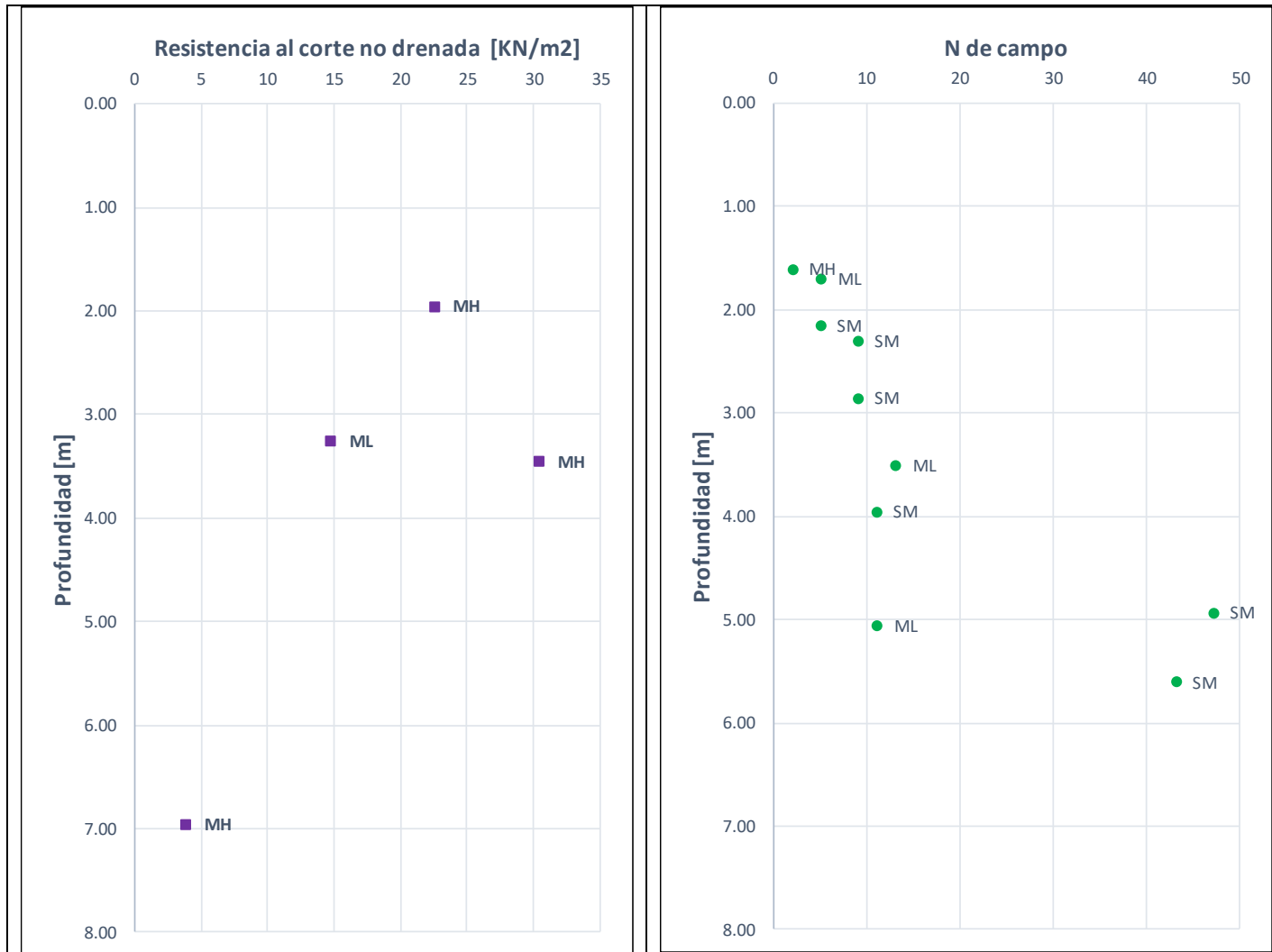
Fuente: WSP, 2019

Figura 131 Carta de Plasticidad - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 132 Variación de resistencia al corte - CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.32 AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7

De la Figura 133 a la Figura 135 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

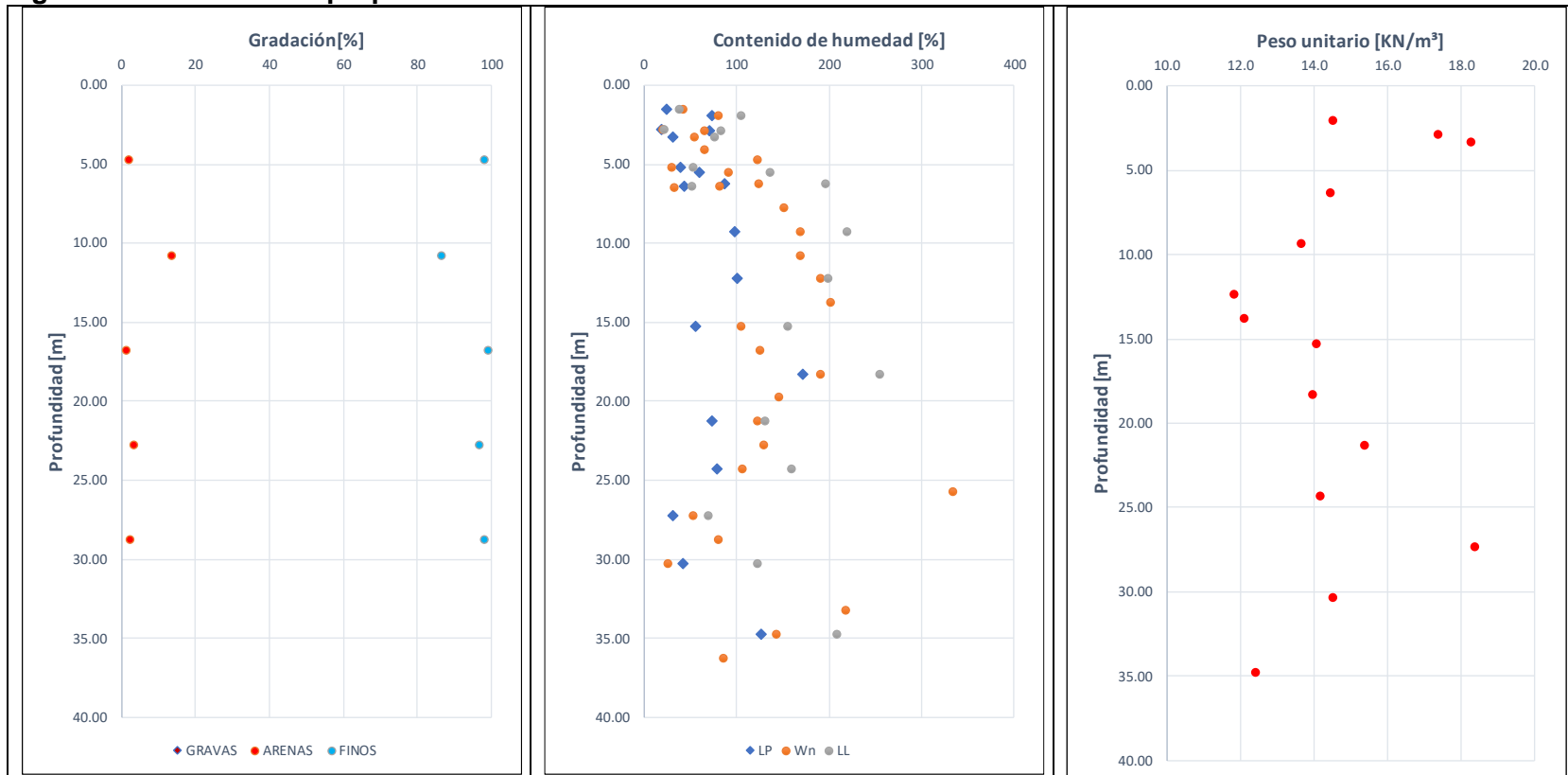
- Entre 0 y 2.1 m se encuentra un limo de humedad media, plasticidad baja y consistencia blanda
- Entre 2.1 y 5 m se encuentra una arcilla de humedad muy baja, ligeramente plástica y consistencia firme.
- Entre 0 y 7 m y hasta una profundidad >7 m se encuentra un limo arcilloso con algo de arena de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda a blanda
- Entre 0 y 5 se me encuentra una arcilla limosa de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 38 Propiedades geotécnicas promedio - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7

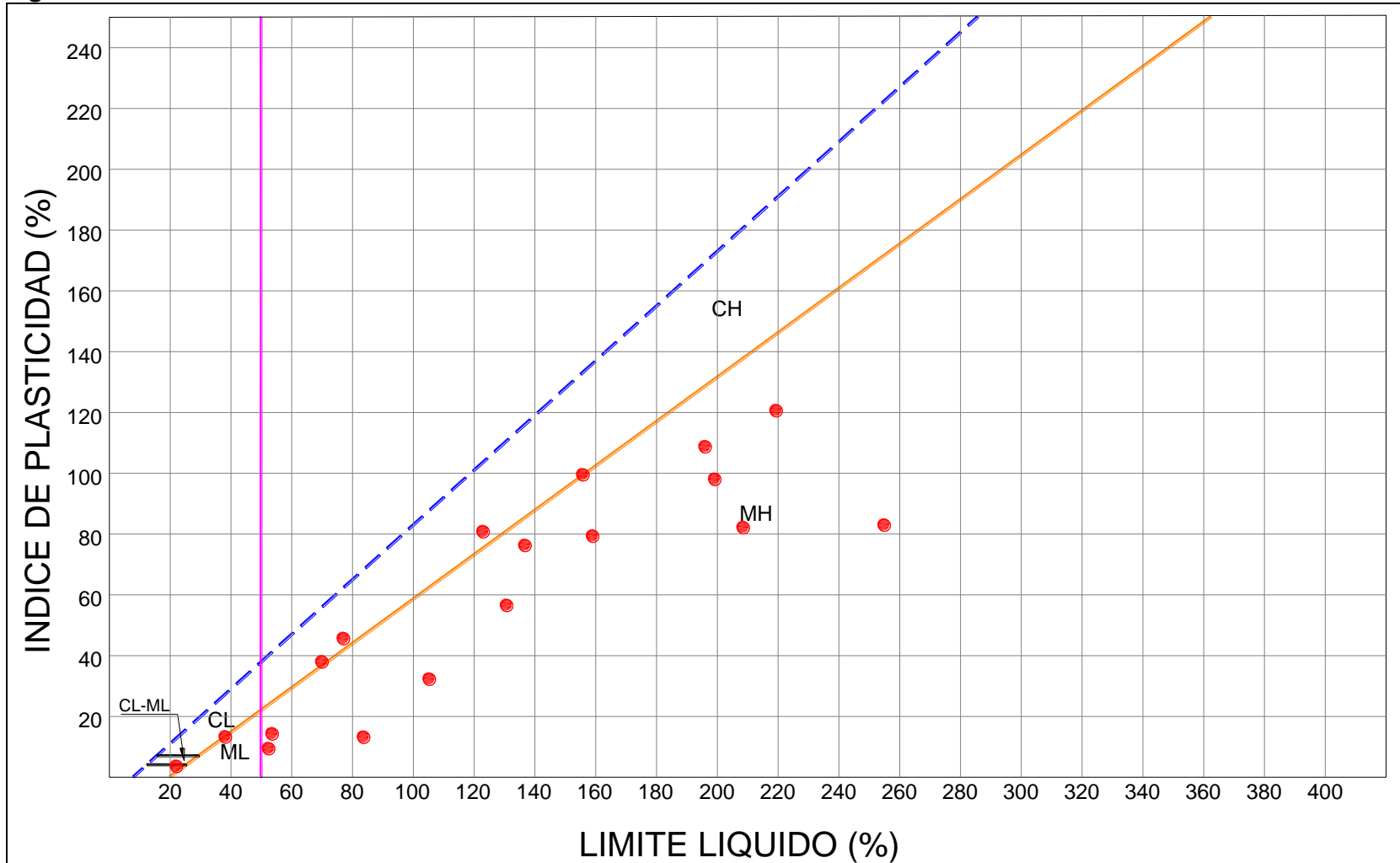
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.59	23.74		
Arcillas limosas	16.51	8.09		

Figura 133 Variación de propiedades índice - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7



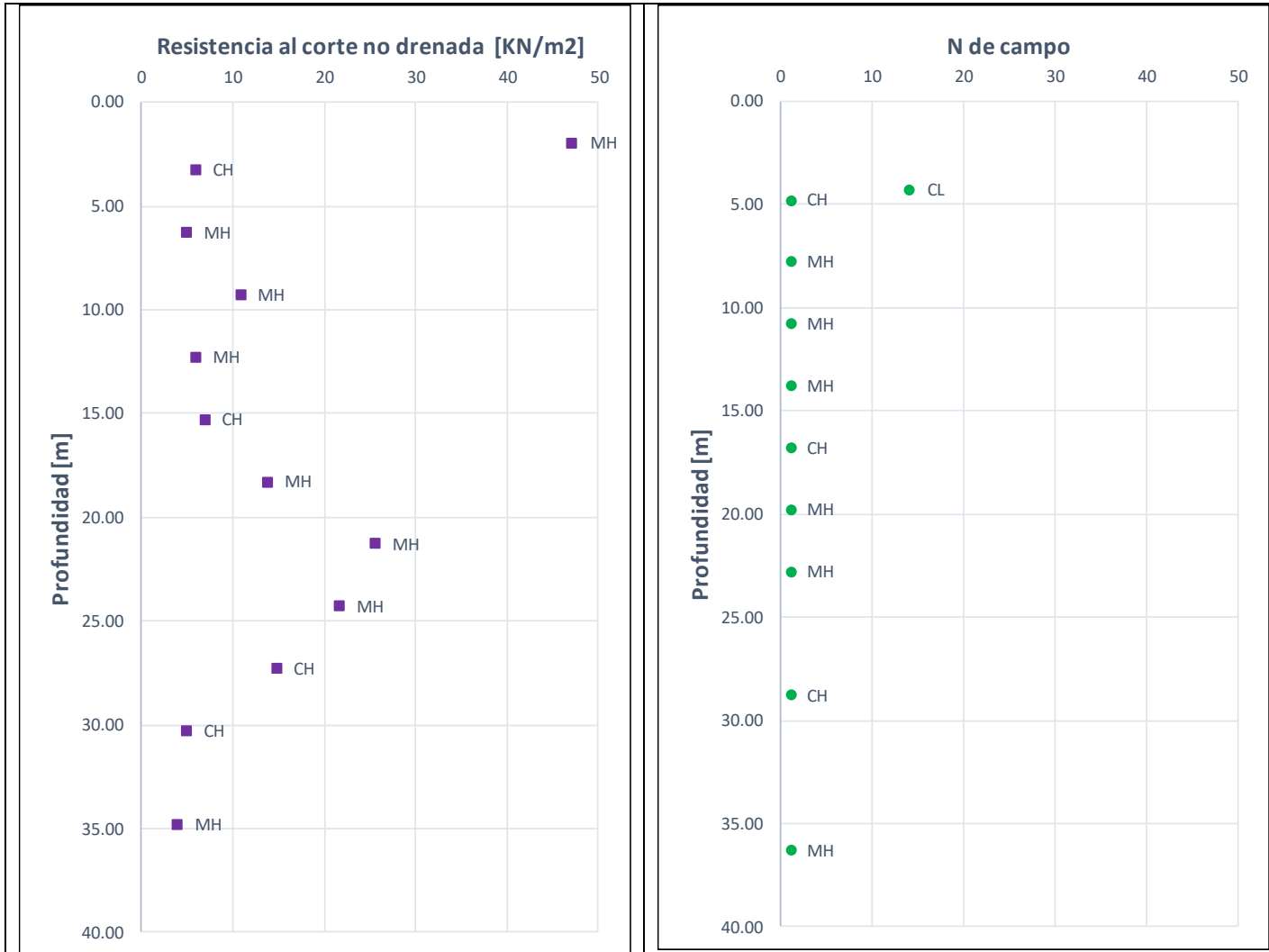
Fuente: WSP, 2019

Figura 134 Carta de Plasticidad - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7



Fuente: WSP, 2019

Figura 135 Variación de resistencia al corte - AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7



Fuente: WSP, 2019

9.3.33 CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1

De la Figura 136 a la Figura 138 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

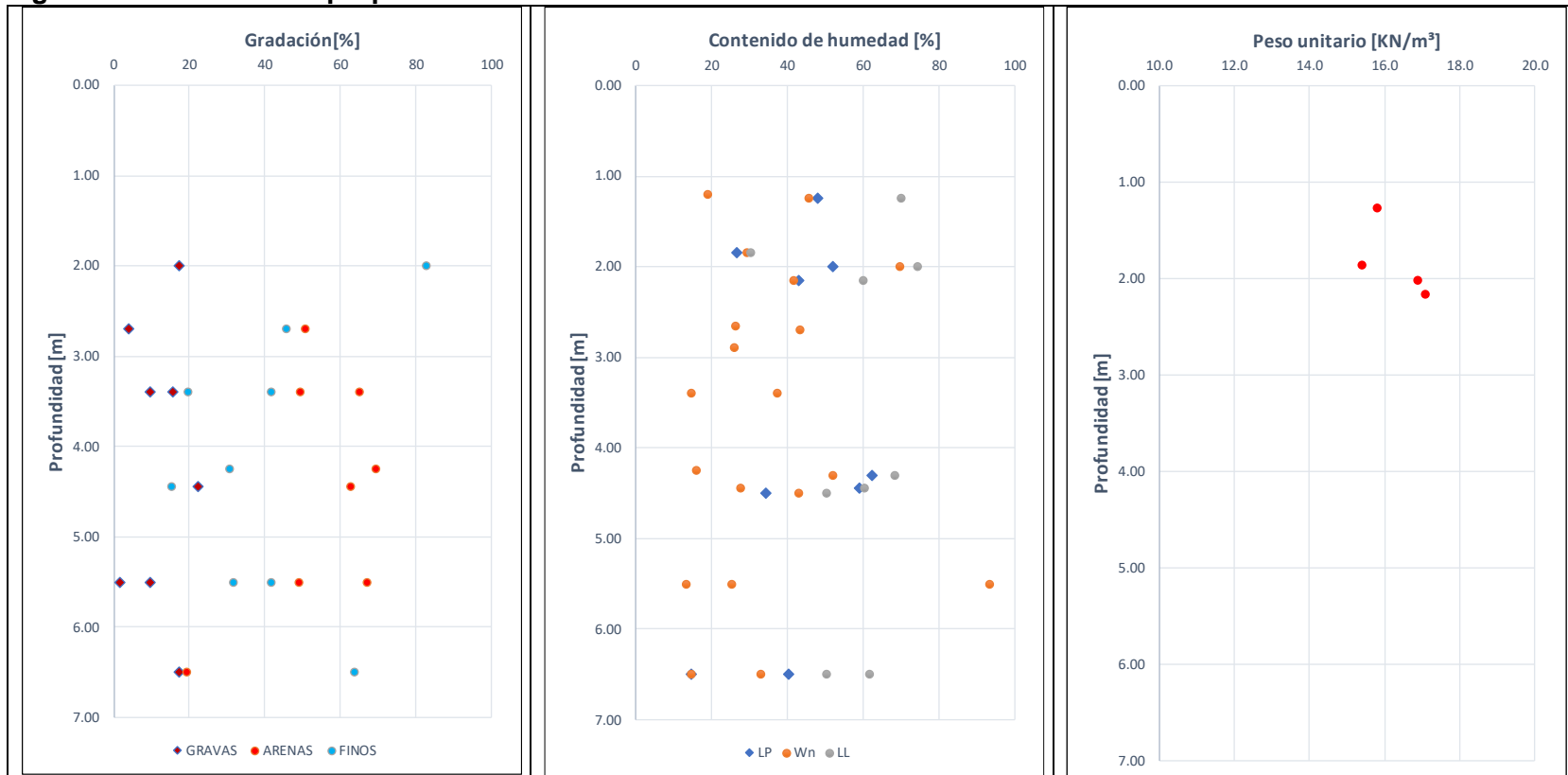
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7 m se encuentra un limo arcilloso de humedad media, plasticidad alta y consistencia medio firme.
- Entre 2.5 y 6 m se encontró una arena limosa de humedad baja y compacidad suelta. Este material no se encontró en el sondeo 141.
- Entre 1.1 y 3.6 se encontró un limo de humedad baja, plasticidad baja y consistencia blanda. Este material solo se encontró en el sondeo 141.
- En algunos sectores entre 6 y 7 m se encuentra una arena arcillosa de humedad muy baja y compacidad suelta.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 39 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1

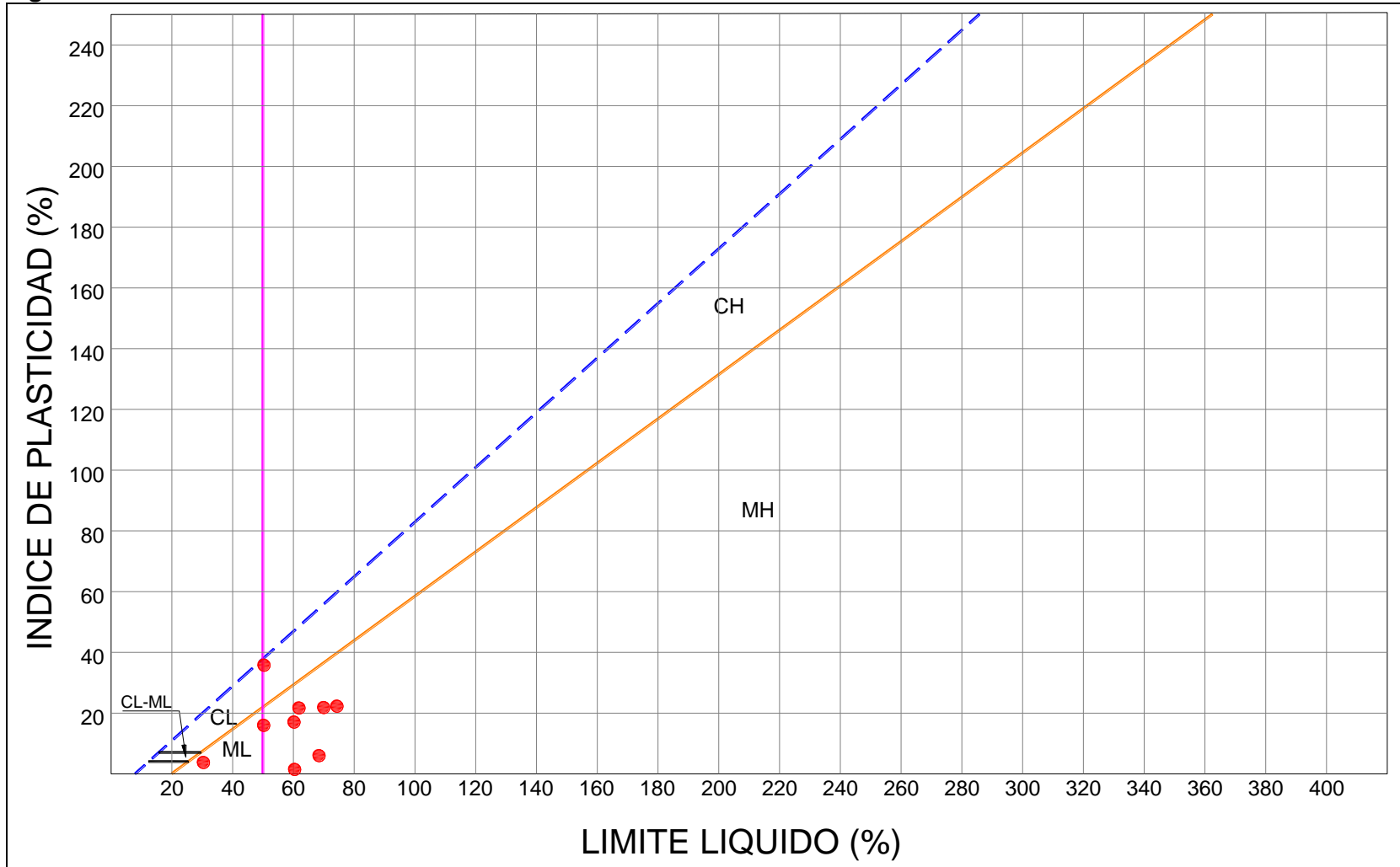
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	16.28	32.37		
Arena Limosa	-	-	-	-
Arena arcillosa	-	-	-	-

Figura 136 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



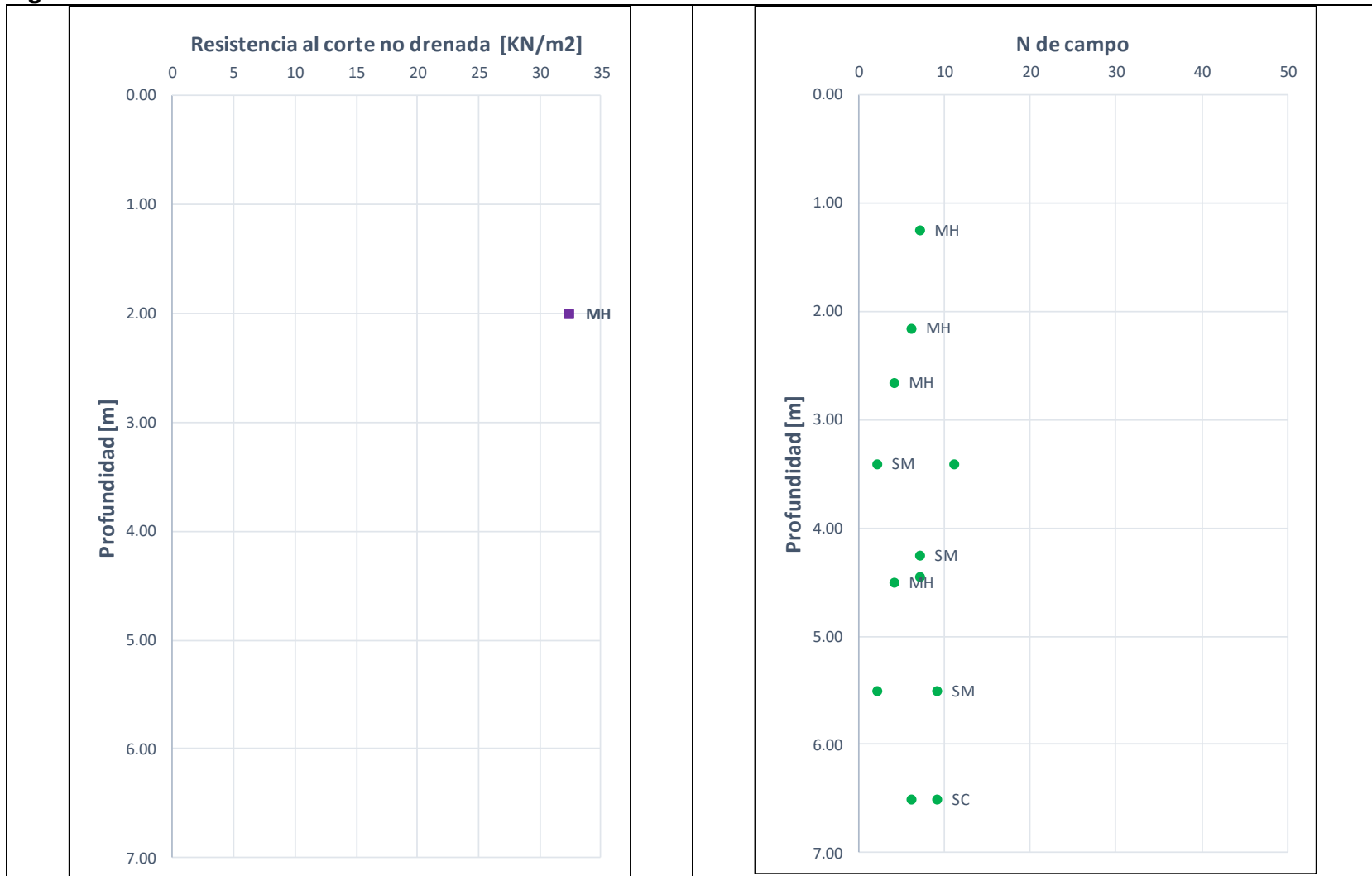
Fuente: WSP, 2019

Figura 137 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 138 Variación de resistencia al corte - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.34 CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2

De la Figura 139 a la Figura 141 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

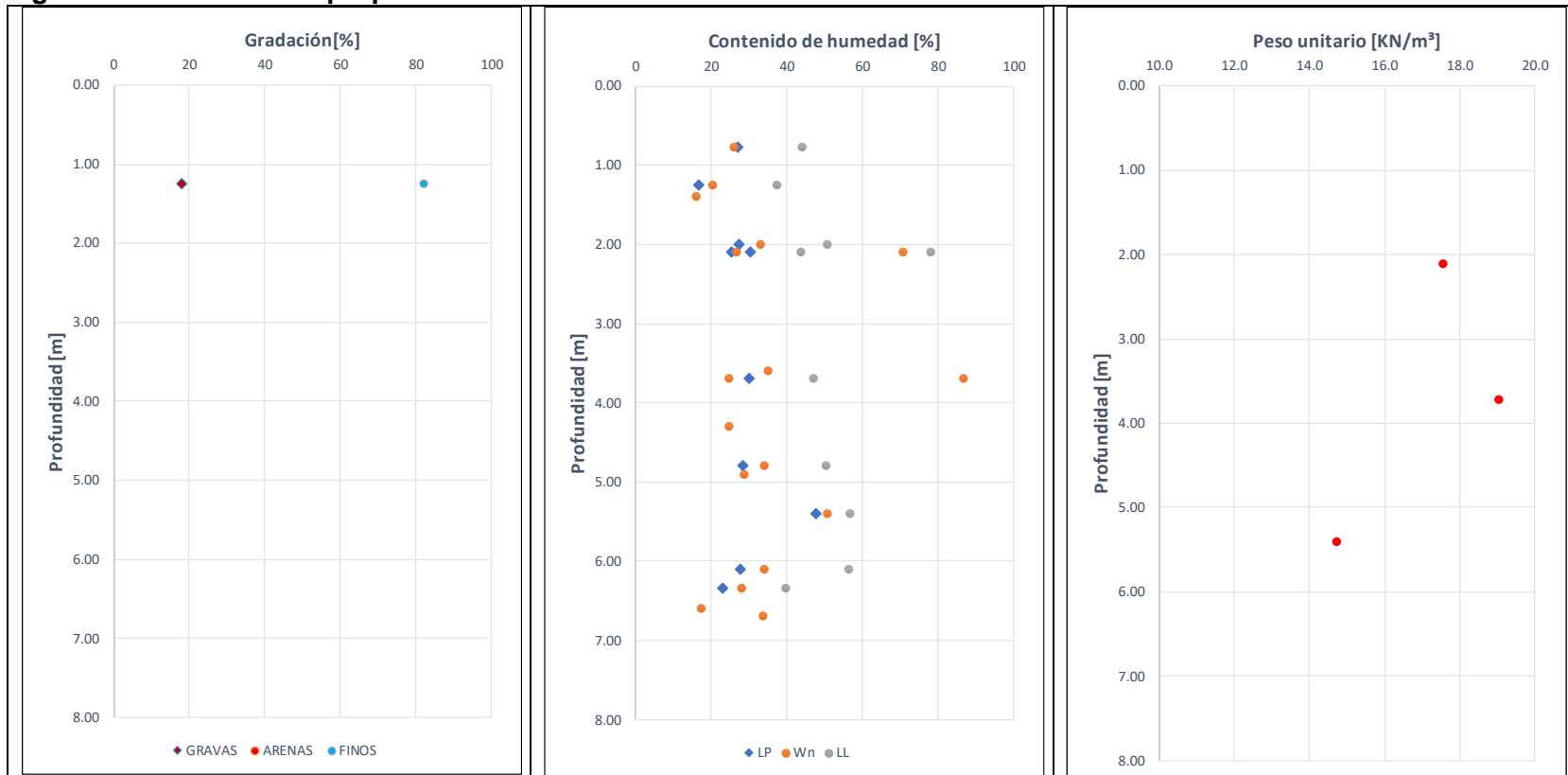
- Entre 0 y 5.2 m se encuentra un limo de humedad baja, plasticidad media y consistencia firme a muy firme. Este material no se encontró en el sondeo 144.
- Entre 1.8 y 7 m se encuentra una arcilla de humedad media a alta, plasticidad alta y consistencia medio firme a firme.
- Superficialmente y hasta 2.4/7 m se encuentra una arcilla de humedad muy baja a baja, plasticidad media y consistencia firme.
- Entre 5.1 y 5.7 se encuentra un limo arcilloso de humedad media, plasticidad alta y consistencia medio firme. Este material solo se encontró en el sondeo 145
- Entre 6.2 y 7 se encuentra una arena limosa de humedad muy baja y compacidad suelta. Este material solo se encontró en el sondeo 144.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 40 Propiedades geotécnicas promedio - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2

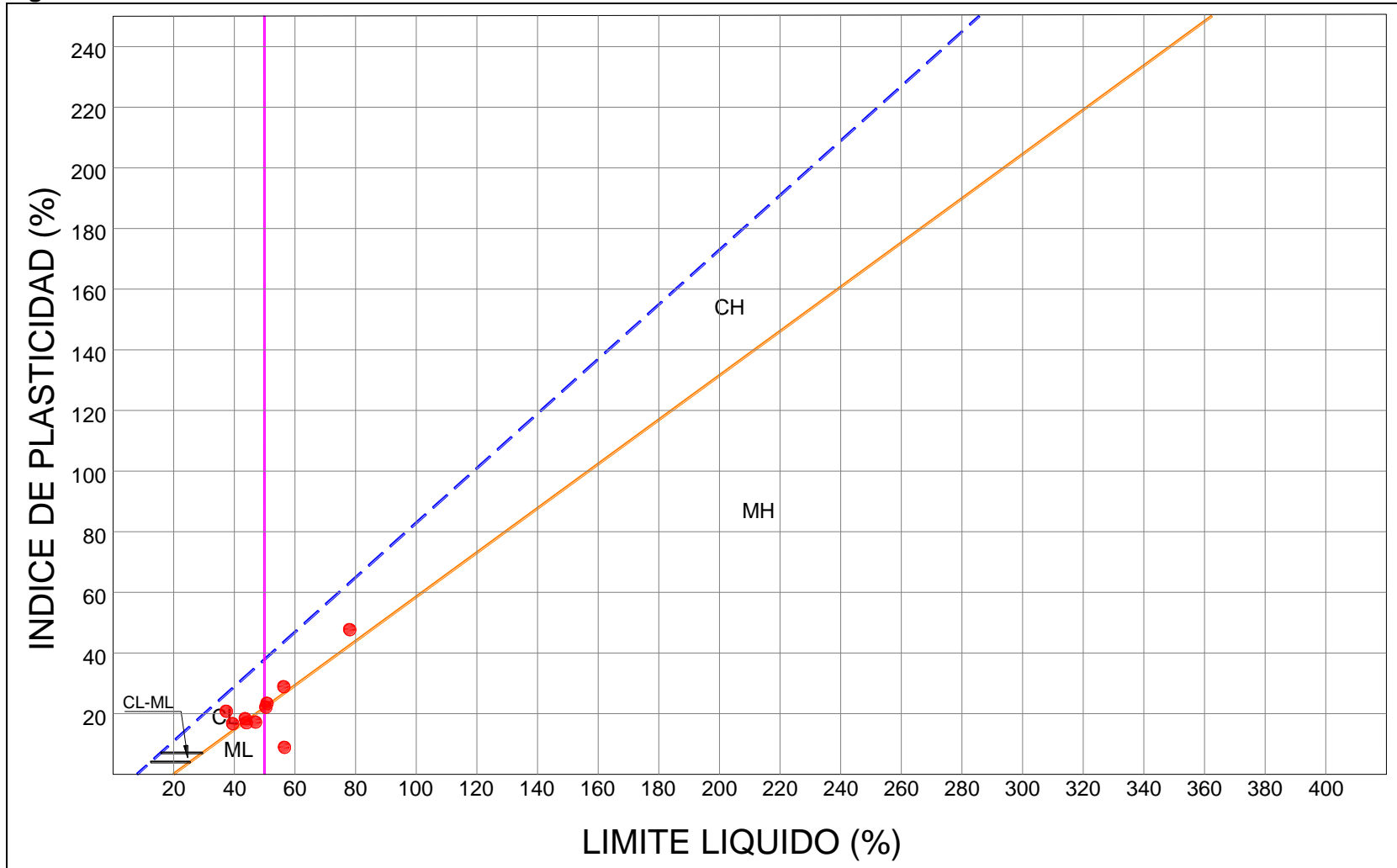
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo	16.87	-	-	-
Arcillas Limosa	17.56	-	-	-
Arena Limosa	-	-	-	-

Figura 139 Variación de propiedades índice - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



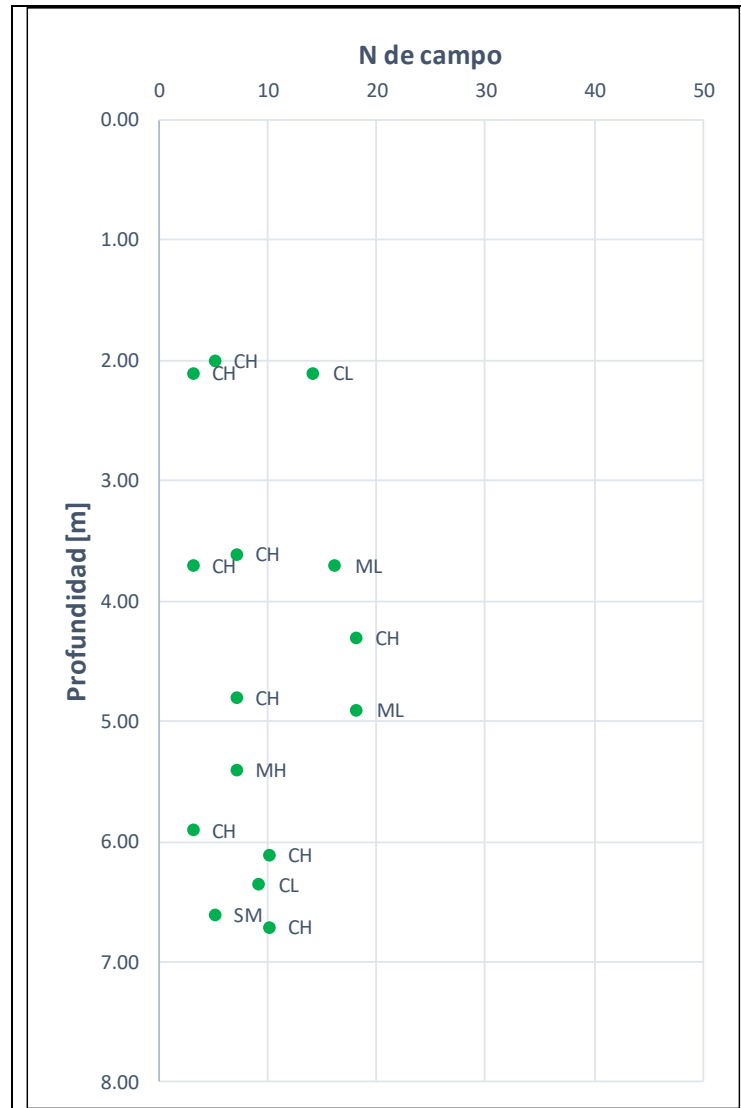
Fuente: WSP, 2019

Figura 140 Carta de Plasticidad - CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 141 Variación de resistencia al corte -CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.35 AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210

De la Figura 142 a la Figura 144 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

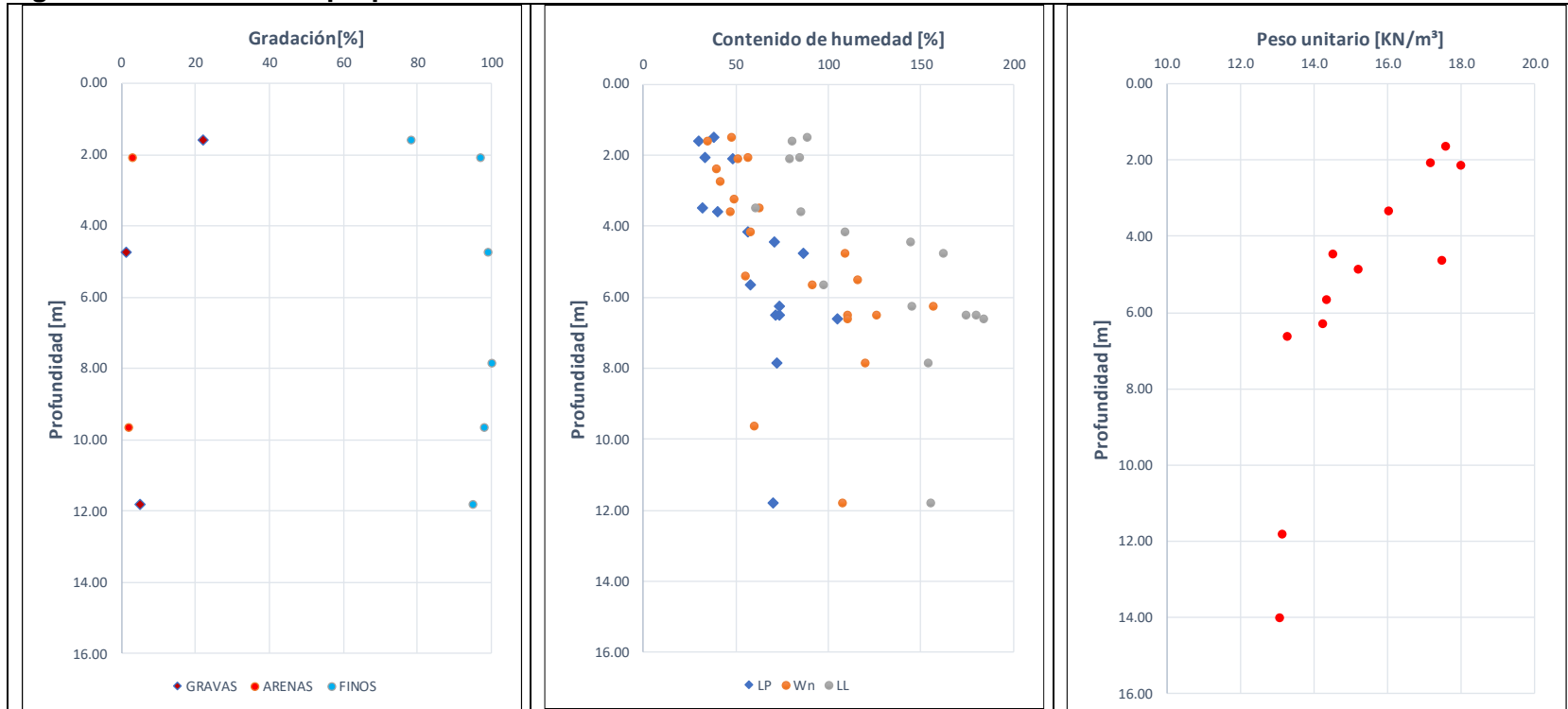
- Superficialmente y hasta una profundidad de 8.2/>12 m se encuentra un limo de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 3.9 m en algunos sectores se encuentra una arcilla limosa de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme. Este material no se encontró en los sondeos 156 y 15 prof y en el sondeo 16 prof se encuentra entre. 8.2 y 13 m.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 41 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210

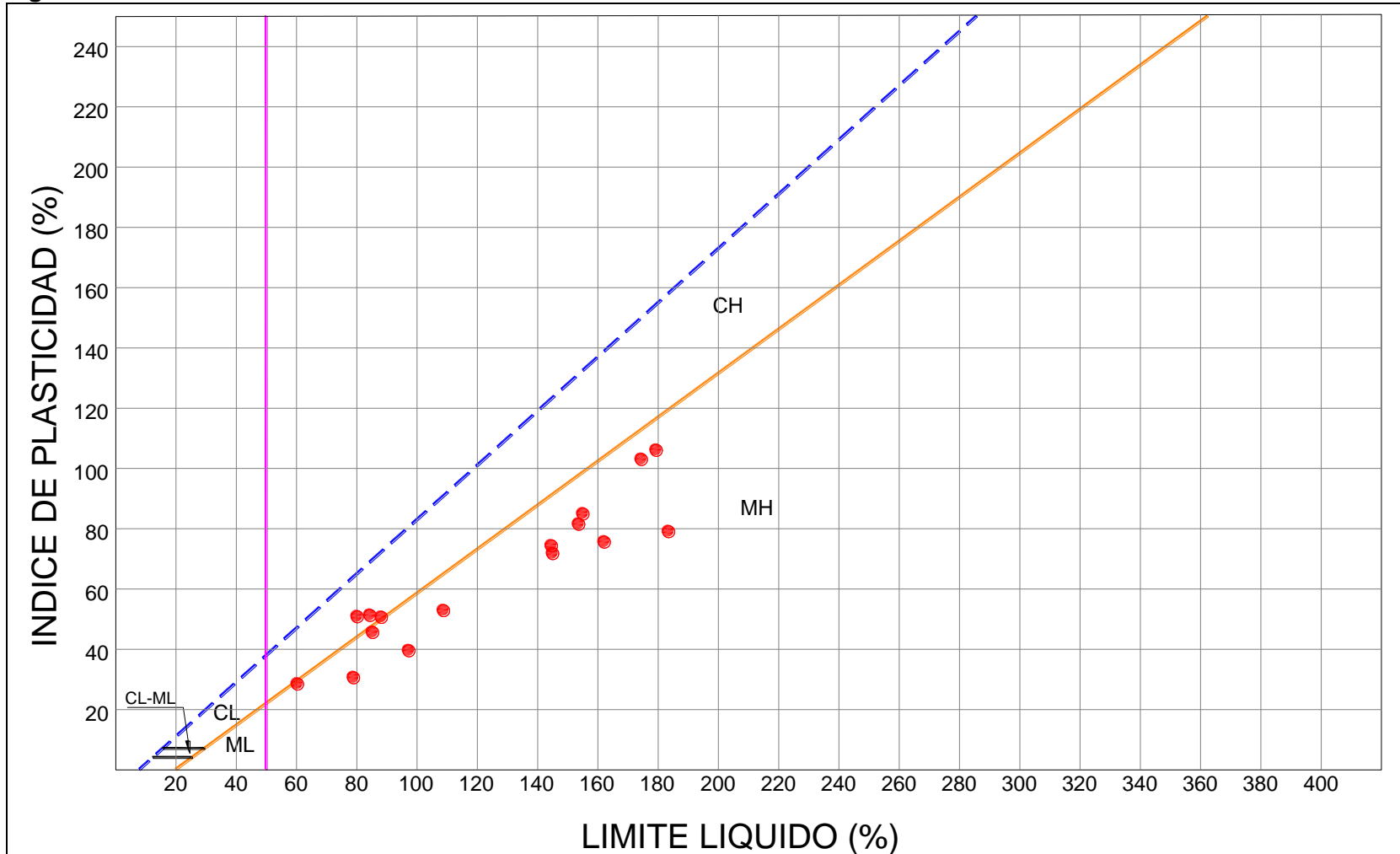
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.91	25.31		
Arcillas limosas	17.36	51.50		

Figura 142 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210



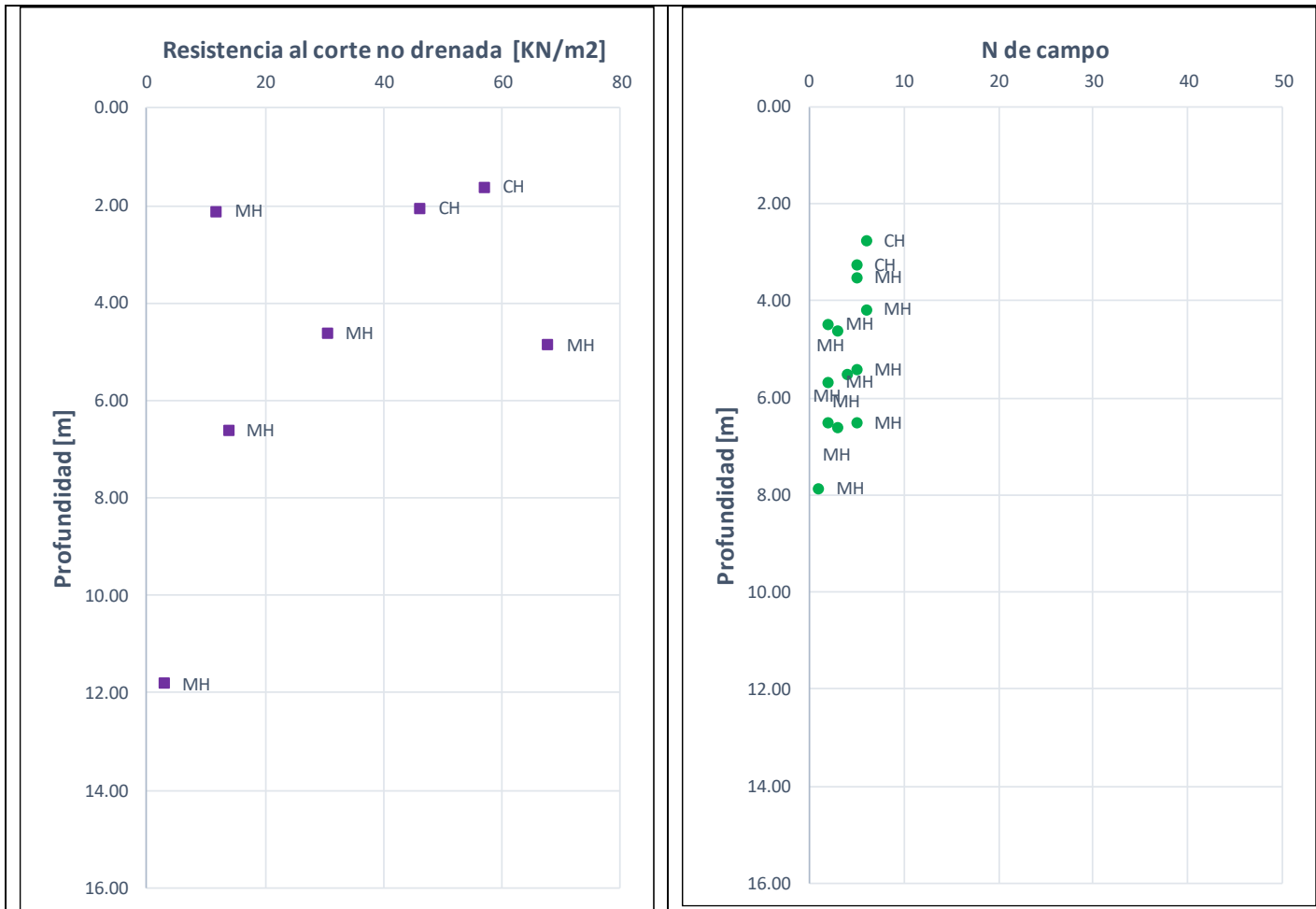
Fuente: WSP, 2019

Figura 143 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210



Fuente: WSP, 2019

Figura 144 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210



Fuente: WSP, 2019

9.3.36 AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1

De la Figura 145 a la Figura 147 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

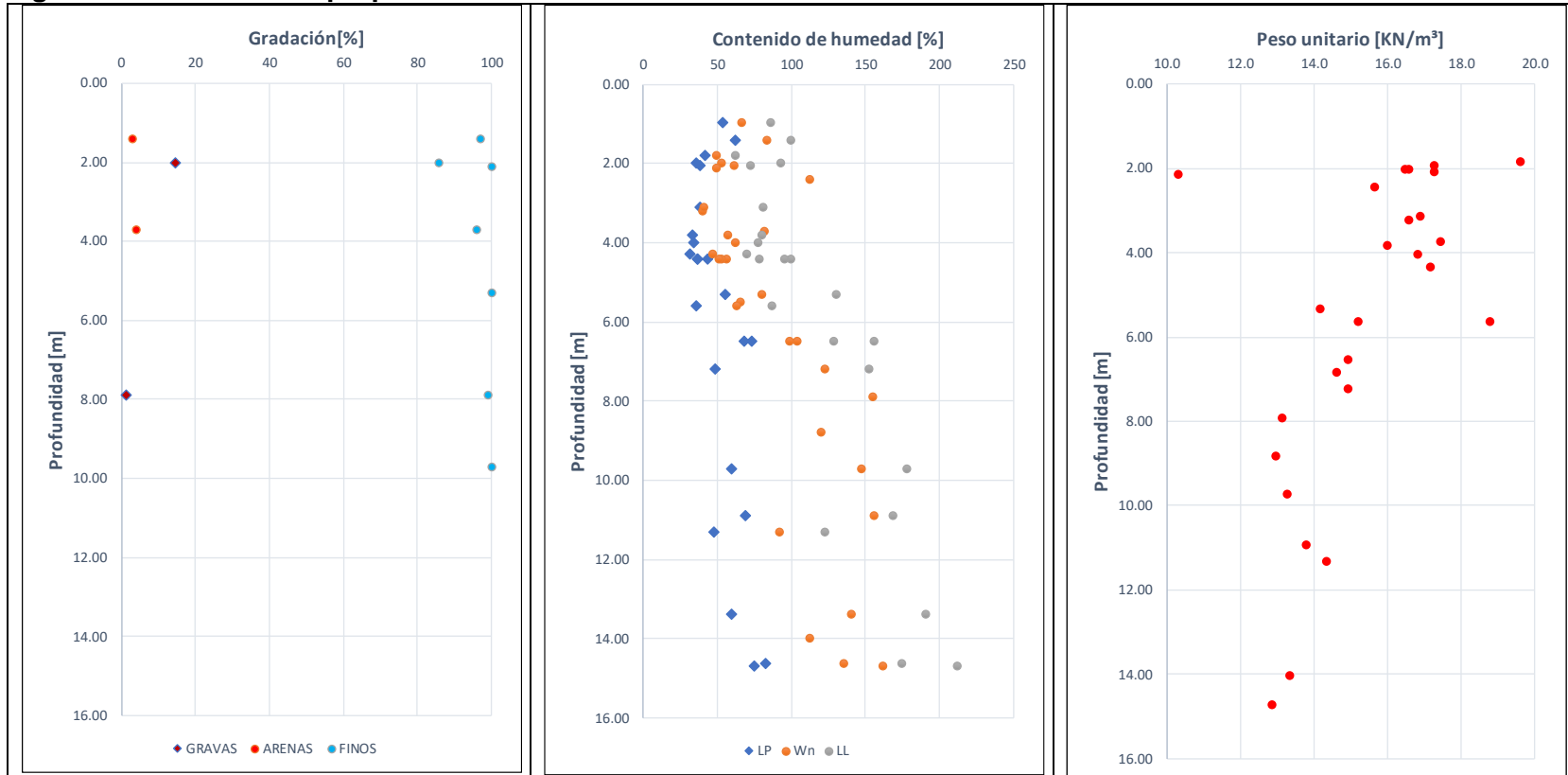
- Superficialmente y hasta una profundidad de 1.7/>9.1 m se encuentra un limo arcilloso de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.
- Entre 0 y 9 m se encuentra una arcilla limosa de media, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en el sondeo 157.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 42 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1

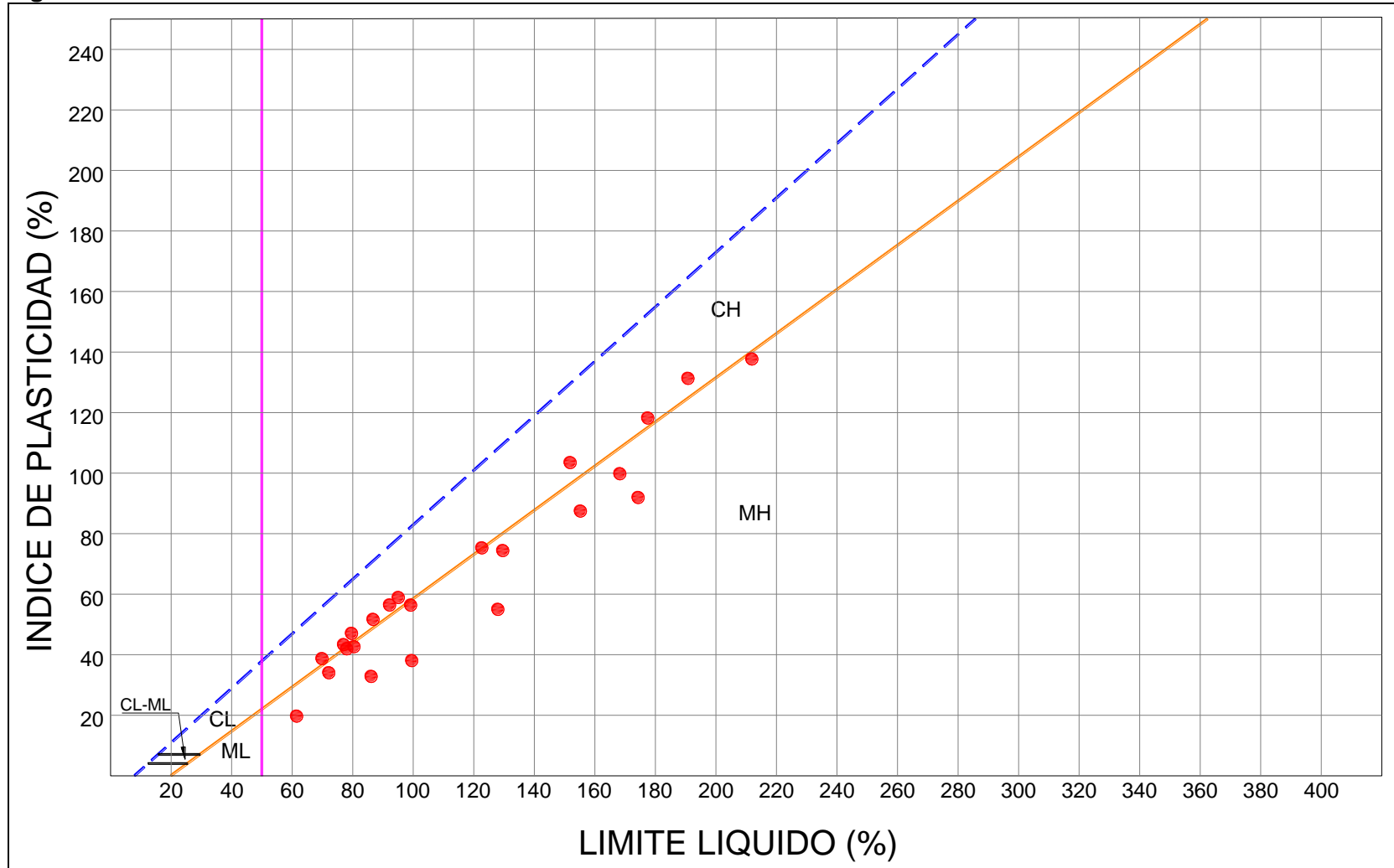
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.12	19.08		
Arcillas limosas	15.70	15.01		

Figura 145 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 146 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

Figura 147 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1



Fuente: WSP, 2019

9.3.37 AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2

De la Figura 148 a la Figura 150 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

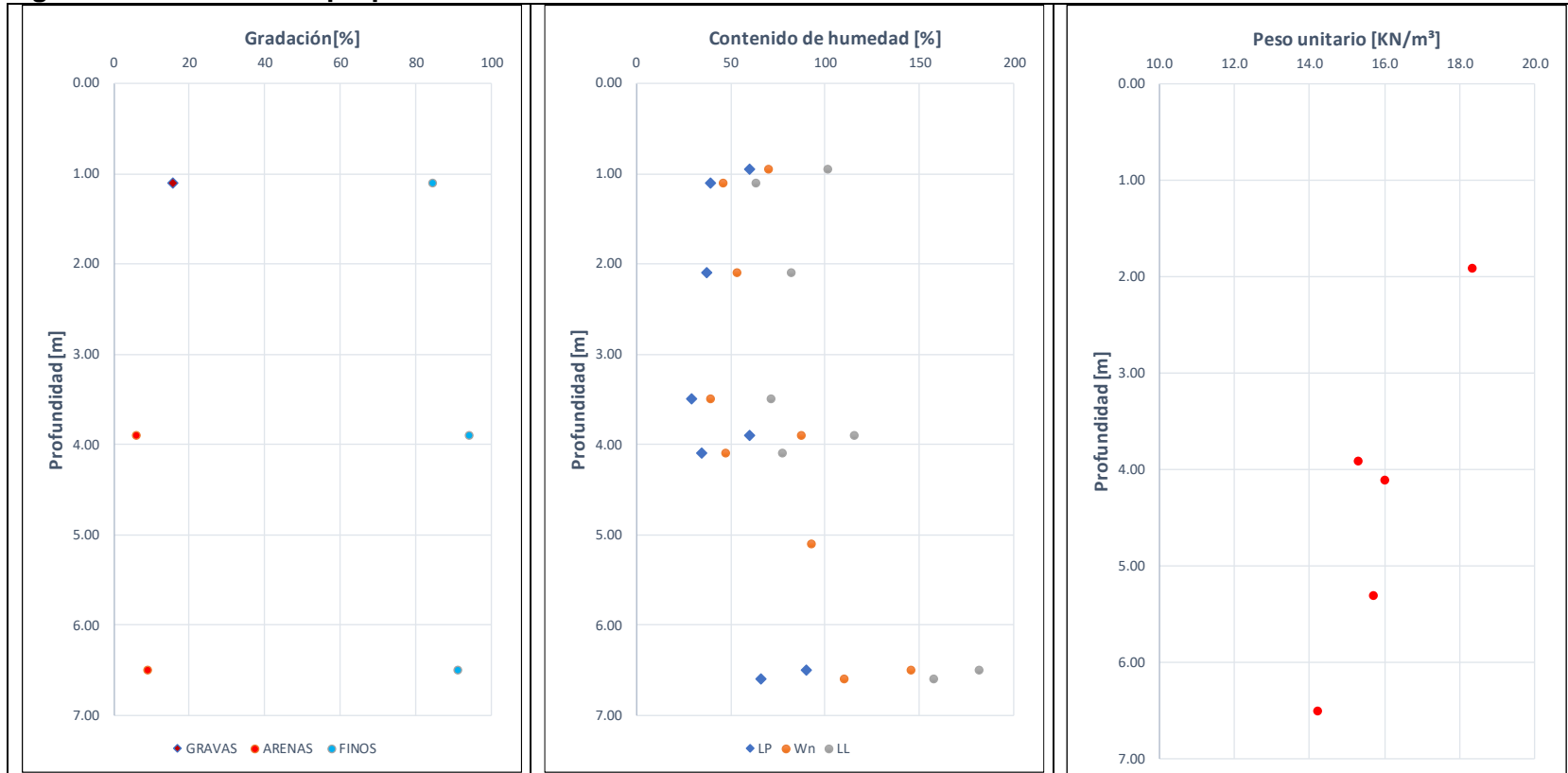
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7 m se encuentra una capa de limo arcilloso de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.
- Entre 2.2 y 5.6 m se encuentran arcillas de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 43 Propiedades geotécnicas promedio - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2

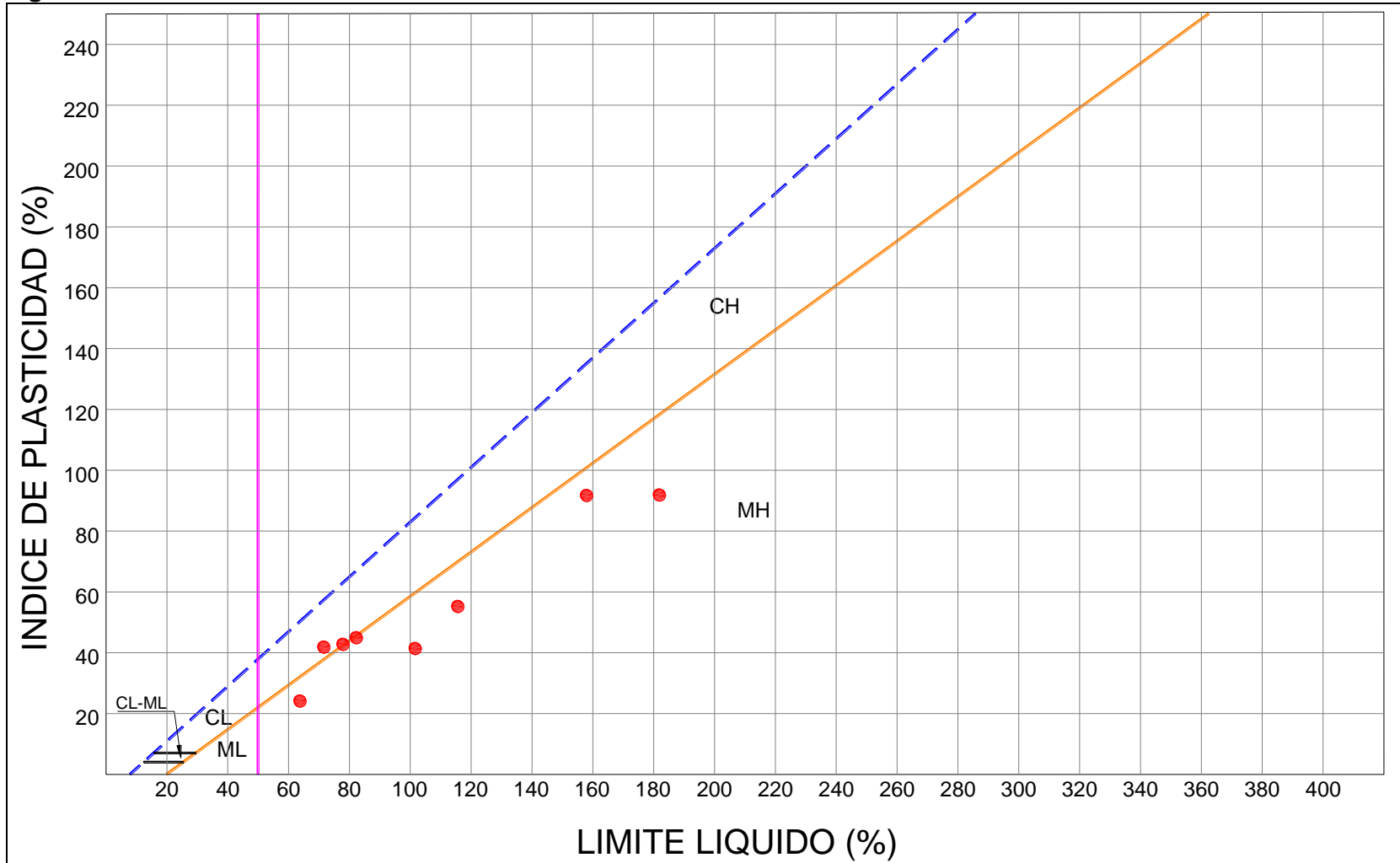
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.96	74.07		
Arcillas limosas	15.84	18.64		

Figura 148 Variación de propiedades índice - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



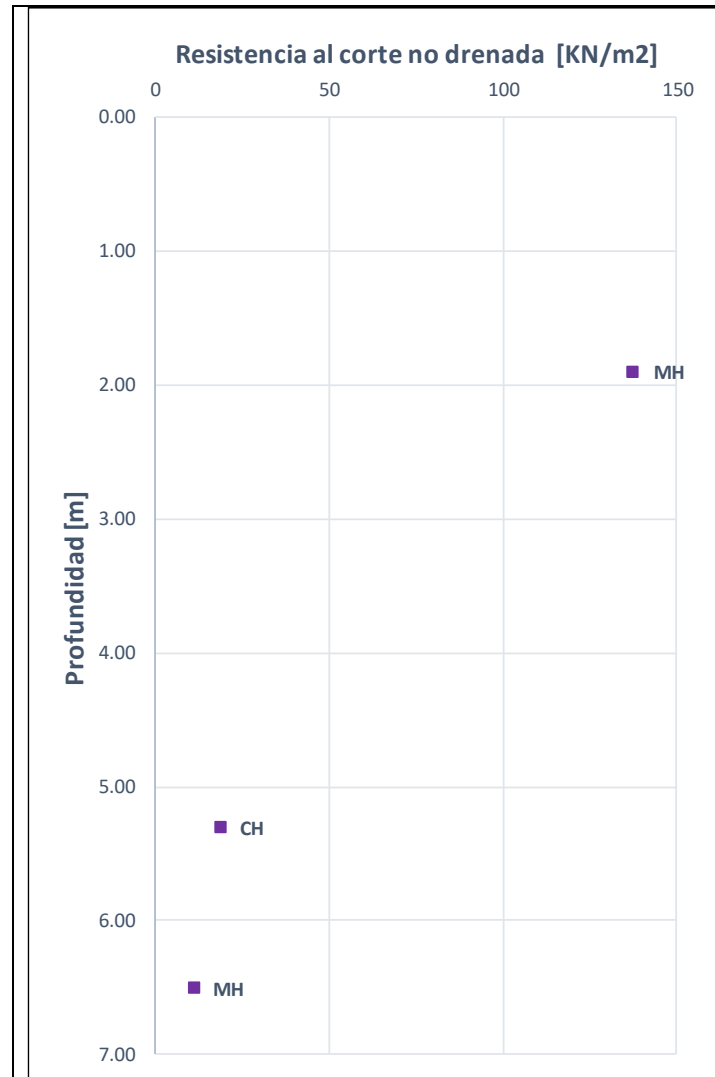
Fuente: WSP, 2019

Figura 149 Carta de Plasticidad - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

Figura 150 Variación de resistencia al corte - AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2



Fuente: WSP, 2019

9.3.38 AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).

De la Figura 151 a la Figura 153 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

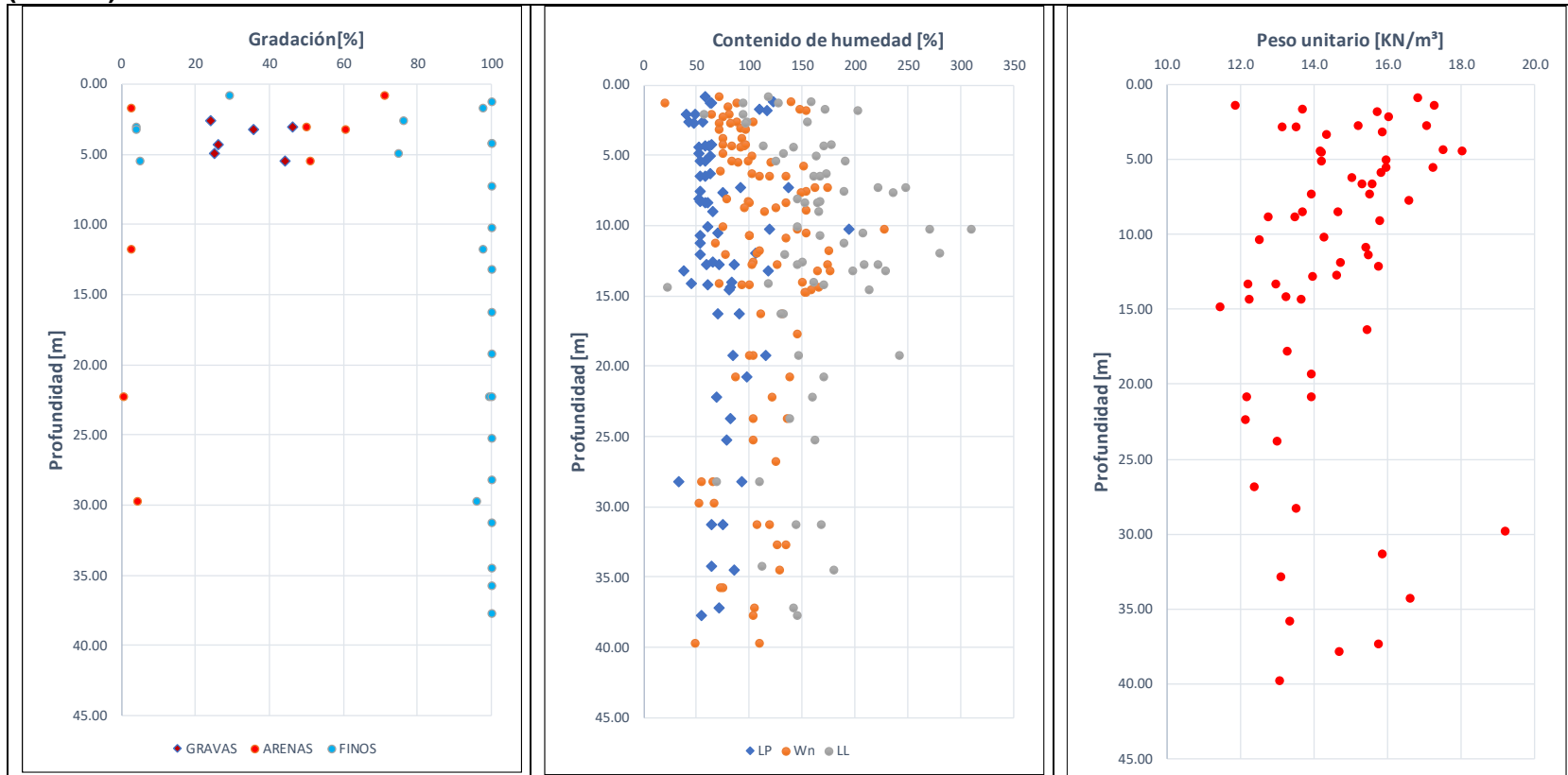
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.1/15 m se encuentran limos arcillosos de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta consistencia blanda a medio firme.
- En el sondeo 175 se encuentran superficialmente y hasta una profundidad de 2.1 m limos de humedad baja, plasticidad media y consistencia medio firme.
- En algunos sectores entre 0 y 5.2 m se encuentran arenas limosas o arcillosas de humedad media a alta y compacidad suelta.
- En algunos sectores entre 2.7 y 15 m se encuentran arcillas de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 44 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).

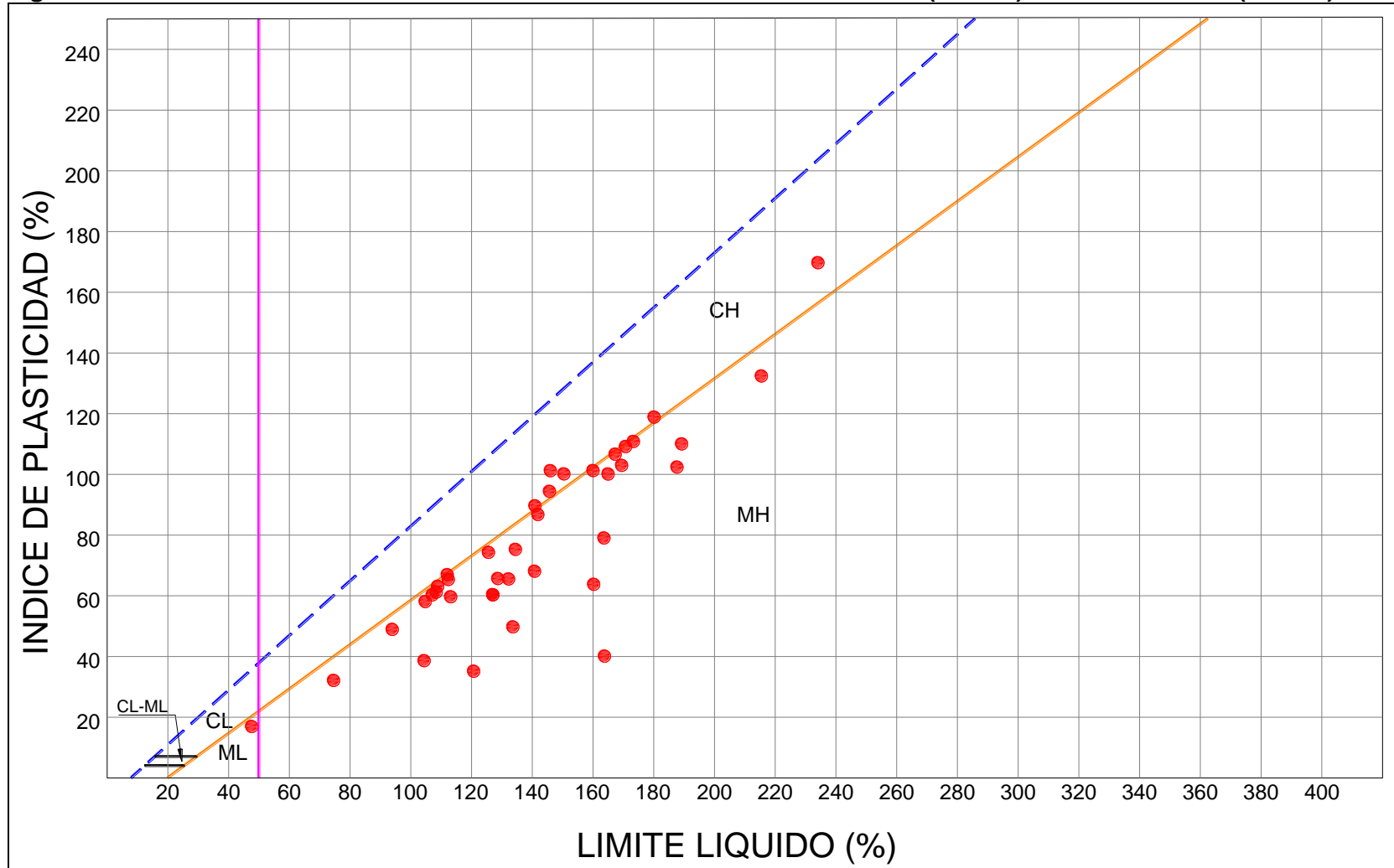
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, ϕ' [°]	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	14.76	9.75		
Arena limosa	-	-	-	-
arcillas	14.69	10.05	-	-

Figura 151 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).



Fuente: WSP, 2019

Figura 152 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).



Fuente: WSP, 2019

Figura 153 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222).



Fuente: WSP, 2019

9.3.39 AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).

De la Figura 154 a la Figura 156 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

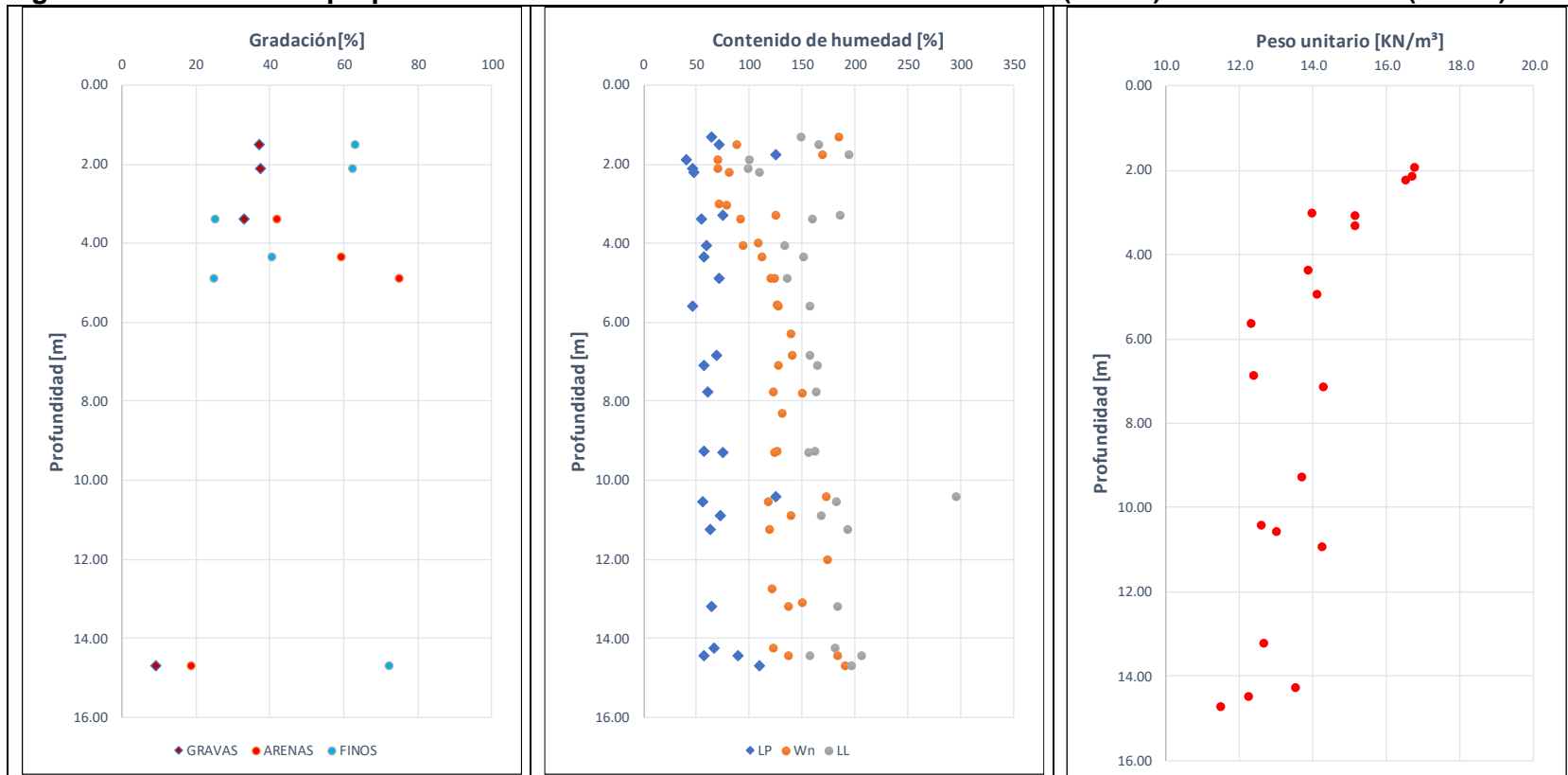
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.4/15 m se encuentran limos arcillosos de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.
- Entre 3.7 y 15 m se encuentran arcillas de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda. Sin embargo, en el sondeo 181 superficialmente y hasta una profundidad de 3.8 m se encuentran arcillas limosas de similares propiedades a las descritas.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 45 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)

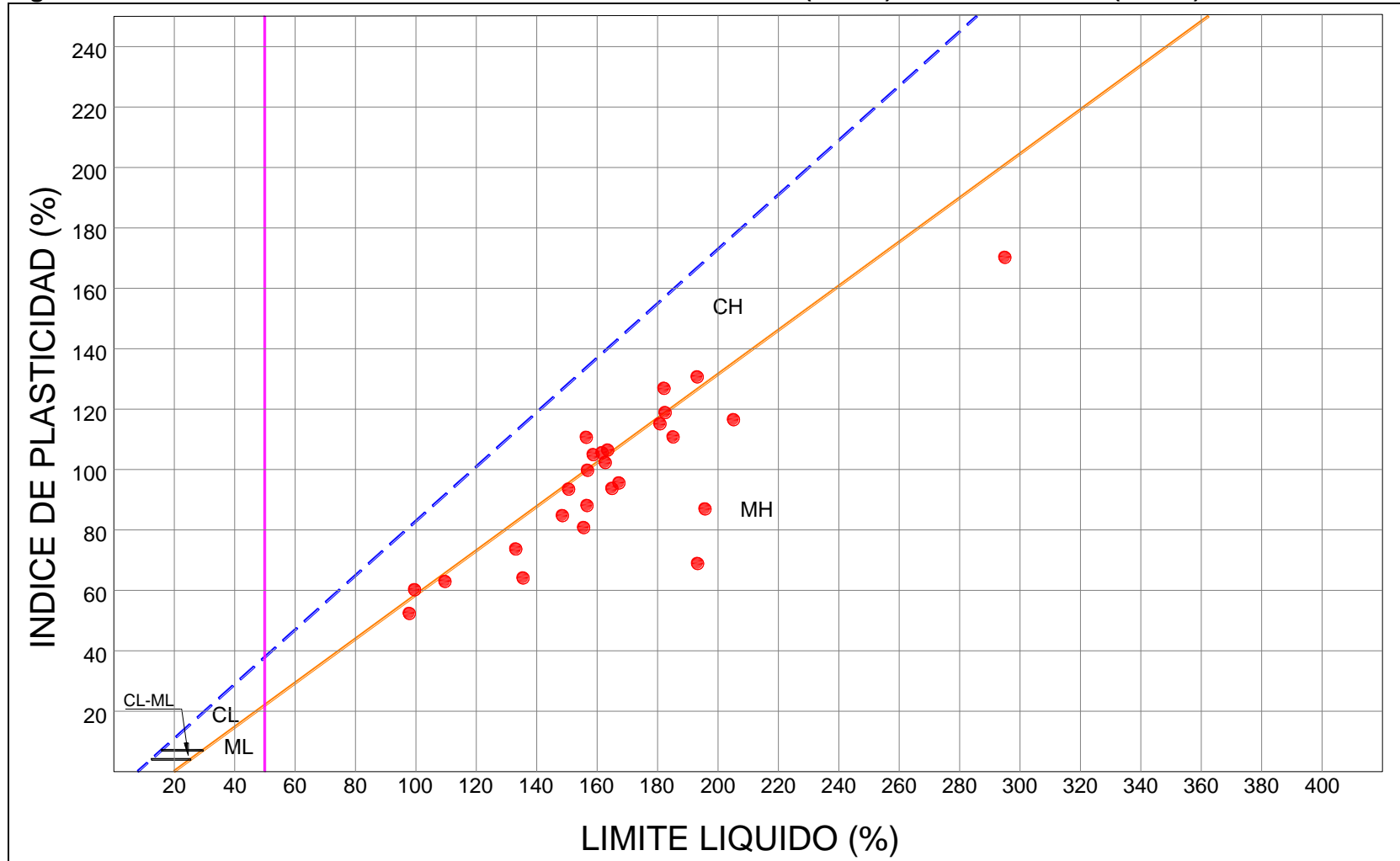
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.97	6.45		
Arcillas limosas	13.77	5.56		
Arenas	13.94	13.73		

Figura 154 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)



Fuente: WSP, 2019

Figura 155 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)



Fuente: WSP, 2019

Figura 156 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).



Fuente: WSP, 2019

9.3.40 AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.

De la Figura 157 a la Figura 159 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

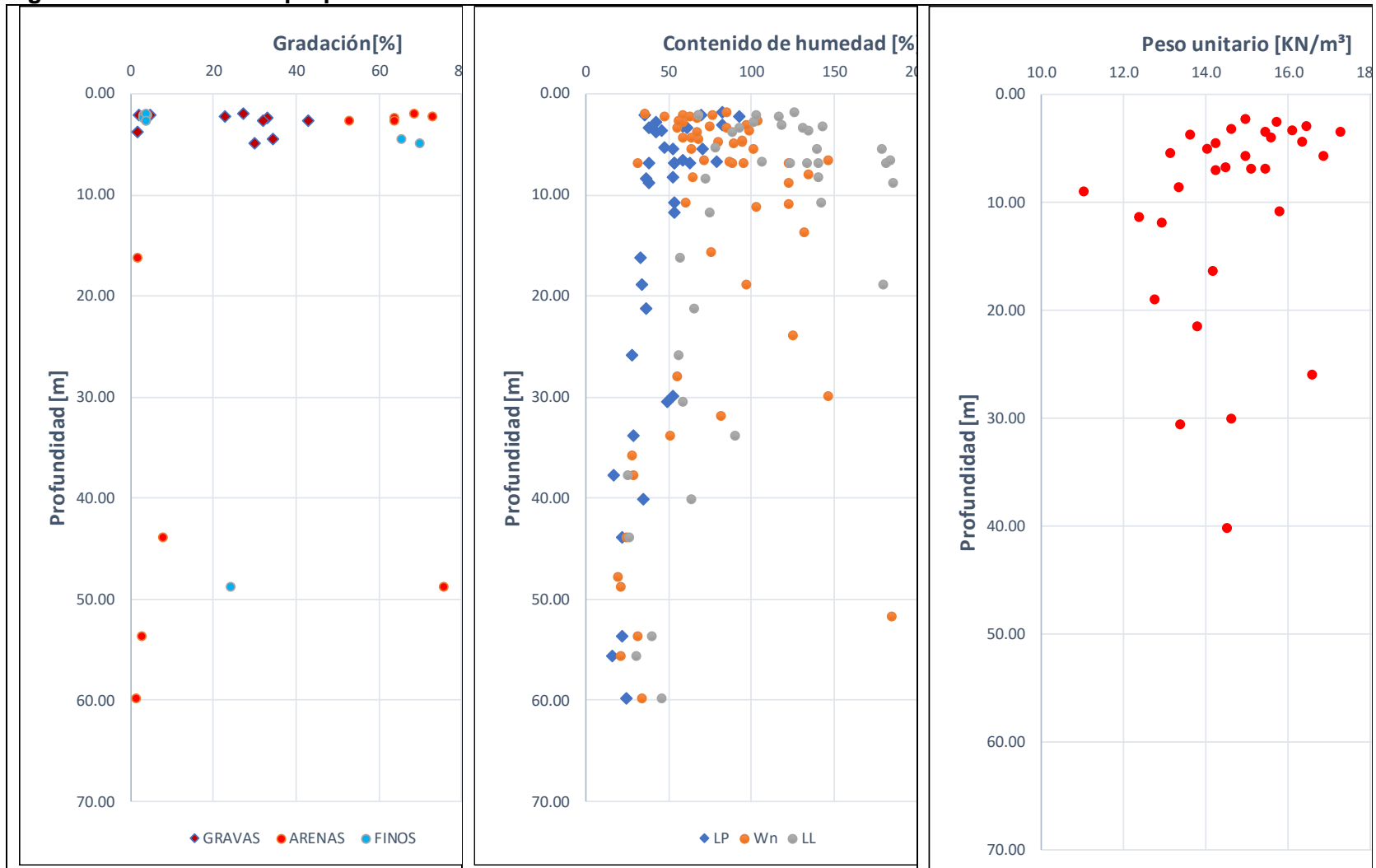
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.1/12 m se encuentra una capa de limos arcillosos de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda a blanda
- Entre 2.7 y 12 m se encuentran arcillas limosas de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a muy blanda. Este material no fue encontrado en los sondeos 163, 165 y 166.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.7/3.1 m se encuentran arenas de humedad media y compactidad suelta

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 46 Propiedades geotécnicas promedio - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN

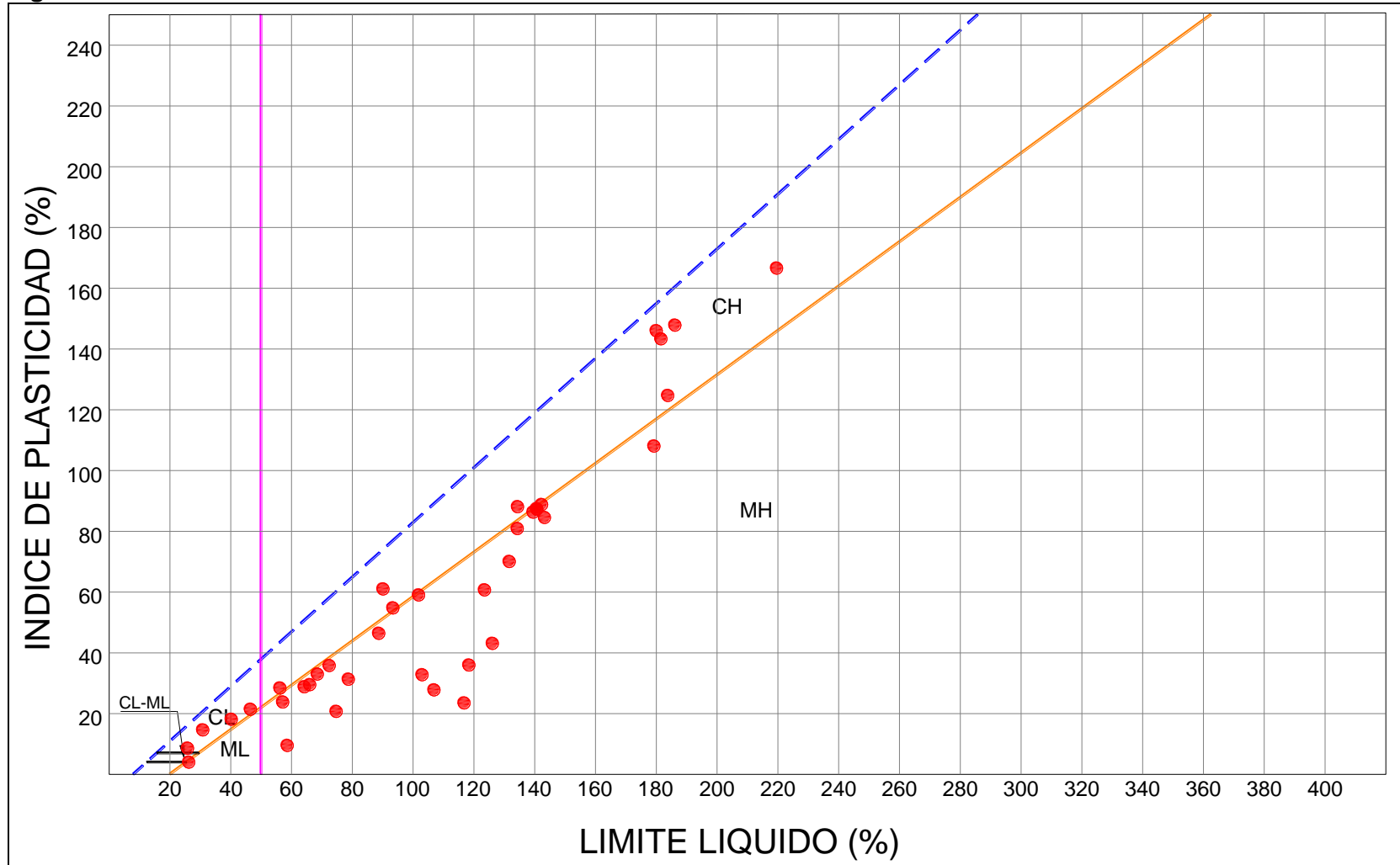
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.36	14.71		
Arcillas limosas	14.19	24.17		
Arenas	17.52			

Figura 157 Variación de propiedades índice - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.



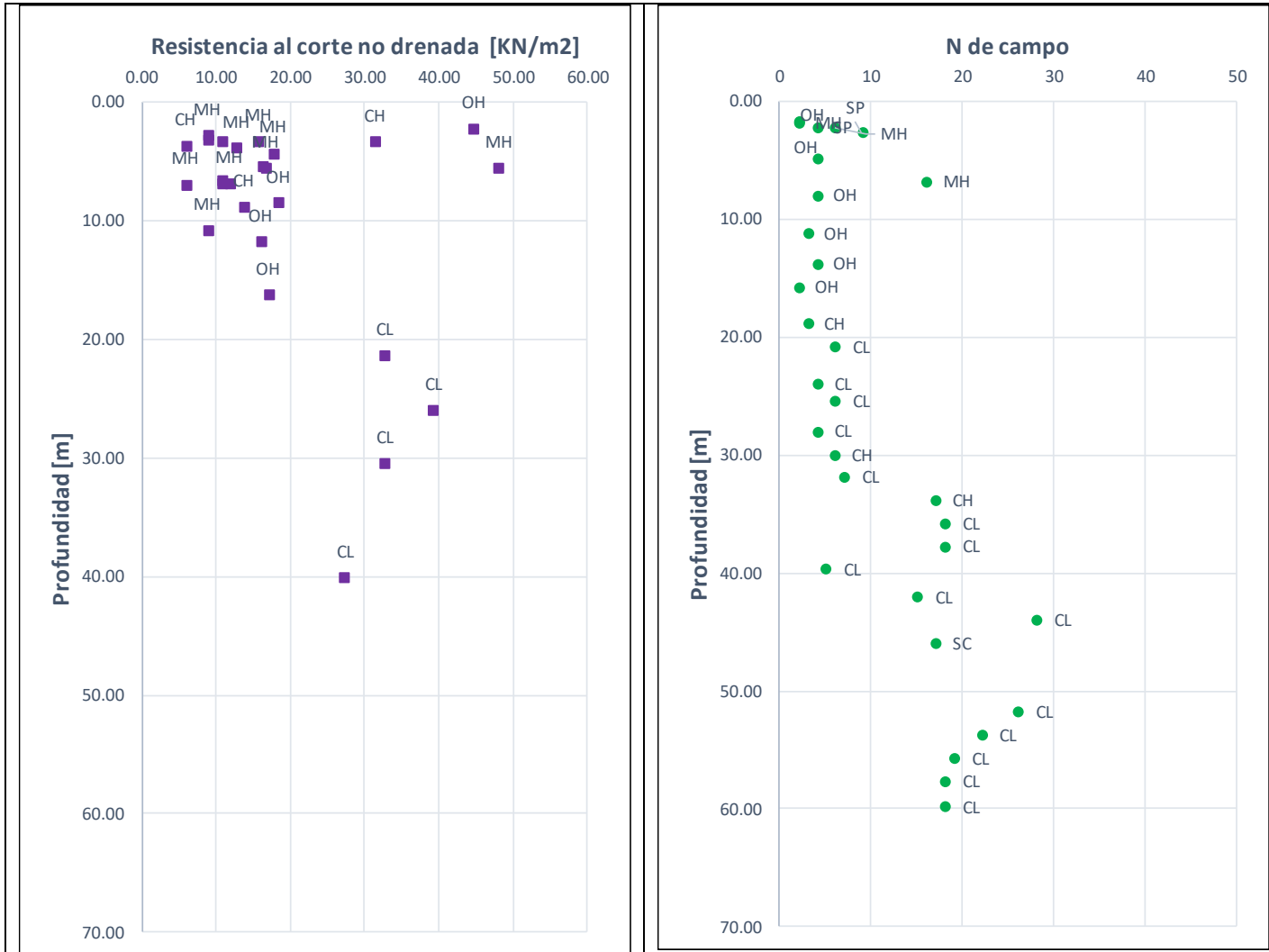
Fuente: WSP, 2019

Figura 158 Carta de Plasticidad - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN



Fuente: WSP, 2019

Figura 159 Variación de resistencia al corte - AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN.



9.3.41 HACIENDA SAN SIMÓN

De la Figura 160 a la Figura 162 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

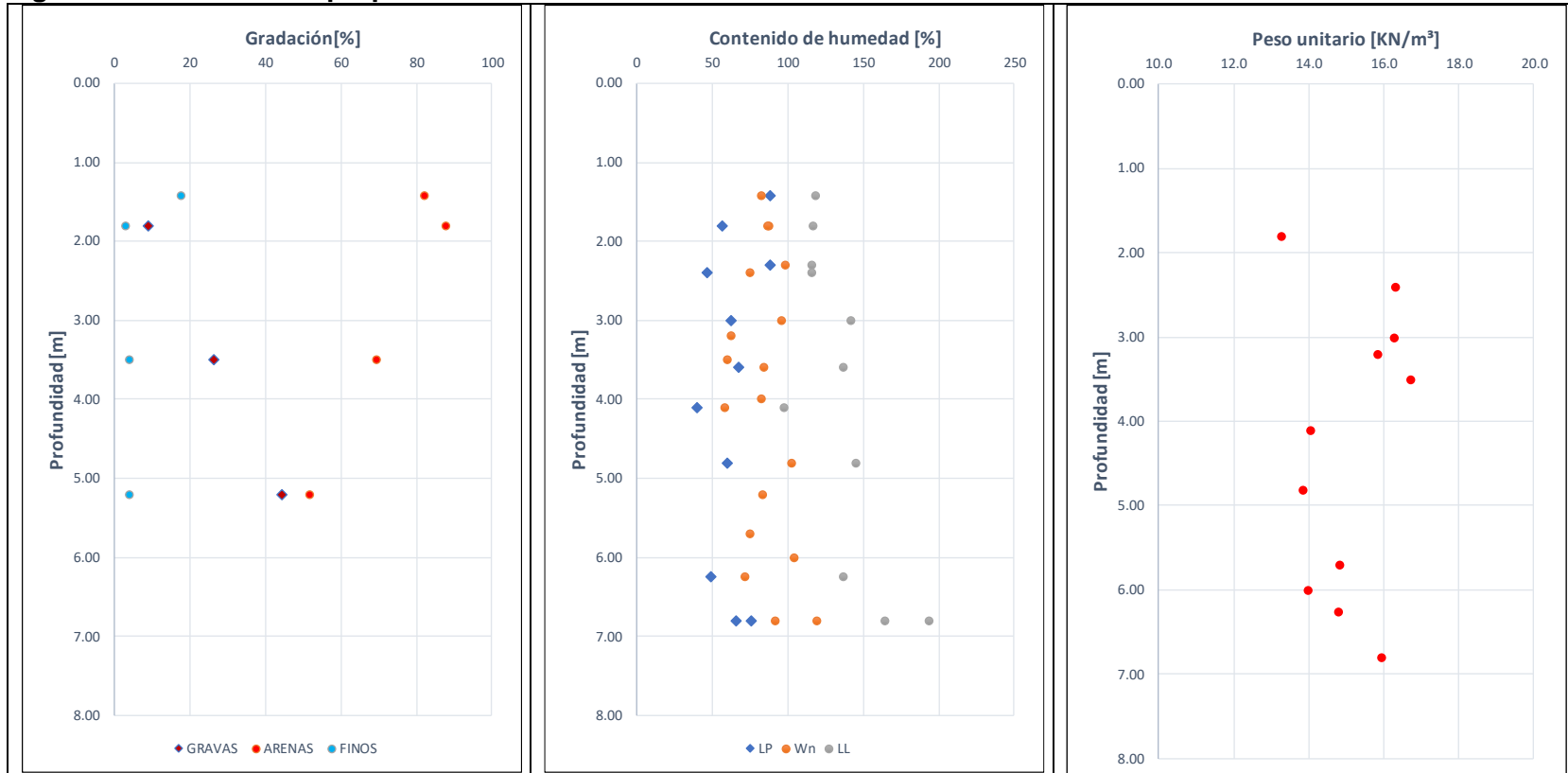
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7.1 m se encuentran capas de limos arcillosos de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda
- Entre 3.8 y 7 m se encuentran arcillas limosas de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material no se encontró en los sondeos 168 y 171.
- Superficialmente se encuentra una capa de arena limosa de humedad alta. Este material sólo fue encontrado en el sondeo 171. Sin embargo, en otros sondeos entre 0 y 5.5 m se encuentran arenas.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 47 Propiedades geotécnicas promedio - HACIENDA SAN SIMÓN

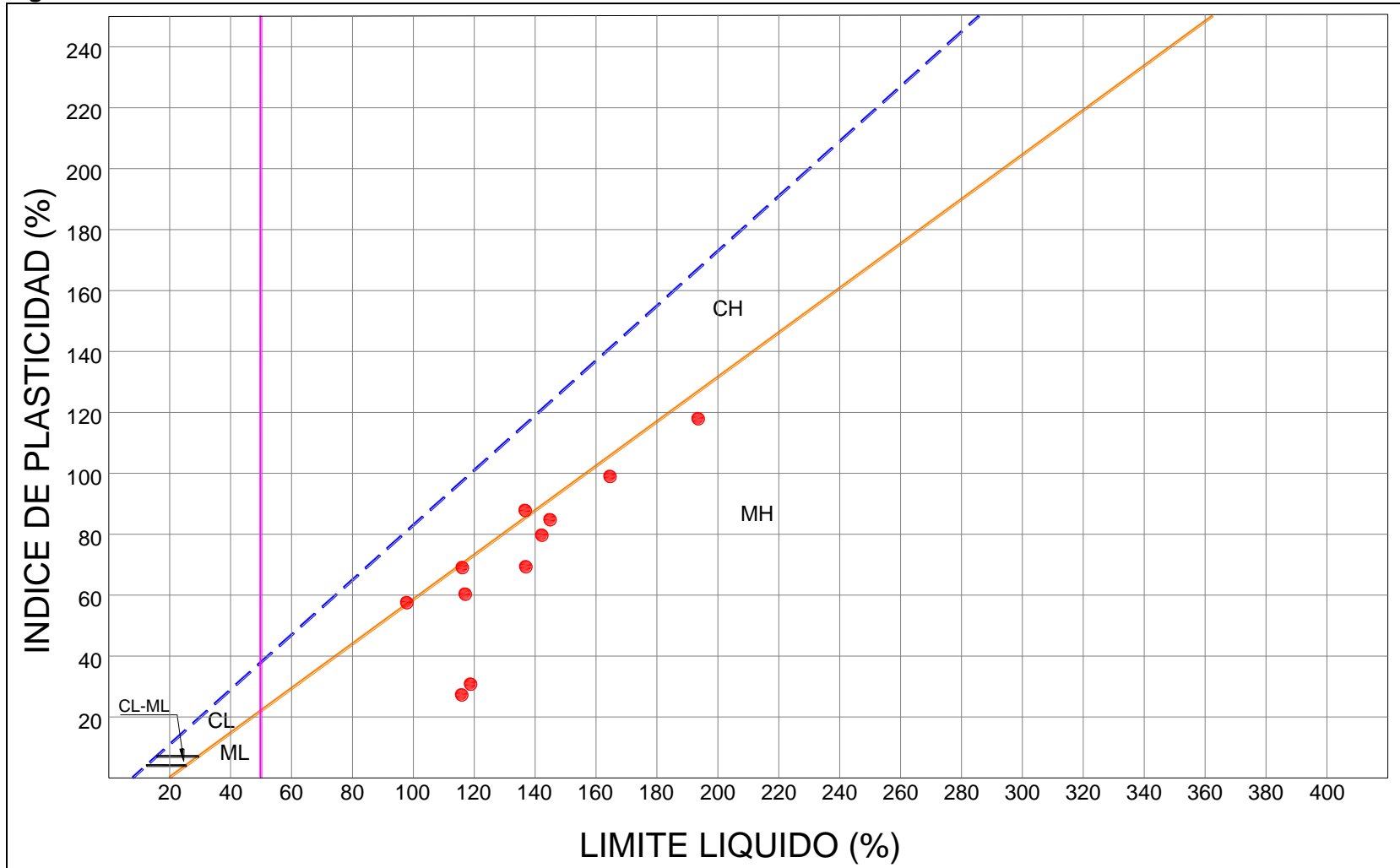
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	15.34	18.64		
Arcillas limosas	14.53	12.26		
Arena Limosa	14.97	13.734		

Figura 160 Variación de propiedades índice - HACIENDA SAN SIMÓN



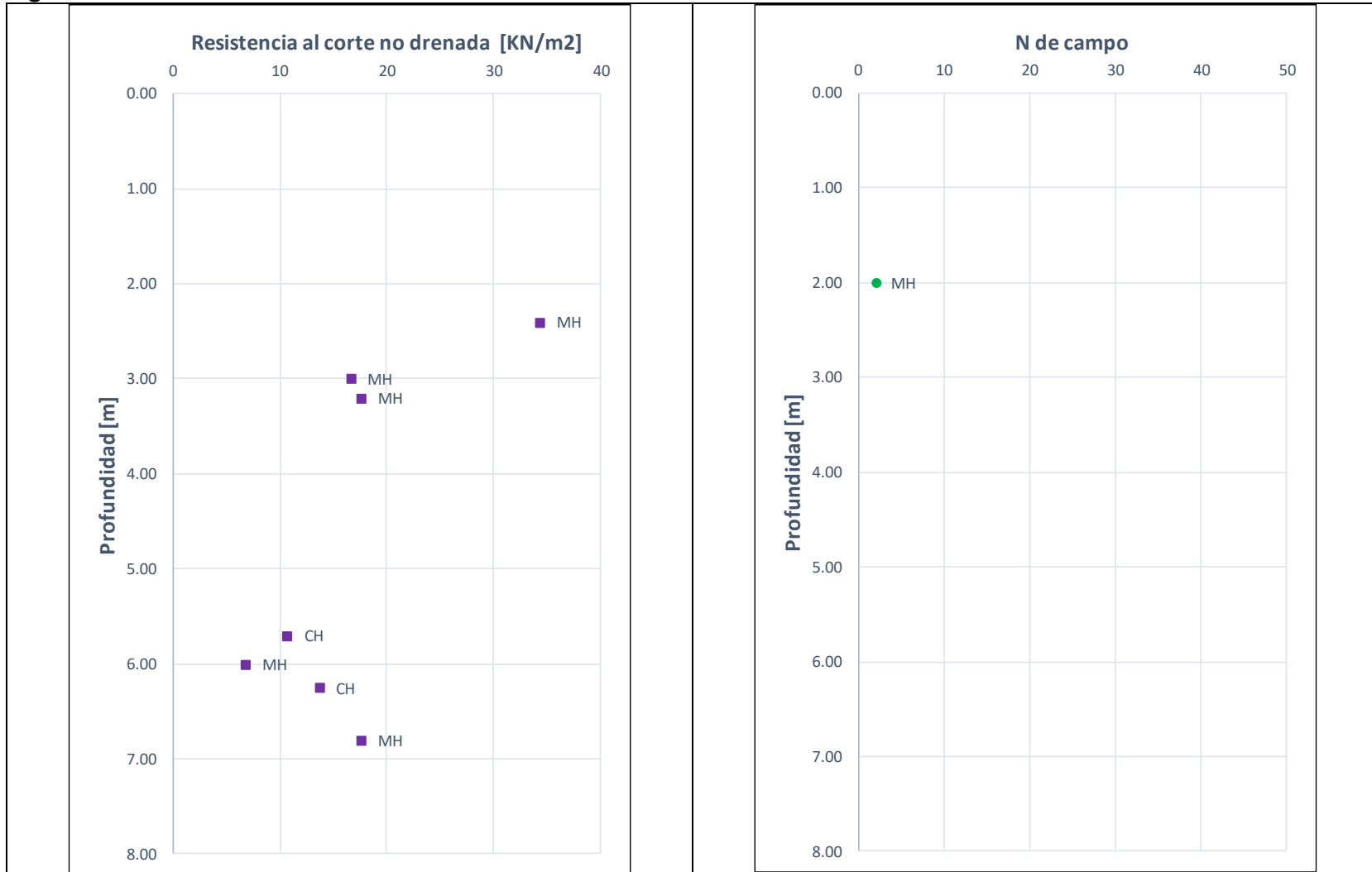
Fuente: WSP, 2019

Figura 161 Carta de Plasticidad - HACIENDA SAN SIMÓN



Fuente: WSP, 2019

Figura 162 Variación de resistencia al corte - HACIENDA SAN SIMÓN



Fuente: WSP, 2019

9.3.42 AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).

De la Figura 163 a la Figura 165 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas

Al respecto de lo anterior se tiene que:

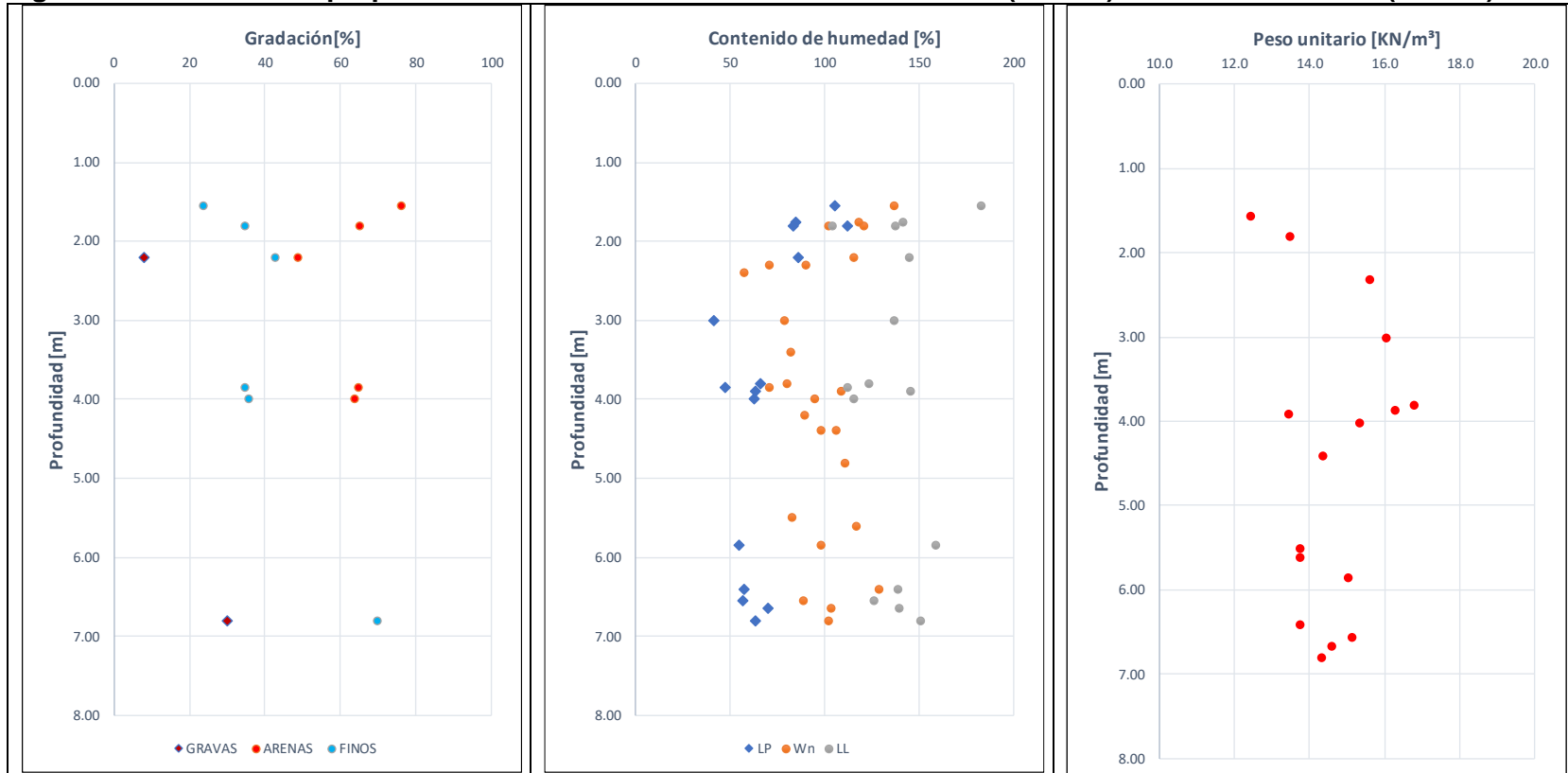
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2/4.3 m se encuentran arenas limosas de humedad alta a muy alta.
- Entre 2.1 y 7 m se encuentran arcillas de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda. Este material solo se encontró en los sondeos 177 y 178.
- Entre 0 y 7 m se encuentran limos arcillosos de humedad alta a muy alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 48 Propiedades geotécnicas promedio - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)

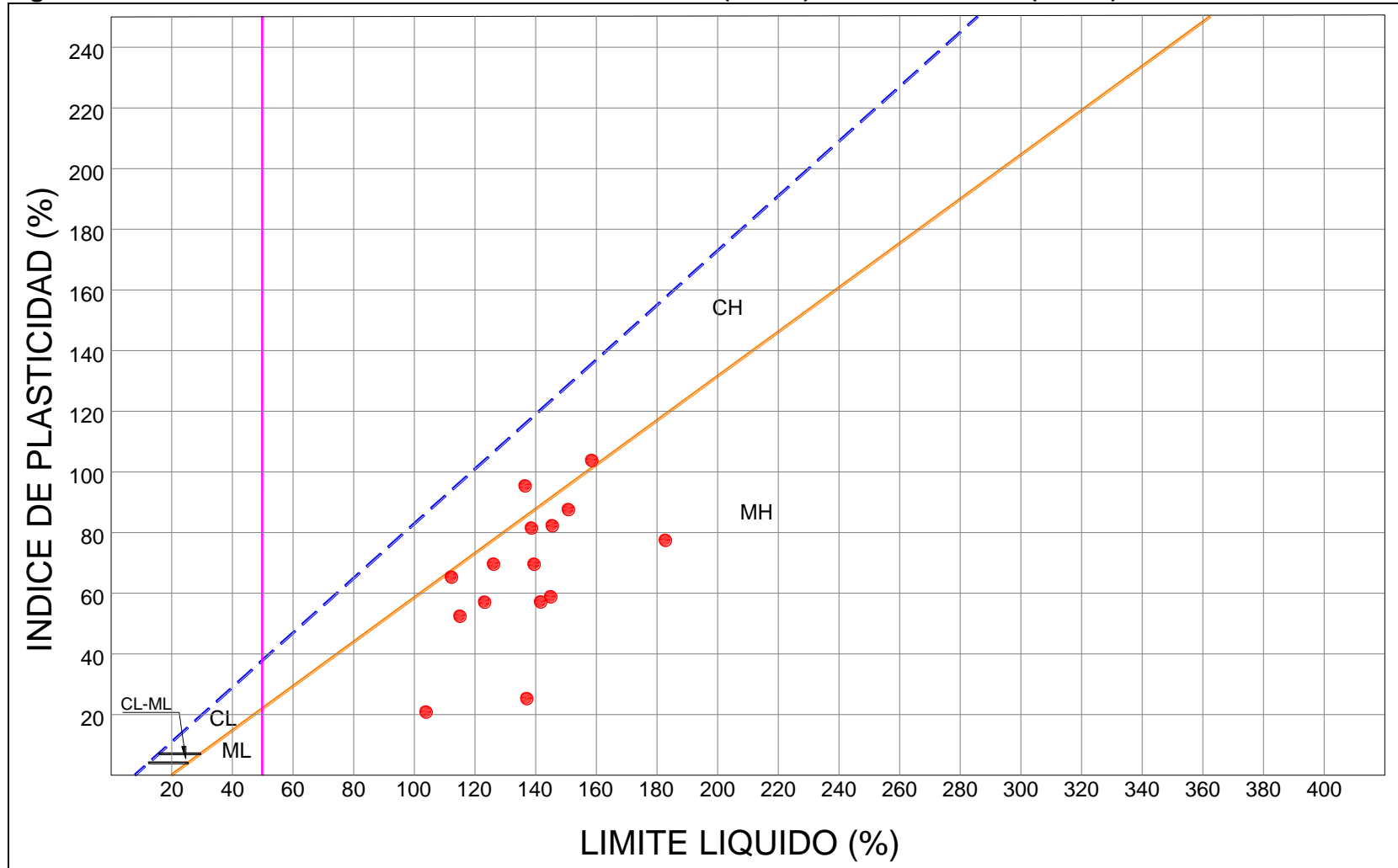
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arenas Limosas	14.37	13.00		
Arcillas	15.53	27.47		
Limo Arcilloso	14.53	10.80		

Figura 163 Variación de propiedades índice - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).



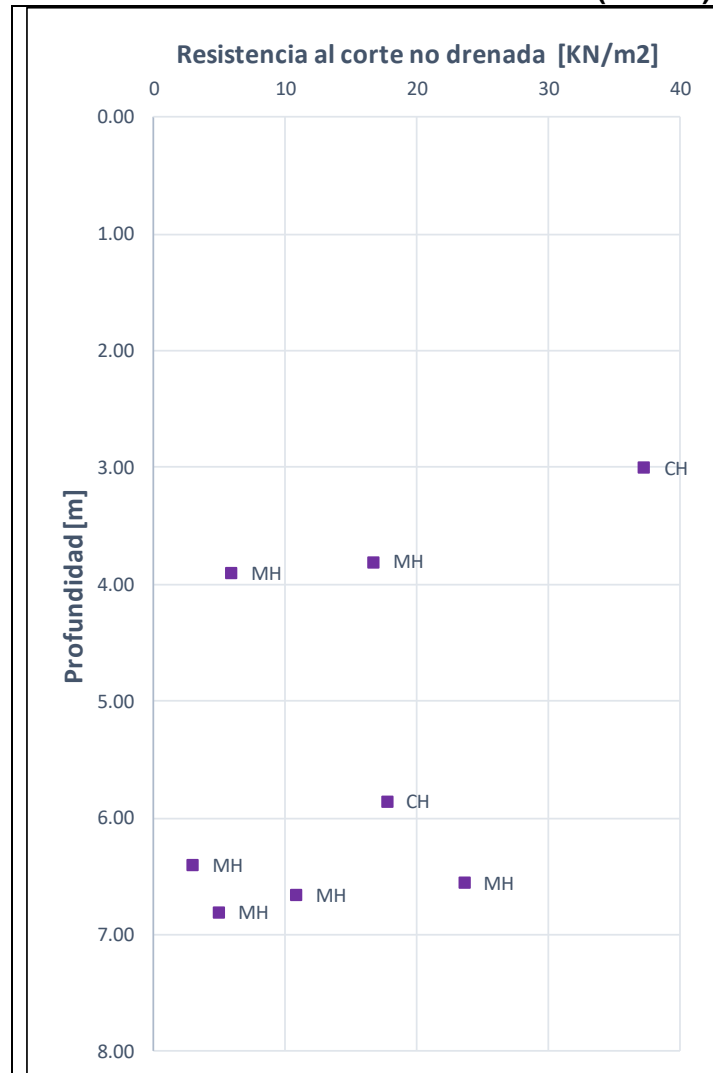
Fuente: WSP, 2019

Figura 164 Carta de Plasticidad - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)



Fuente: WSP, 2019

Figura 165 Variación de resistencia al corte - AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210).



Fuente: WSP, 2019

9.3.43 LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA

De la Figura 166 a la Figura 168 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

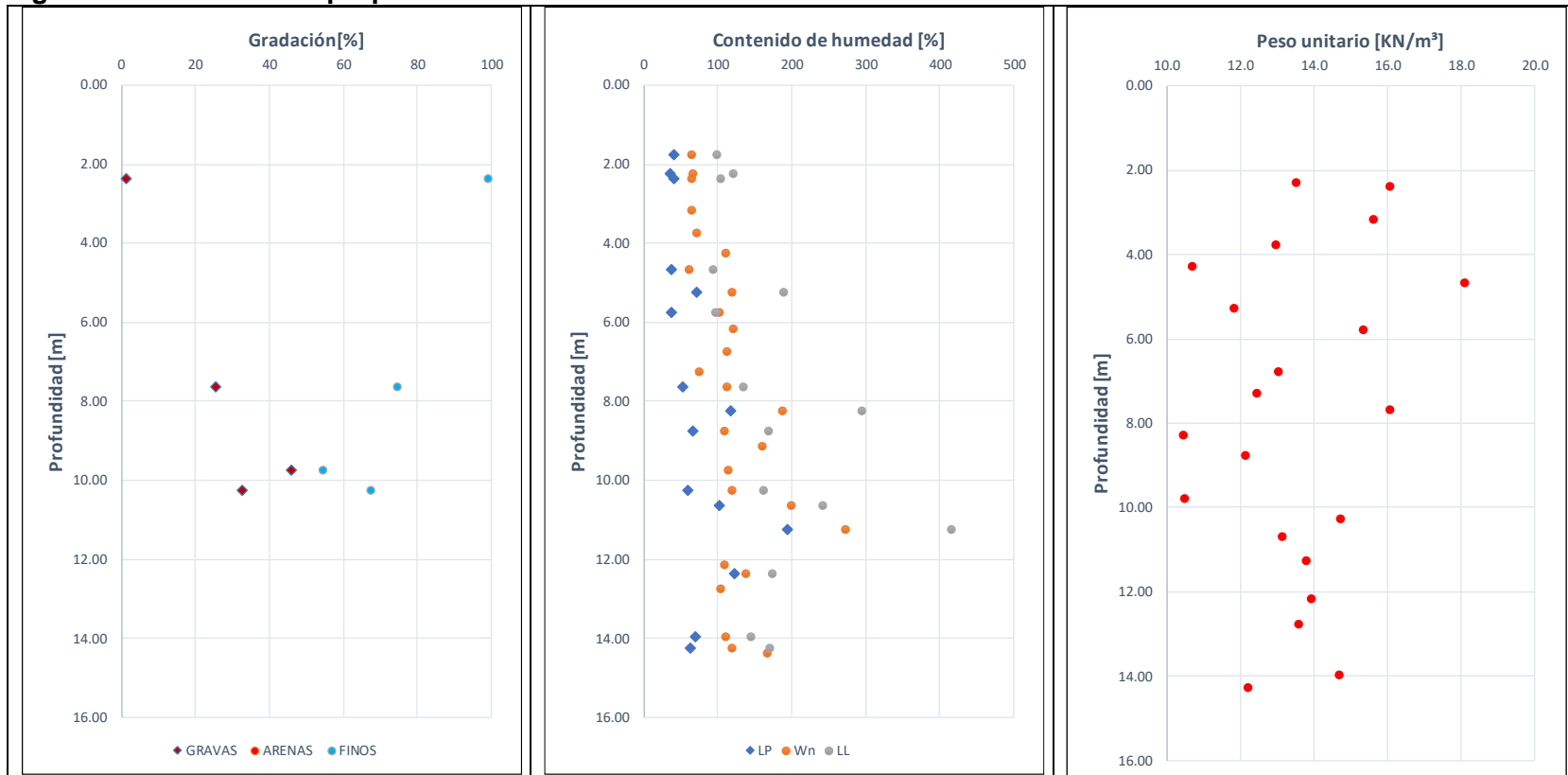
- Superficialmente y hasta una profundidad de 4.5/>8 m se encuentran arcillas limosas de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda
- Entre 4.5 y hasta profundidades >12 m se encuentran limos de humedad muy alta, plasticidad muy alta y consistencia muy blanda.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 49 Propiedades geotécnicas promedio - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA

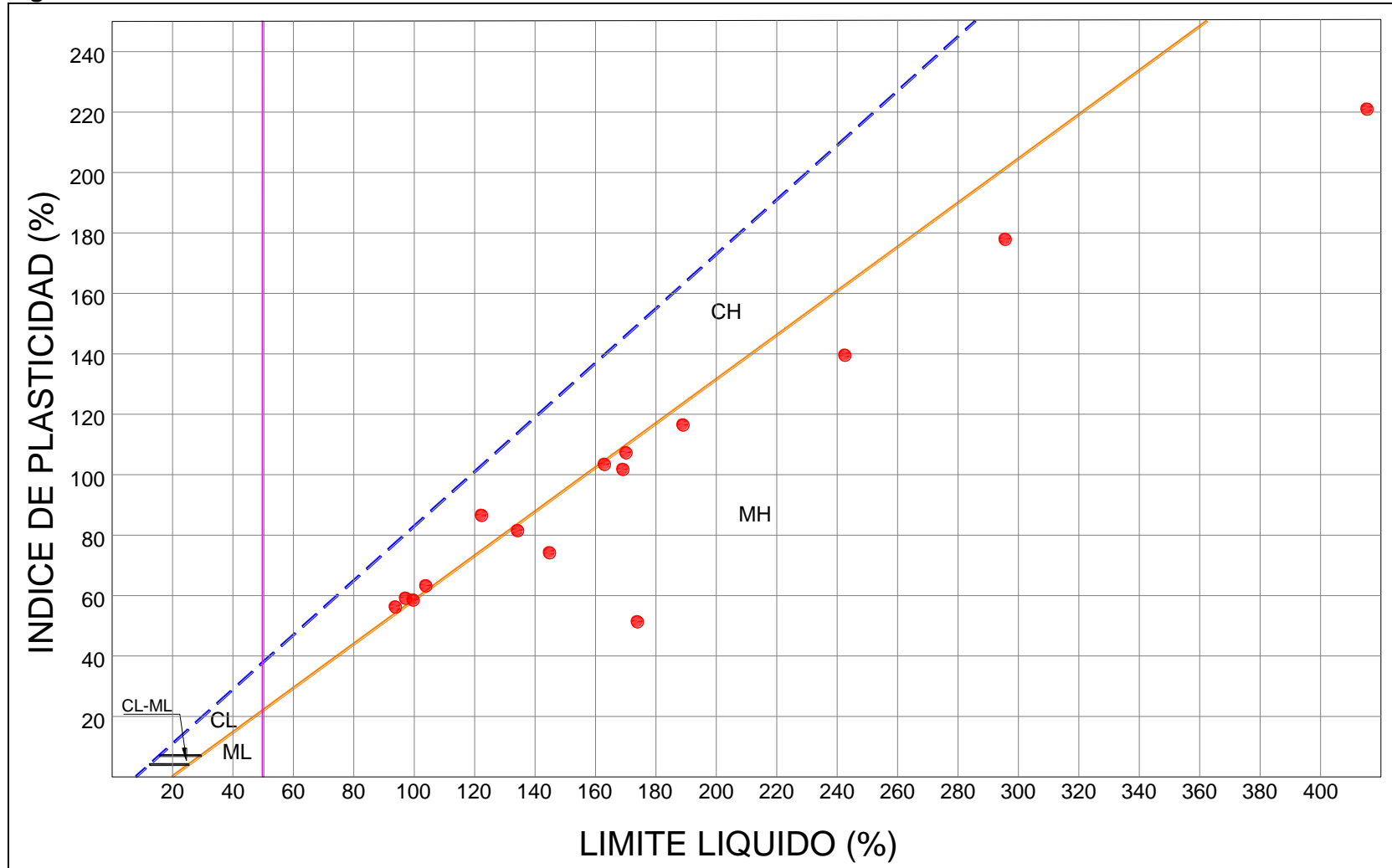
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Arcilla Limosa	14.34	6.87		
Limos	13.06	4.78		

Figura 166 Variación de propiedades índice - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA



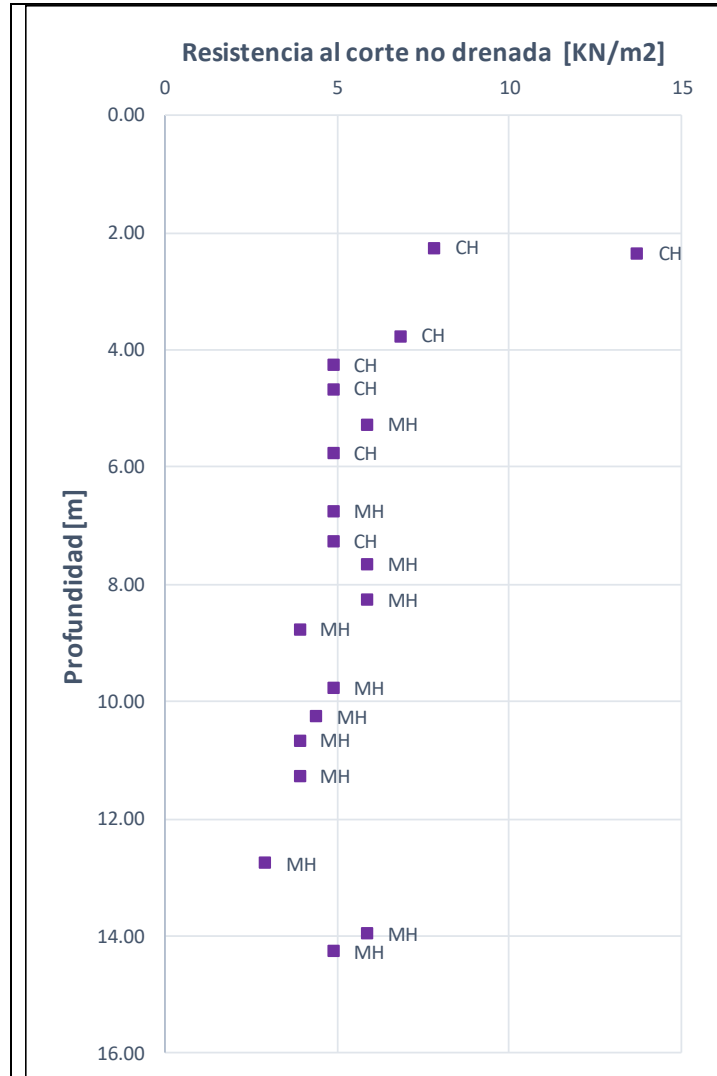
Fuente: WSP, 2019

Figura 167 Carta de Plasticidad - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA



Fuente: WSP, 2019

Figura 168 Variación de resistencia al corte - LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA.



Fuente: WSP, 2019

9.3.44 AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.

De la Figura 169 a la Figura 171 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

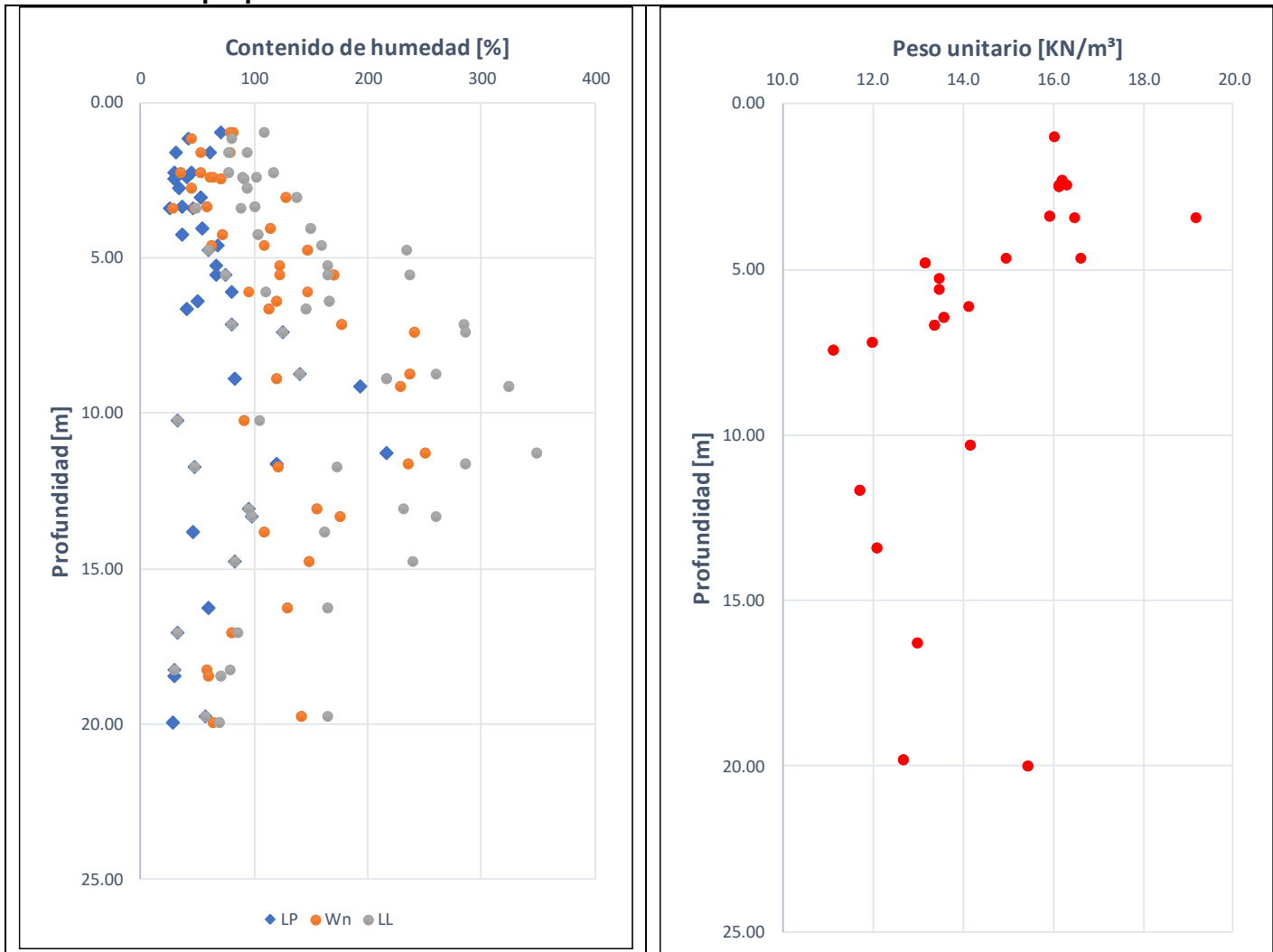
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7 m se encuentran limos arcillosos de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia medio firme
- Entre 1.2 y 2.8 m se encuentran arcillas limosas de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia blanda.
- Entre 2.8 y 4 m se encuentran arcillas de humedad baja, plasticidad media y consistencia muy firme.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 50 Propiedades geotécnicas promedio - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN

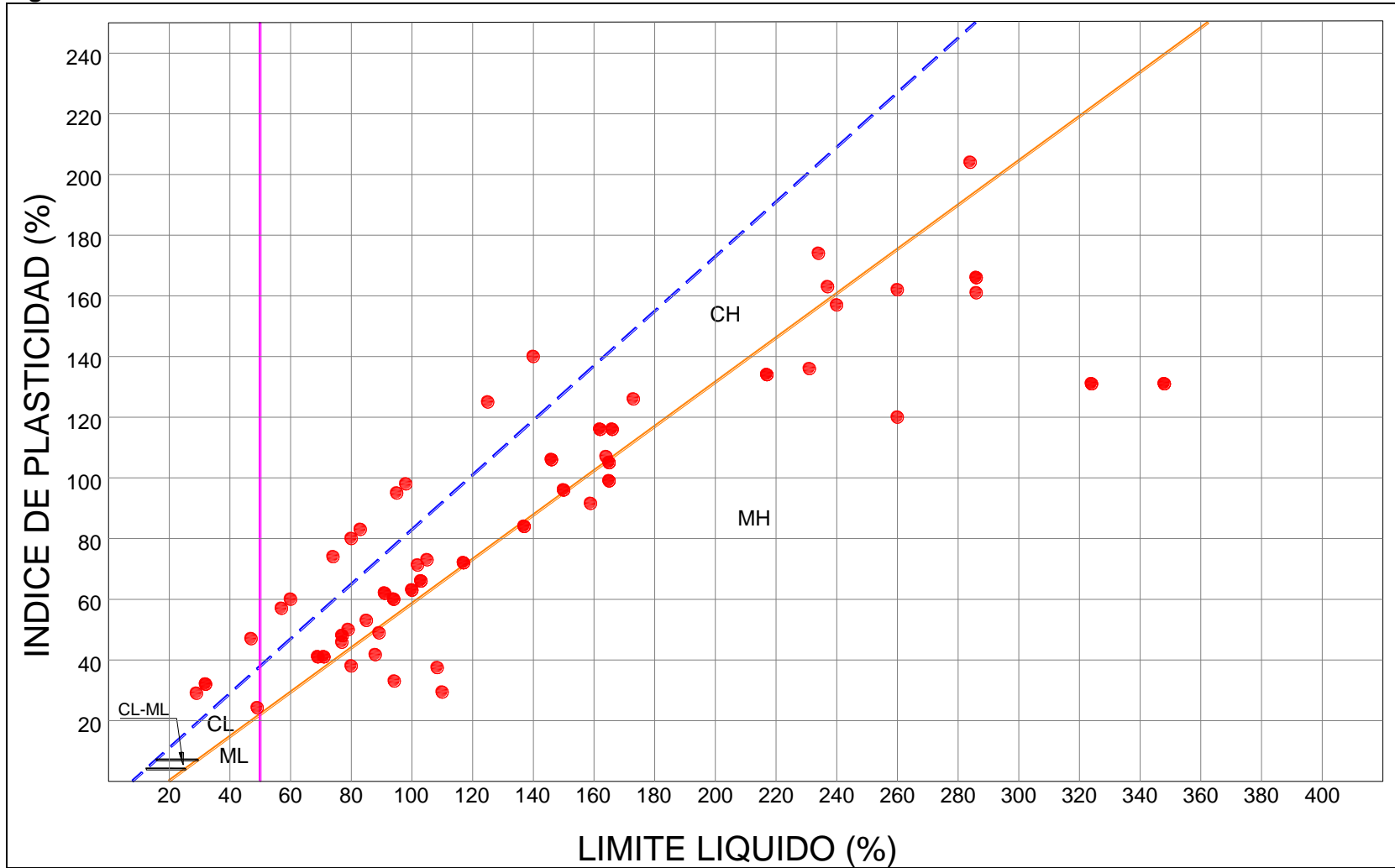
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, ϕ' [°]	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.64	21.76		
Arcillas limosas	14.41	25.11		

Figura 169 Variación de propiedades índice - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.



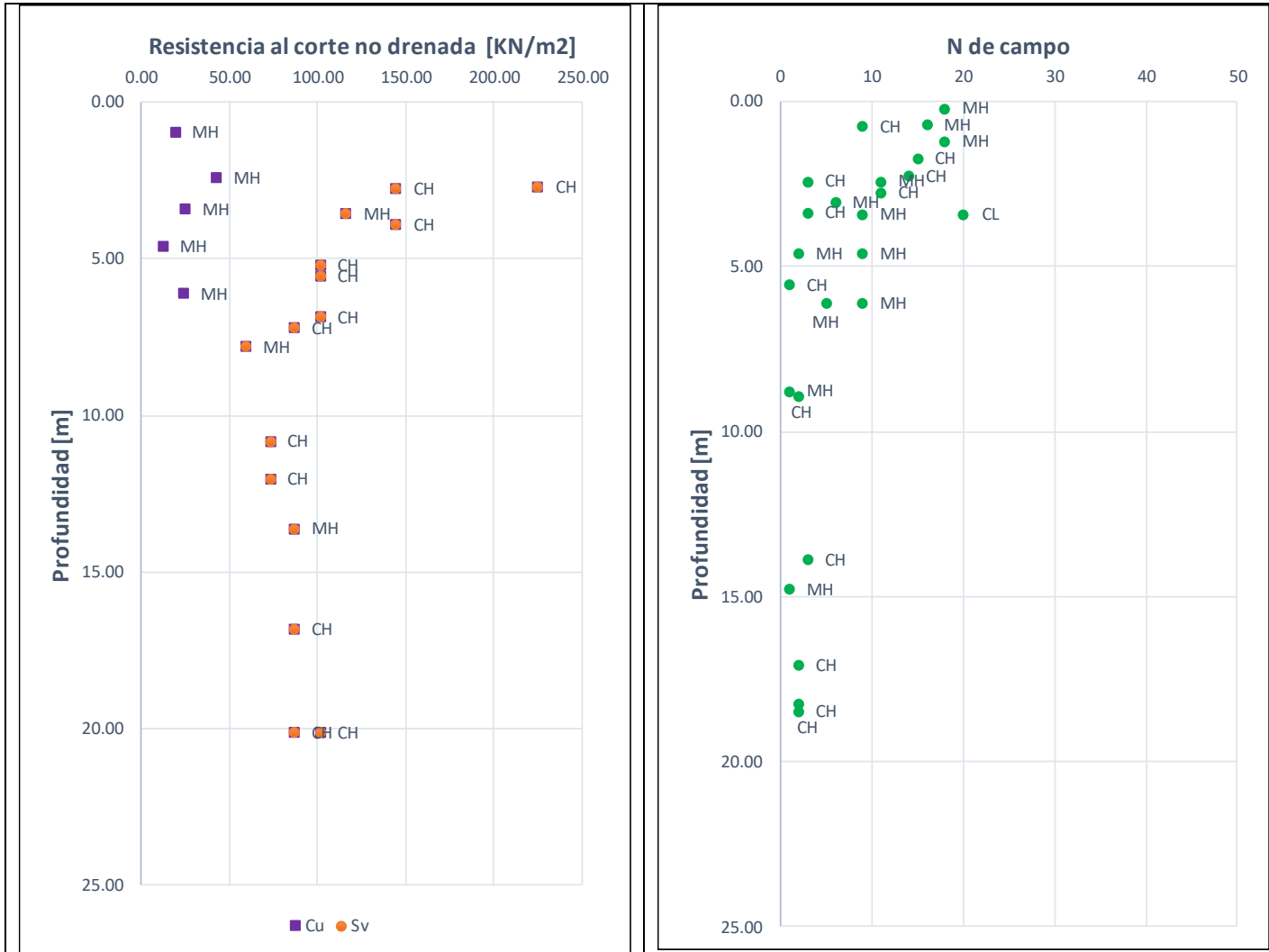
Fuente: WSP, 2019

Figura 170 Carta de Plasticidad - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN



Fuente: WSP, 2019

Figura 171 Variación de resistencia al corte - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN.



9.3.45 AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES

De la Figura 172 a la Figura 174 se presenta la variación de las principales propiedades geotécnicas.

Al respecto de lo anterior se tiene que:

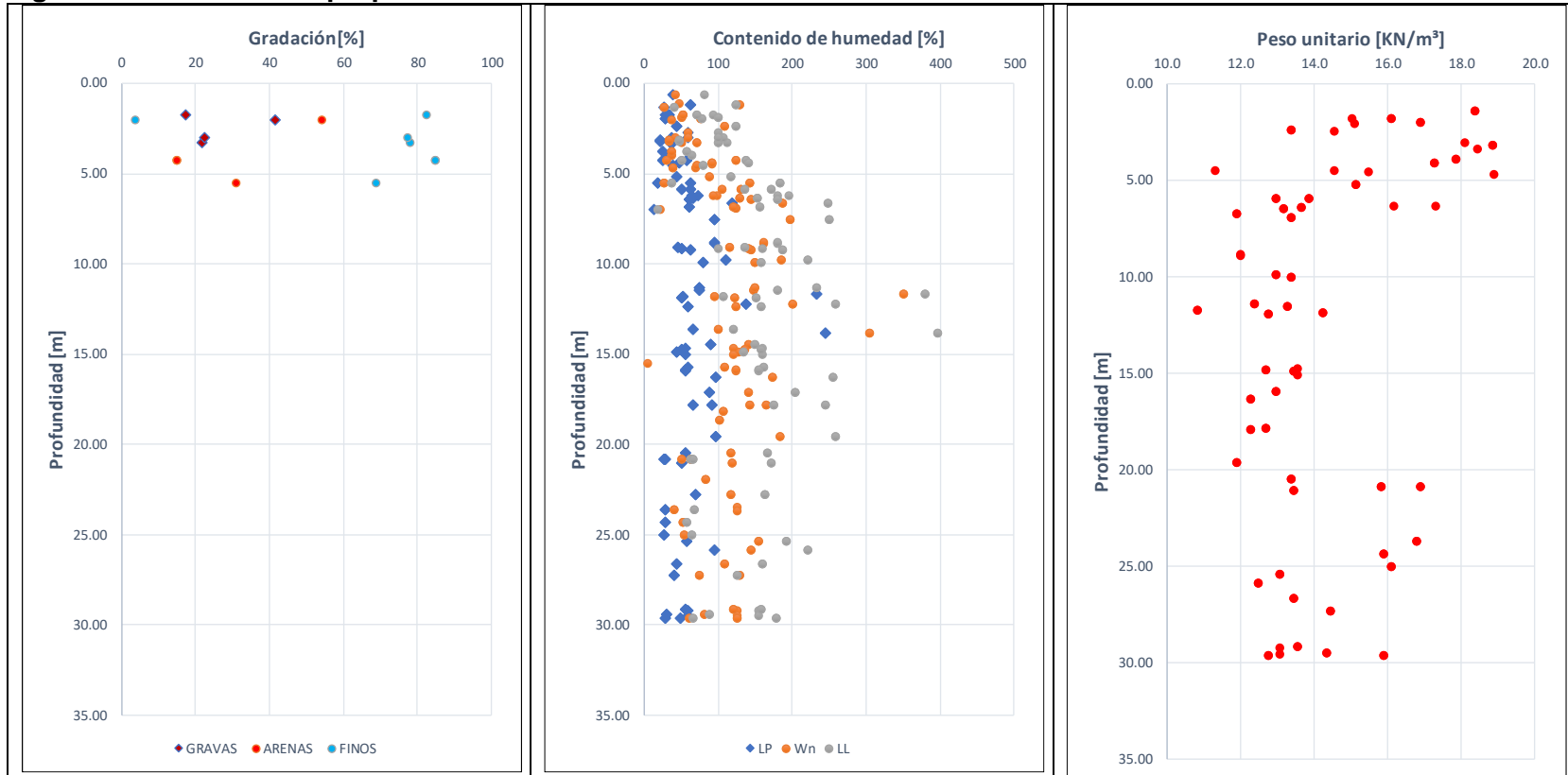
- Superficialmente y hasta una profundidad de 7 m se encuentran limos arcillosos de humedad media, plasticidad muy alta y consistencia medio firme
- Entre 1.5 y 7 se encuentran arcillas de humedad media a alta, plasticidad muy alta y consistencia blanda a medio firme.
- Superficialmente y hasta una profundidad de 2.5 m se encuentran arenas de humedad baja y compactación suelta.

A continuación, se incluyen las propiedades geotécnicas promedio para cada uno de los anteriores materiales.

Tabla 51 Propiedades geotécnicas promedio - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES

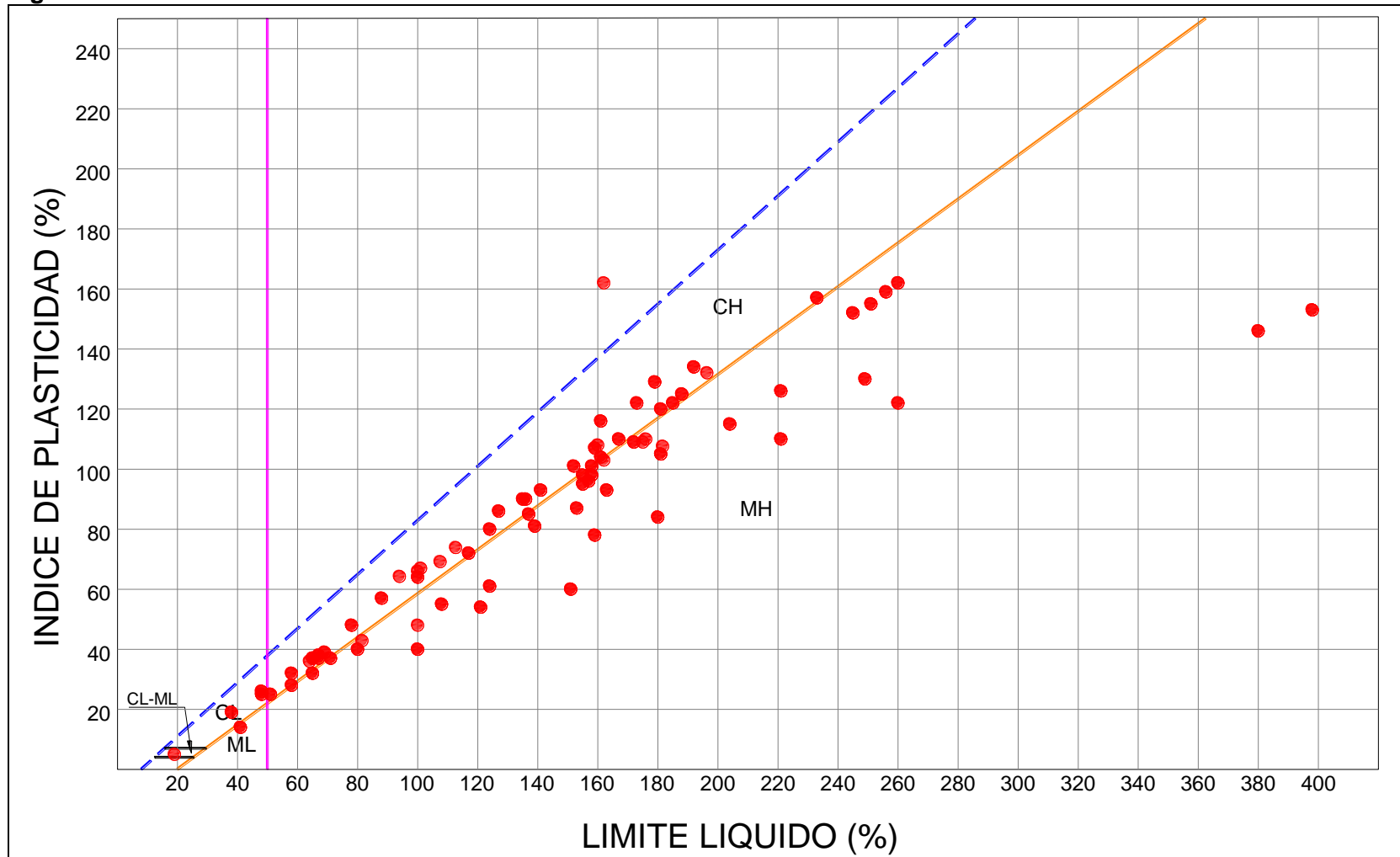
Material	Peso Unitario, γ_t [kN/m ³]	Resistencia al corte no drenada, C_u [kPa]	Ángulo de fricción interna, $\phi' [^\circ]$	Intercepto de cohesión, c' [kPa]
Limo arcilloso	13.61	22.09		
Arcillas	14.61	22.20		
Arenas	15.10	18.64		

Figura 172 Variación de propiedades índice - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES



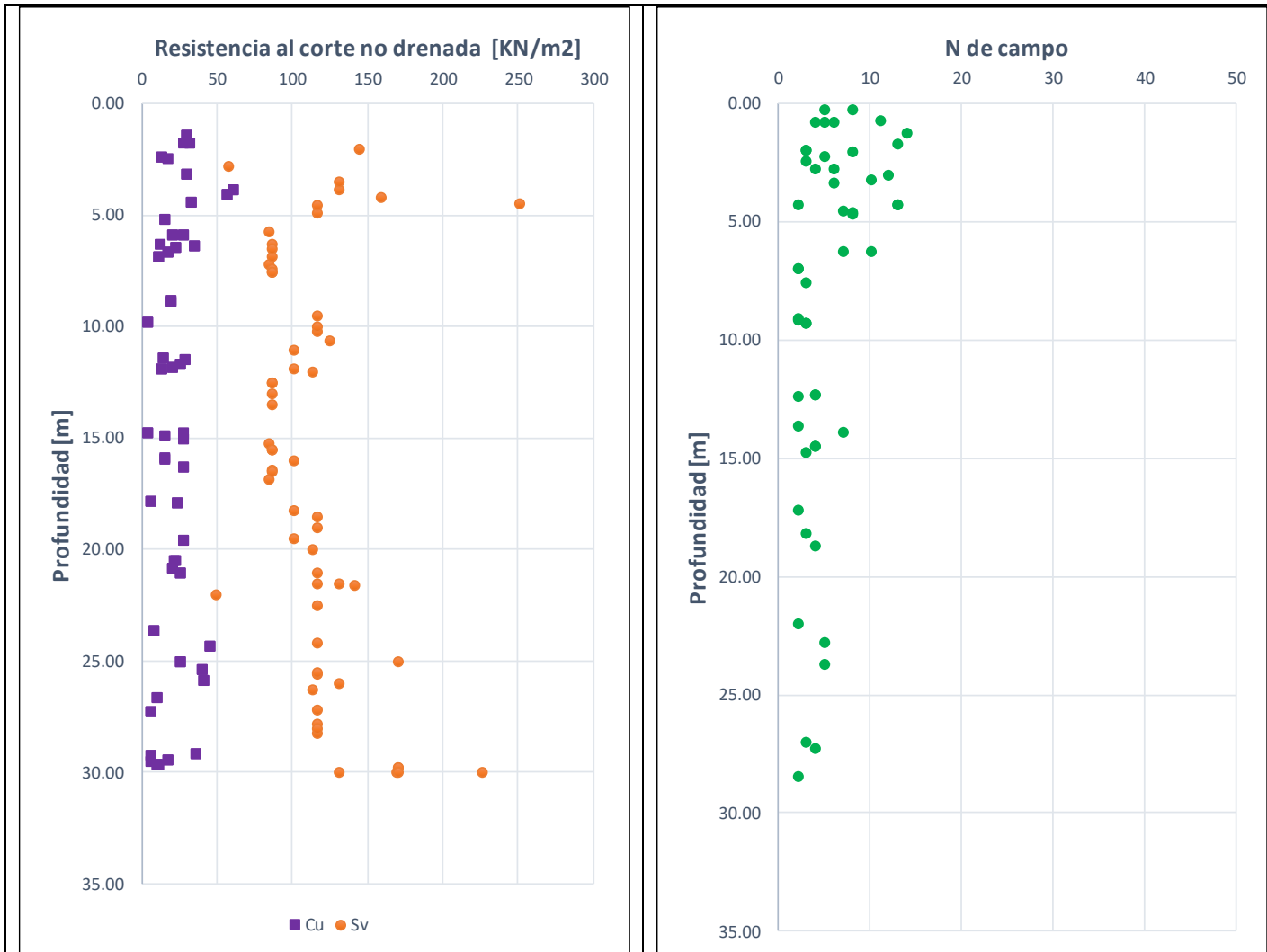
Fuente: WSP, 2019

Figura 173 Carta de Plasticidad - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES



Fuente: WSP, 2019

Figura 174 Variación de resistencia al corte - AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES



Fuente: WSP, 2019

10 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

A continuación se incluye una breve revisión de los aspectos hidrogeológicos del estudio de factibilidad Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011); posteriormente, se presentan los piezómetros existentes y nuevos; luego se incluyen los resultados de las 6 campañas de monitoreo realizadas; posteriormente, se incluye la metodología del estudio hidrogeológico a desarrollar dentro del presente proyecto y, además, se presenta un resumen del Modelo Hidrogeológico existente en la ciudad de Bogotá para finalmente incluir el desarrollo del Modelo Hidrogeológico.

Para el desarrollo y análisis del modelo hidrogeológico de Lagos de Torca se evaluó el comportamiento de los niveles medidos en los piezómetros dispuestos para caracterizar la zona de estudio. Dicha información se encuentra detallada en este acápite ya que corresponde a datos relevantes en el análisis conceptual y numérico del modelo hidrogeológico de Lagos de Torca, teniendo en cuenta que su monitoreo permite conocer la dinámica hídrica subterránea de las capas más someras. El monitoreo de niveles piezométricos es además un insumo para desarrollar tanto el modelo conceptual como numérico. Es importante resaltar que además de los niveles medidos en los piezómetros y monitoreados en cuatro campañas se adelantaron monitoreos fisicoquímicos en algunos puntos, los cuales también hacen parte de la evaluación hidrogeológica.

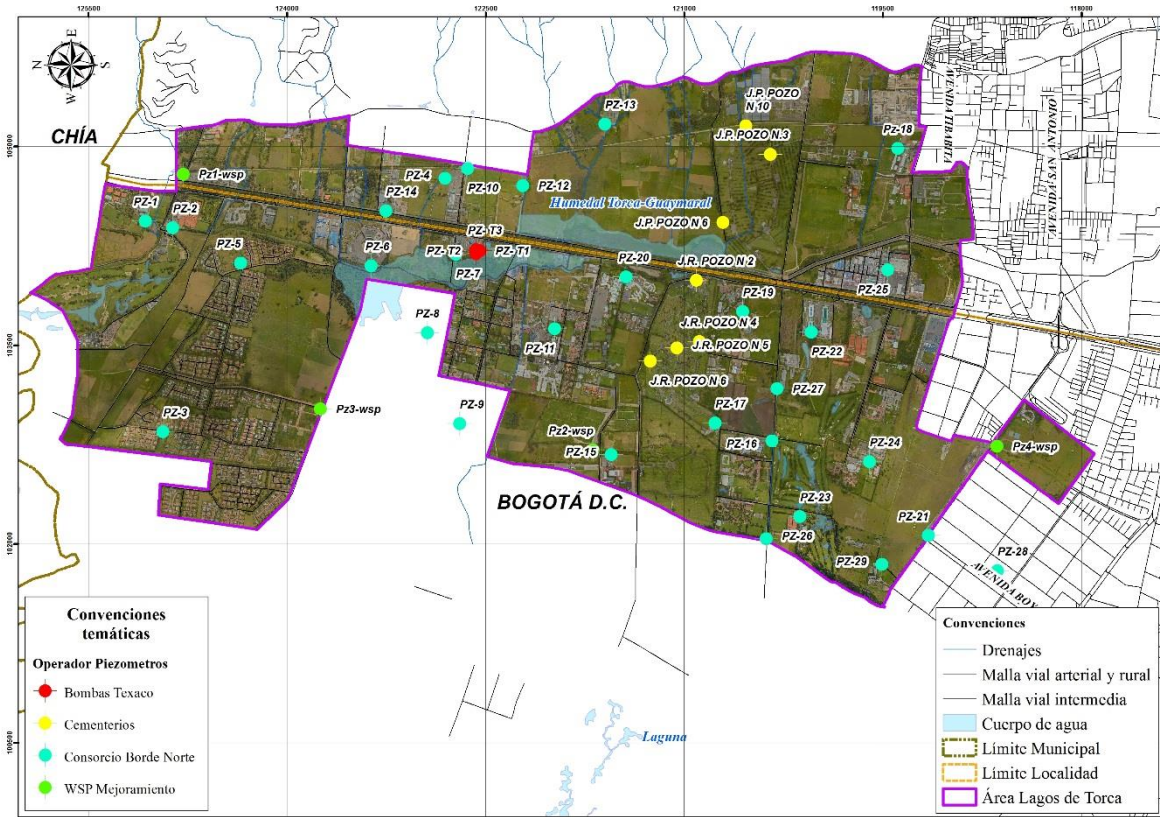
10.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Las actividades realizadas dentro del Informe de Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del Borde Norte de la ciudad de Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011), correspondieron al monitoreo de una red de piezómetros y la generación de líneas de isoprofundidades del nivel de agua. Al respecto de la primera actividad, se adelantó la instalación y monitoreo inicial de 30 piezómetros y el monitoreo 7 piezómetros pertenecientes a los Cementerios Jardines de Paz (3) y Jardines del Recuerdo (4); en la Figura 175 se muestra la localización de los instrumentos.

De las campañas de monitoreo realizadas se pudo establecer que inicialmente los niveles tuvieron una variación entre 0.6 a 3.1 m, y posteriormente, entre 0.82 y 3.42 m, presentándose una disminución promedio de 0.22 m en una semana; en general, con base en los resultados, se generó un mapa de isoprofundidades de la tabla de agua (ver Figura 176). Se aprecia que los niveles más profundos se evidencian al oriente, en las zonas más cercanas al piedemonte; lo anterior puede estar influenciado por la topografía.

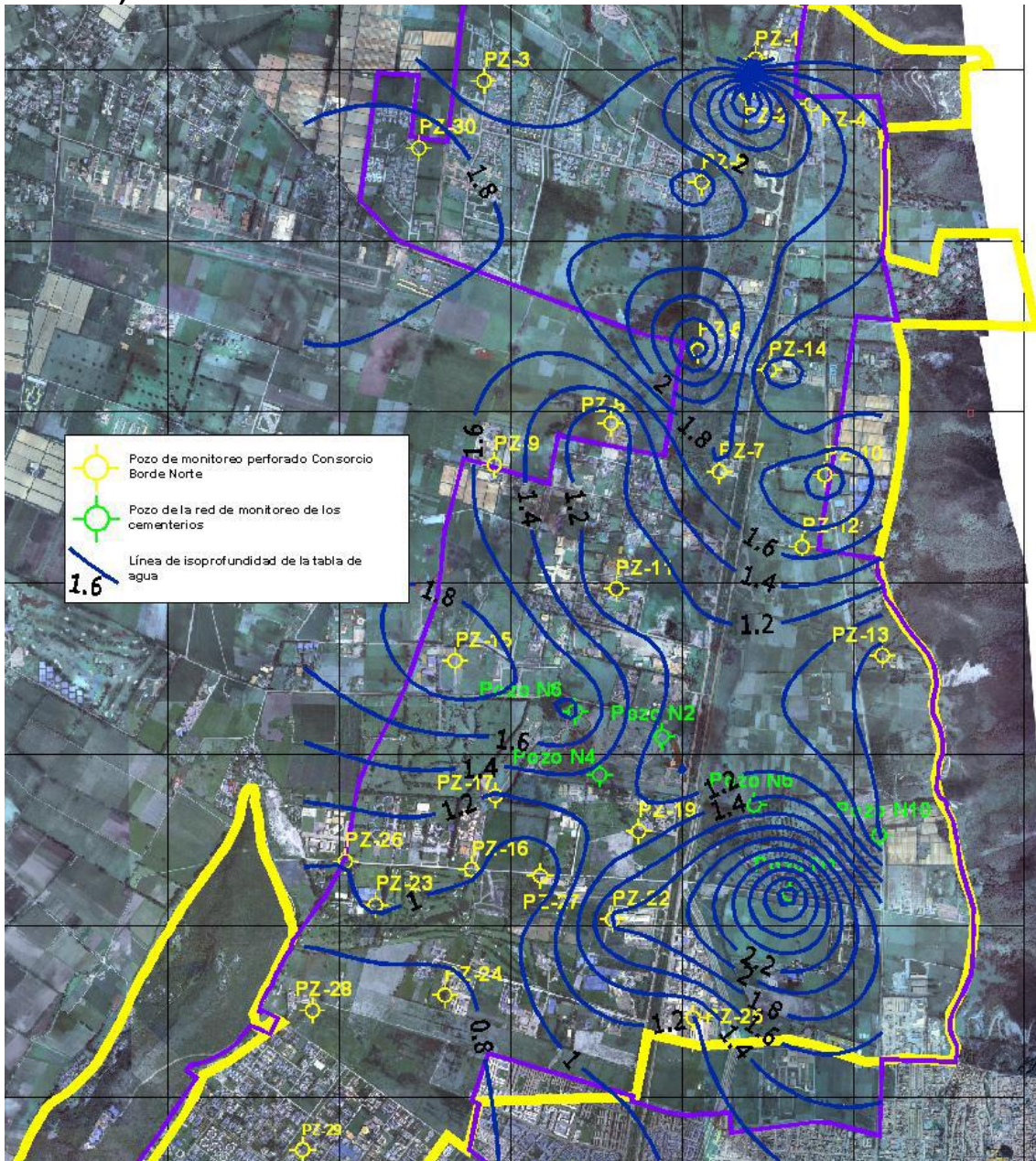
En general, se considera que dentro del estudio de factibilidad no fue adelantado un modelo hidrogeológico, sin embargo, se considera que la información obtenida en las labores de monitoreo (realizado en el segundo semestre de 2010) puede ser empleada dentro del modelo hidrogeológico a implementar. Adicionalmente y como monitoreo final, fueron instalados 4 piezómetros (en sitios convenidos con la Empresa de Acueducto ver siguiente numeral), los cuales se implementaron en la red de piezómetros con el fin de tener una serie de datos más robusta y actualizada, estos piezómetros además del monitoreo de nivel piezométrico fueron evaluados fisicoquímicamente.

Figura 175 Red de piezómetros monitoreados por el Consorcio Borde Norte (2011)



Fuente: Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011

Figura 176 Líneas de isoprofundidades de niveles de la tabla de agua (primer nivel saturado)



Fuente: Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011

10.2 RED DE PIEZÓMETROS

En el presente capítulo se hará relación a los piezómetros instalados en toda el área de caracterización de Lagos de Torca, teniendo en cuenta que en desarrollo del proyecto se han ido implementando una serie de piezómetros, los cuales han variado en cuanto a ubicación o existencia dentro de la red.

De esta manera para en el inventario de puntos se reconocieron los siguientes piezómetros:

Tabla 52 Resumen de Inventario de piezómetros

<i>ID Del piezómetro</i>	<i>N.º de Piezómetros</i>
Consortio Borde Norte Bogotá	30
Cementerios	7
Bombas Texaco	3
Mejoramiento (WSP)	4
Total	44

Fuente: WSP, 2019

Con el fin de validar la inspección y revisión llevada a cabo a todos los piezómetros en el área de estudio, a continuación, se incluyen los hallazgos de las visitas realizadas a los piezómetros monitoreados durante la ejecución del Estudio de Factibilidad Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011) . Además, se presentan los 4 piezómetros instalados dentro del alcance del presente estudio.

10.2.1 Piezómetros monitoreados durante el estudio de Factibilidad

Dentro de las actividades desarrolladas en los “Estudios de factibilidad técnica ambiental económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del Borde Norte de la ciudad de Bogotá” (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011) se encuentra la instalación y monitoreo de 30 piezómetros y, adicionalmente, el monitoreo 7 piezómetros pertenecientes a los Cementerios Jardines de Paz (3) y Jardines del Recuerdo (4).

En la Figura 177 se incluyen las características constructivas de los 30 piezómetros instalados por el Consortio Borde Norte, 2011 y en la Figura 175 se incluyen la ubicación de los 37 piezómetros monitoreados.

Fueron realizadas dos campañas de revisión del estado de la red de piezómetros, a saber:

1. Entre los días 28 y 29 de enero de 2019, se realizó la verificación de la localización de varios piezómetros; en la Tabla 53 se hace un resumen de los hallazgos encontrados en las visitas realizadas.
2. La segunda visita realizada entre el 8 y el 12 de abril del año 2019, se realiza la verificación de los puntos totales de la red de monitoreo, se toman niveles freáticos de algunos puntos y se determinan acciones para tomar medidas de nivel freático en otros puntos; en la Tabla 53 se resumen los principales hallazgos.

Luego de las visitas se resalta lo siguiente:

1. 2 piezómetros aún no cuentan con permiso de ingreso para su verificación.
2. 20 piezómetros no fueron encontrados.
3. 15 piezómetros fueron encontrados; es importante anotar que de estos piezómetros 4 pertenecen al Cementerio Jardines del Recuerdo y para tomar medidas de nivel freático se necesita el permiso para la apertura de los candados y una posterior medición.

Por otra parte, en las visitas se pudo apreciar que, en general, los piezómetros cuentan con tapa de protección (lo que en cierta medida garantiza el buen estado de este), exceptuando el piezómetro PZ-6 que no cuenta con los tornillos de protección y el estado de la tapa es de un grado alto de oxidación.

Figura 177 Características de los piezómetros instalados por el Consorcio Borde Norte Bogotá (2011)

POZO DE MONITOREO	COORDENADAS (Origen Bogotá)		Profundidad total perforada (m)	Longitud Total Revestida (m)	Filtros		Empaque grava		Sello de Bentonita		Sello de concreto	
	NORTE	ESTE			de (mds)	hasta (mds)	de (mds)	hasta (mds)	de (mds)	hasta (mds)	de (mss)	hasta (mds)
PZ-1	1025061	1004434	4,2	4,2	1,2	4,2	0,5	4,1	0,1	0,5	0,2	0,1
PZ-2	1024857	1004384	4,1	4,1	1,1	4,1	0,9	4,1	0,1	0,9	0,2	0,1
PZ-3	1024930	1002845	4,5	4,5	1,5	4,5	1,3	4,5	0,1	1,3	0,2	0,1
PZ-4	1022799	1004759	5,1	5	2	5	1,2	5	0,1	1,2	0,2	0,1
PZ-5	1024343	1004116	4,2	4,2	1,2	4,2	0,9	4,2	0,1	1,1	0,2	0,1
PZ-6	1023357	1004095	8,8	8,8	5,8	8,8	5,3	8,8	0,1	5,3	0,2	0,1
PZ-7	1022717	1004183	4,5	4,5	1,5	4,5	1,1	4,5	0,1	1,1	0,2	0,1
PZ-8	1022933	1003590	4,1	4	1	4	0,7	4,1	0,2	0,7	0,2	0,2
PZ-9	1022691	1002905	4,15	4,15	1,15	4,15	0,8	4,15	0,1	0,8	0,2	0,1
PZ-10	1022628	1004832	4	4	1	4	0,5	4,0	0,1	0,5	0,2	0,1
PZ-11	1021972	1003620	4,1	4	1	4	0,8	4,1	0,3	0,8	0,2	0,3
PZ-12	1022212	1004702	5,2	5,1	2,1	5,1	1,8	5,2	0,4	1,8	0,2	0,4
PZ-13	1021592	1005166	4,1	4,1	1,1	4,1	0,6	4,1	0,1	0,6	0,2	0,1
PZ-14	1023245	1004509	3,8	3,6	1	3,6	1	3,8	0,2	1	0,2	0,2
PZ-15	1021544	1002672	4,1	4,1	1,1	4,1	0,8	4,1	0,3	0,8	0,2	0,3
PZ-16	1020331	1002776	4	4	1	4	0,9	4	0,1	1	0,2	0,1
PZ-17	1020759	1002910	4	4	1	4	0,6	4,0	0,2	0,6	0,2	0,2
PZ-19	1020552	1003751	4,6	4,5	1,5	4,5	0,9	4,6	0,3	0,9	0,2	0,3
PZ-22	1020034	1003596	5,8	5,8	2,8	5,8	1,5	5,8	0,3	1,8	0,2	0,3
PZ-23	1020119	1002204	4,2	4,2	1,2	4,2	0,8	4,2	0,5	0,8	0,2	0,5
PZ-24	1019595	1002617	3,7	3,6	2	3,6	1	3,6	0,3	1	0,0	0,3
PZ-25	1019457	1004065	4,7	4,6	1,6	4,6	1,4	4,7	0,3	1,4	0,2	0,3
PZ-26	1020375	1002037	3,8	3,7	1,2	3,7	0,8	3,8	0,3	0,8	0,2	0,3
PZ-27	1020293	1003169	3,7	3,6	1,1	3,6	0,7	3,7	0,4	0,7	0,2	0,4
PZ-28	1018629	1001795	3,6	3,6	0,6	3,6	0,3	3,6	0,1	0,3	0,2	0,3
PZ-29	1019501	1001842	3,5	3,5	1,5	3,5	0,9	3,5	0,5	0,9	0,2	0,5
PZ-30	1024541	1002466	4,3	4,3	1,3	4,3	1,0	4,3	0,5	1,0	0,2	0,5

Fuente: Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011

Tabla 53 Resumen de las visitas realizadas a los piezómetros instalados por el Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011; y los puntos de monitoreo realizados en los cementerios.

Piezómetro	Coordenadas		Ubicación	Observación
	Este	Norte		
PZ-1	1004434	1025061	Club Colsubsidio	Se verifico el piezómetro, en el predio no se encuentra el punto. En el predio del club se encuentra un pozo profundo que es utilizado para abastecimiento, no se puede tomar medidas de nivel estático debido a que el pozo está sellado.
PZ-2	1004384	1024857	Bogotá Tennis Club	No se encontró el piezómetro.
PZ-3	1002845	1024930	Conjunto Residencial San Simón 1	Piezómetro verificado (ver Fotografía 19), dado las condiciones del punto la tapa que lo cubre no pudo ser removida para verificar los niveles freáticos.
PZ-4	1004759	1022799	Lote EAAB	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-5	1004116	1024343	Conjunto Residencial San Simón 2	Piezómetro verificado (ver Fotografía 20), este punto se midió el nivel piezométrico: 1,20 m.
PZ-6	1004095	1023357	Centro comercial Bima	Piezómetro verificado (ver Fotografía 21)
PZ-7	1004183	1022717	Estación de servicio Texaco	No se encuentra el piezómetro.
PZ-8	1003590	1022933	Colegio Nueva York	En el área donde estaba el piezómetro actualmente hay canchas de voleibol, el punto no se encuentra.
PZ-9	1002905	1022691	Inversiones Morcolote Ltda.	El punto fue visitado actualmente el predio pertenece a la UDCA.
PZ-10	1004832	1022628	Sede deportiva club Los Millonarios	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-11	1003620	1021972	Colegio Nueva Inglaterra	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-12	1004702	1022212	Finca Santa María	No se encuentra el piezómetro, actualmente el terreno tiene canchas de futbol.
PZ-13	1005166	1021592	Colegio el Rosario Campestre	Piezómetro verificado (ver Fotografía 22)
PZ-14	1004509	1023245	Multiparque	El piezómetro no se encuentra en el área, la profesional ambiental del parque afirma que se construyó un jardín en la entrada al parque por la avenida libertadores, lugar donde estaba el punto.
PZ-15	1002672	1021544	Universidad Santo Tomas	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-16	1002776	1020331	Colegio La Enseñanza	Piezómetro verificado (ver Fotografía 23)

PZ-17	1002910	1020759	Cementerio Jardines del recuerdo	No se cuenta con permiso para entrar a verificar piezómetro
PZ-18	1004983	1019382	No se encontró el piezómetro en el lugar	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-19	1003751	1020552	Escuela Colombiana de Ingeniería	Piezómetro verificado
PZ-20	1004013	1021434	Colegio San Viator	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-21	1002060	1019150	Lote Bavaria	No se encuentra el piezómetro, actualmente en el lote se realizan obras civiles.
PZ-22	1003596	1020034	Megaoutlet	Piezómetro verificado
PZ-23	1002204	1020119	Club Profesores universidad nacional	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-24	1002617	1019595	Colegio Vermont	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-25	1004065	1019457	Makro Autonorte	Piezómetro verificado.
PZ-26	1002037	1020375	Gimnasio del Norte	No se encontró el piezómetro en el lugar
PZ-27	1003169	1020293	Flores Ball Colombia	No se encontró el piezómetro
PZ-28	1001795	1018629	Seminario San Luis Beltrán	No se encontró el piezómetro
PZ-29	1001842	1019501	Gimnasio Josefina Castro	No se encontró el piezómetro
PZ-30	1024541	1002466	Hacienda San Sebastián	No se encontró el piezómetro
JP POZO N3	1004939	1020343	Cementerio Jardines de paz	Piezómetro verificado
JP POZO N6	1004423	1020702	Cementerio Jardines de paz	Piezómetro verificado, tapa rota, se observa nivel freático.
JP POZO N10	1005155	1020529	Cementerio Jardines de paz	Piezómetro verificado
JR POZO N2	1003986	1020901	Cementerio Jardines del recuerdo	Piezómetro verificado
JR POZO N4	1003524	1020878	Cementerio Jardines del recuerdo	Piezómetro verificado
JR POZO N5	1003476	1021049	Cementerio Jardines del recuerdo	Piezómetro verificado
JR POZO N6	1003376	1021250	Cementerio Jardines del recuerdo	Piezómetro verificado

Fuente: WSP, 2019

A continuación, se presenta el registro fotográfico de las inspecciones realizadas a la red de piezómetros mencionada en este acápite.

Fotografía 19 Piezómetro PZ-3, Conjunto residencia San Simón 1.



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 20 Piezómetro PZ-5, Conjunto Residencial San Simón 2



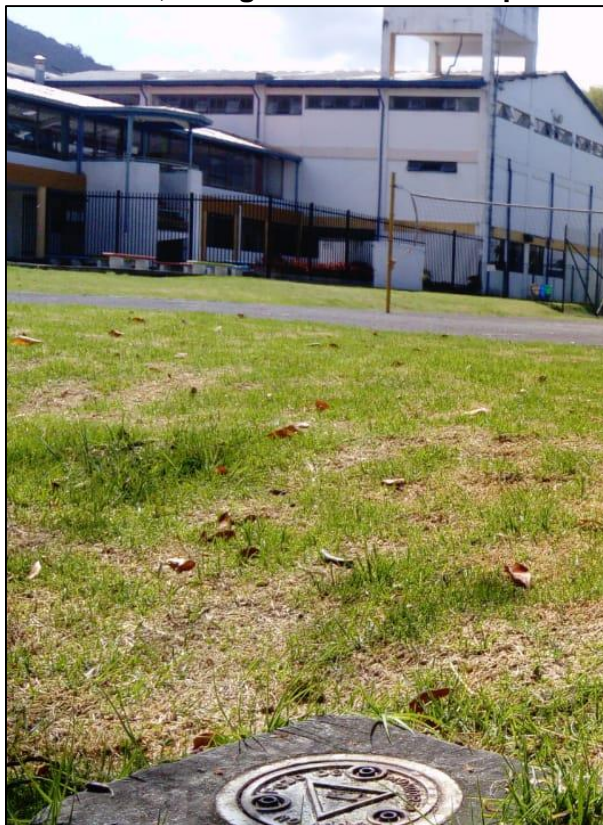
Fuente: WSP, 2019

Fotografía 21 Piezómetro PZ-6, Centro comercial Bima



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 22 Piezómetro PZ-13, Colegio el Rosario Campestre



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 23 Piezómetro PZ-16, Colegio La Enseñanza



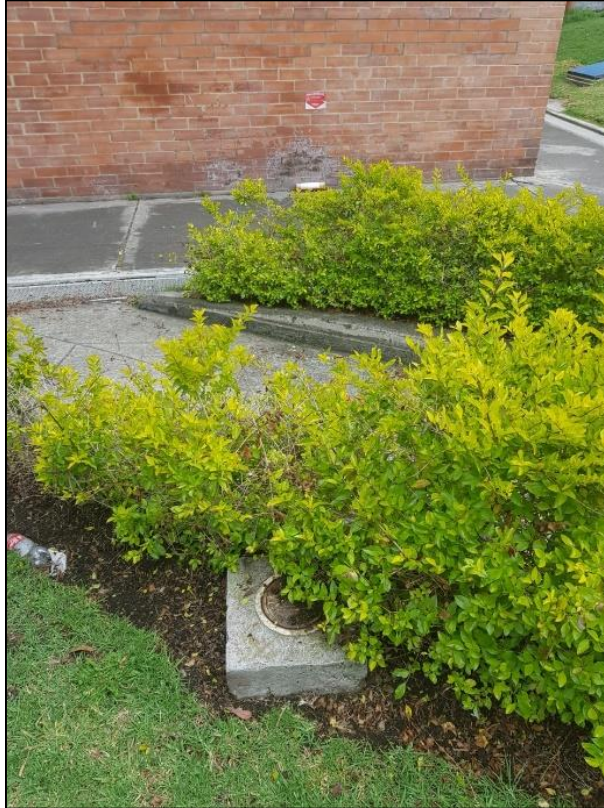
Fuente: WSP, 2019

Fotografía 24 Piezómetro PZ-19, Escuela Colombiana de Ingeniería



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 25 Piezómetro PZ-22, Megaoutlet



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 26 Piezómetro PZ-25, Makro Autonorte



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 27 Piezómetro JP POZO N3, Cementerio Jardines de Paz



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 28 Piezómetro JP POZO N6, Cementerio Jardines de Paz



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 29 Piezómetro JP POZO N10, Cementerio Jardines de Paz



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 30 Piezómetro JP POZO N2, Cementerio Jardines del Recuerdo



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 31 Piezómetro JP POZO N4, Cementerio Jardines del Recuerdo



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 32 Piezómetro JP POZO N5, Cementerio Jardines del Recuerdo



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 33 Piezómetro JP POZO N6, Cementerio Jardines del Recuerdo



Fuente: WSP, 2019

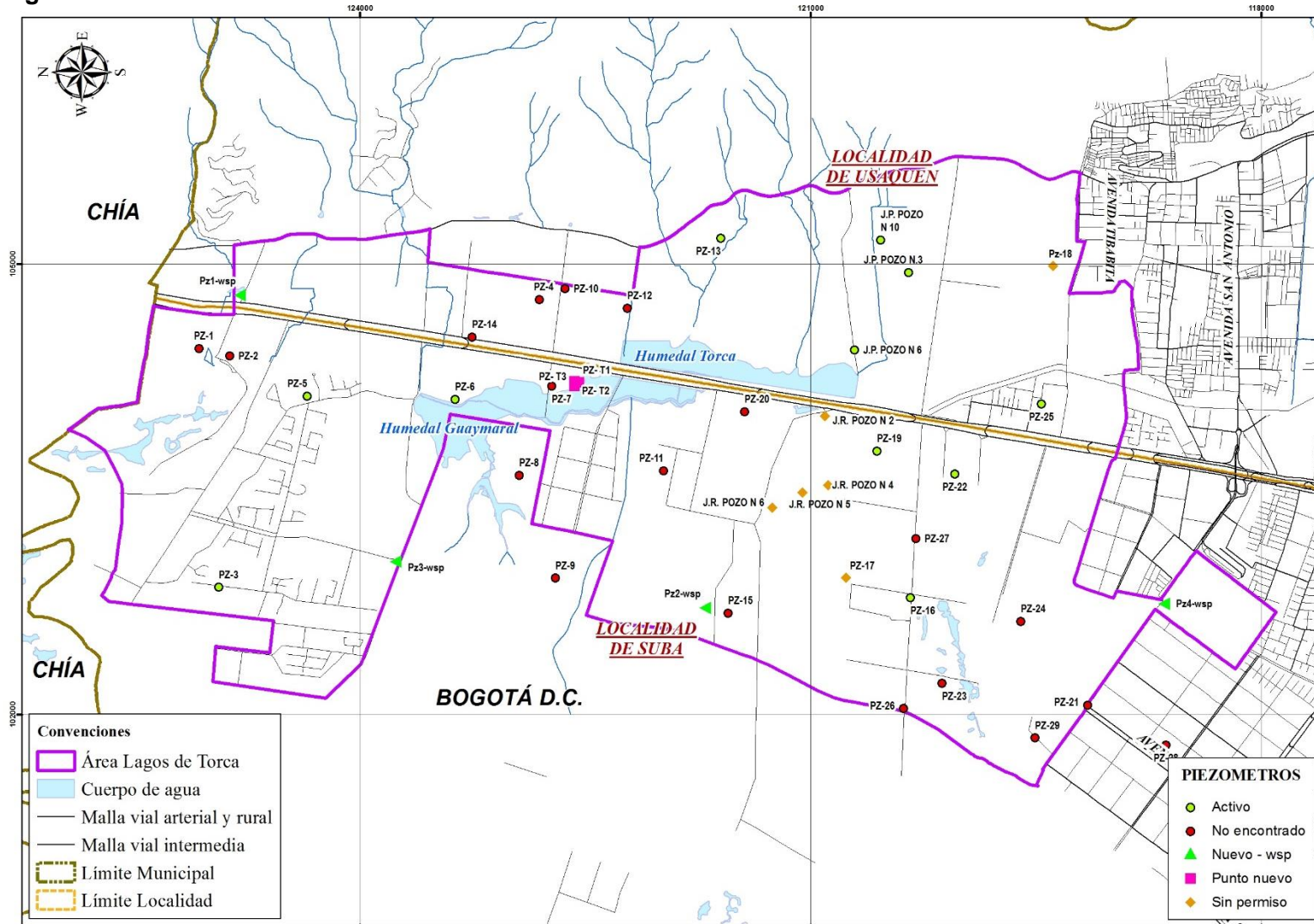
Finalmente, en la red de monitoreo se tuvieron en cuenta 44 piezómetros que se relacionan a continuación: De los 30 puntos construidos para el monitoreo del Consorcio Borde Norte (2011) se encontraron 9 puntos de los cuales 7 tienen permisos para realizar el monitoreo. De la red de monitoreo utilizada en el estudio de los piezómetros Jardines de Paz se tomaron la lectura de los tres (3) puntos de la red. Los cuatro puntos del cementerio Jardines del recuerdo fueron verificados, pero fue imposible obtener permiso para los monitoreos.

Adicionalmente y como se menciona en el siguiente subíndice, WSP construyó 4 puntos nuevos de la red de monitoreo, los cuales se incluyeron dentro de la red de monitoreo, también se utilizaron 3 puntos cercanos a la bomba Texaco para reemplazar el punto PZ-7 que no se encontraba en el sitio, como se puede ver en la Figura 178.

En total se tienen 17 lecturas para la primera campaña llevada a cabo por este estudio, a diferencia de las campañas realizadas en el 2010 que eran 37 puntos, la variación de estos piezómetros tiene una afectación en la interpolación de las isoprofundidades y las direcciones de flujo someras aparentes, debido a que el número limitado de piezómetros puede asociarse a interpretaciones menos robustas, teniendo en cuenta que puntos a gran distancia, reducen las predicciones realizadas por medio de *IDW* haciendo que sean menos estrictas las interpretaciones y los valores a distancias mayores pueden mostrar un comportamiento de variación.

A continuación, se muestra una figura con la caracterización realizada a los piezómetros, calificándolos de acuerdo con la condición observada en las visitas de inspección y monitoreo.

Figura 178 Estado actual red de monitoreo



Fuente: WSP, 2019

10.2.2 Piezómetros instalados durante el desarrollo del presente proyecto

De acuerdo con el alcance del monitoreo hidrogeológico incluido en el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018) se deben instalar 4 piezómetros en sitios a convenir con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; lo anterior fue definido en Mesa de Trabajo realizada el 13 de febrero de 2019; adicionalmente, los piezómetros deben tener una profundidad de 15 m y deben tomar las variaciones de nivel cada 20 minutos; para cumplir lo anterior, fueron instalados dispositivos tipo Divers que son equipos de medición de datos autónomos, de registro continuo, programados de acuerdo a la necesidad del operador; cuentan con una estructura consolidada y completamente sellada.

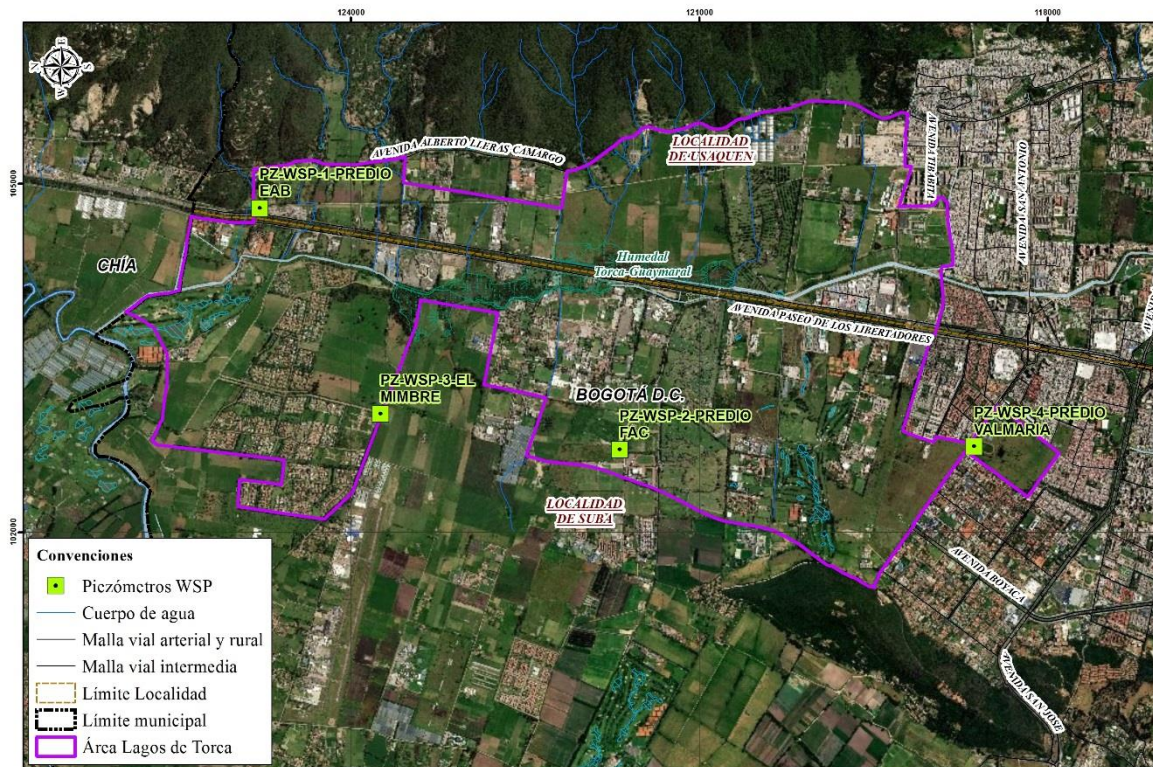
En la Figura 179 se presenta la ubicación de los 4 piezómetros y en la Tabla 54 se incluye las coordenadas de los mismos y, además las fechas de construcción de los piezómetros e instalación de los Divers. Es importante anotar que en el Anexo E se presentan los reportes diarios de trabajos de campo (que incluyen descripción de las actividades y registro fotográfico) y, además, el informe de instalación de los mismos; en el Anexo F se incluyen los certificados de calibración de los Divers¹ y de la Fotografía 34 a la Fotografía 37 se incluyen fotografías de la construcción de los piezómetros e instalación de Divers.

En la Figura 180 se explica el diseño general de los cuatro piezómetros; y de la Figura 181 a 184 se relacionan los diseños implementados para los últimos cuatro piezómetros de monitoreo, adicional a esto se detalla la columna litológica excavada durante la construcción del piezómetro.

Con el fin de conocer la altura a la que se encuentran los cuatro piezómetros, se realizó un levantamiento topográfico GPS-RTK de cada uno de los puntos instalados, este procedimiento es detallado en el Anexo J Coordenadas de los Piezómetros nuevos (Levantamiento topográfico).

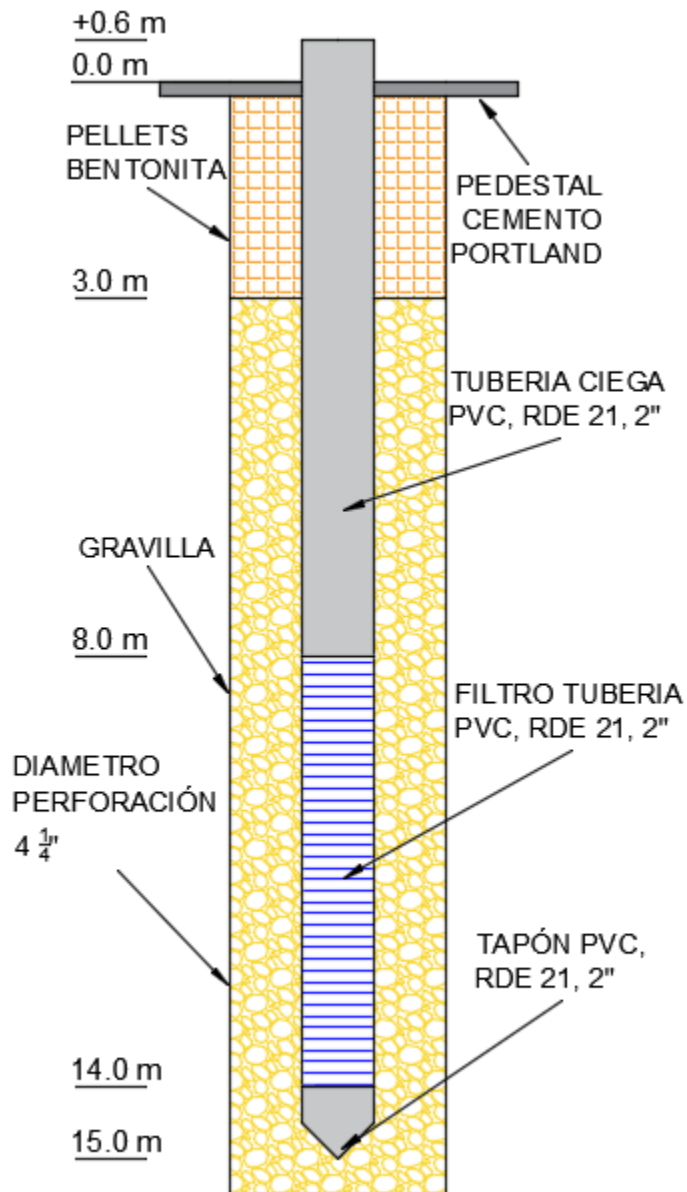
¹ Es importante indicar que para la obtención de los datos de los divers se requiere un BARO (serial DI800-AR283) y del cual se adjunta el respectivo certificado de calibración en el Anexo F.

Figura 179 Localización de los piezómetros construidos en el presente proyecto



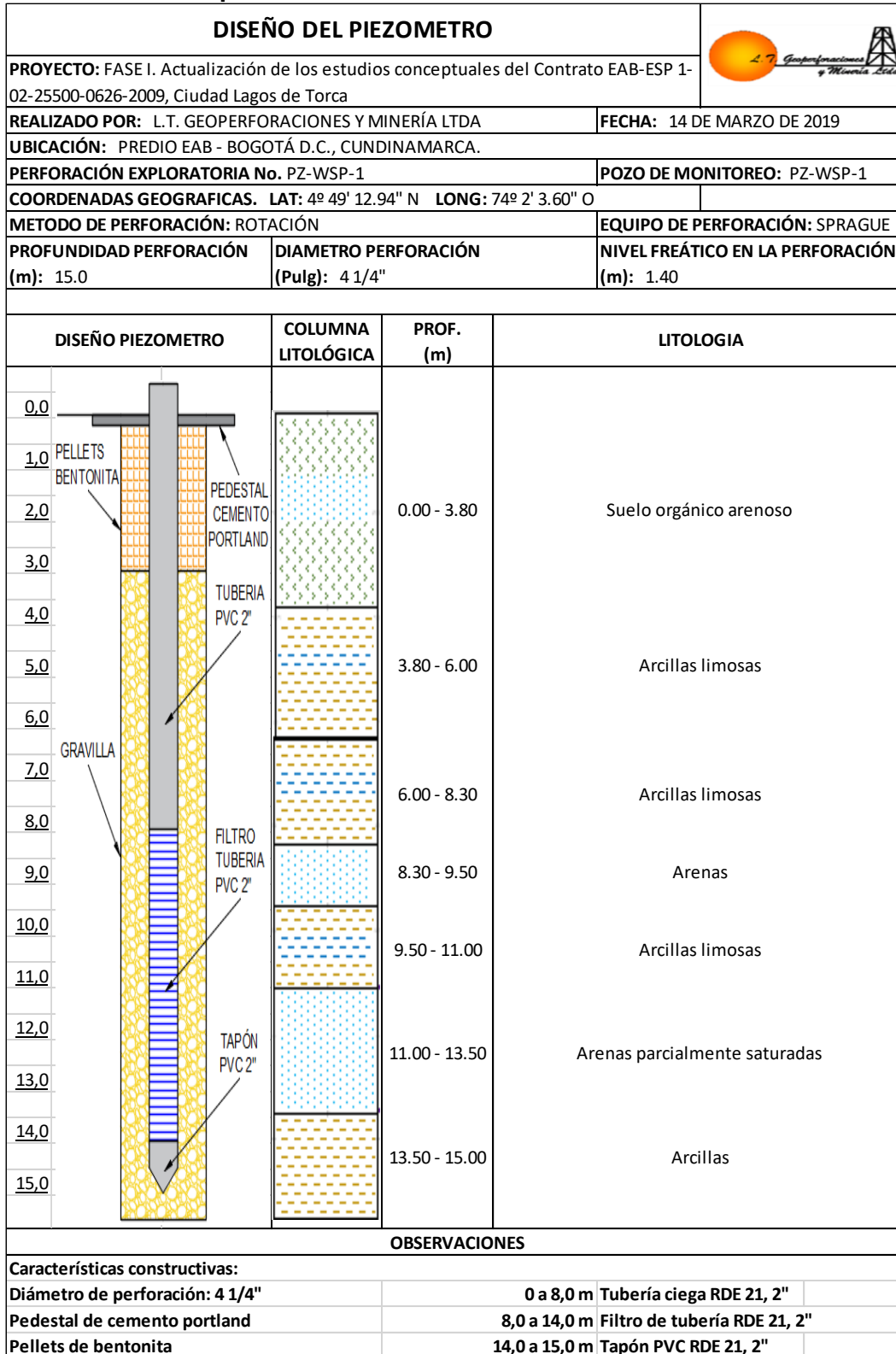
Fuente: Google Earth, 2019

Figura 180 Diseño y características constructivas de los cuatro piezómetros levantados en el presente estudio.



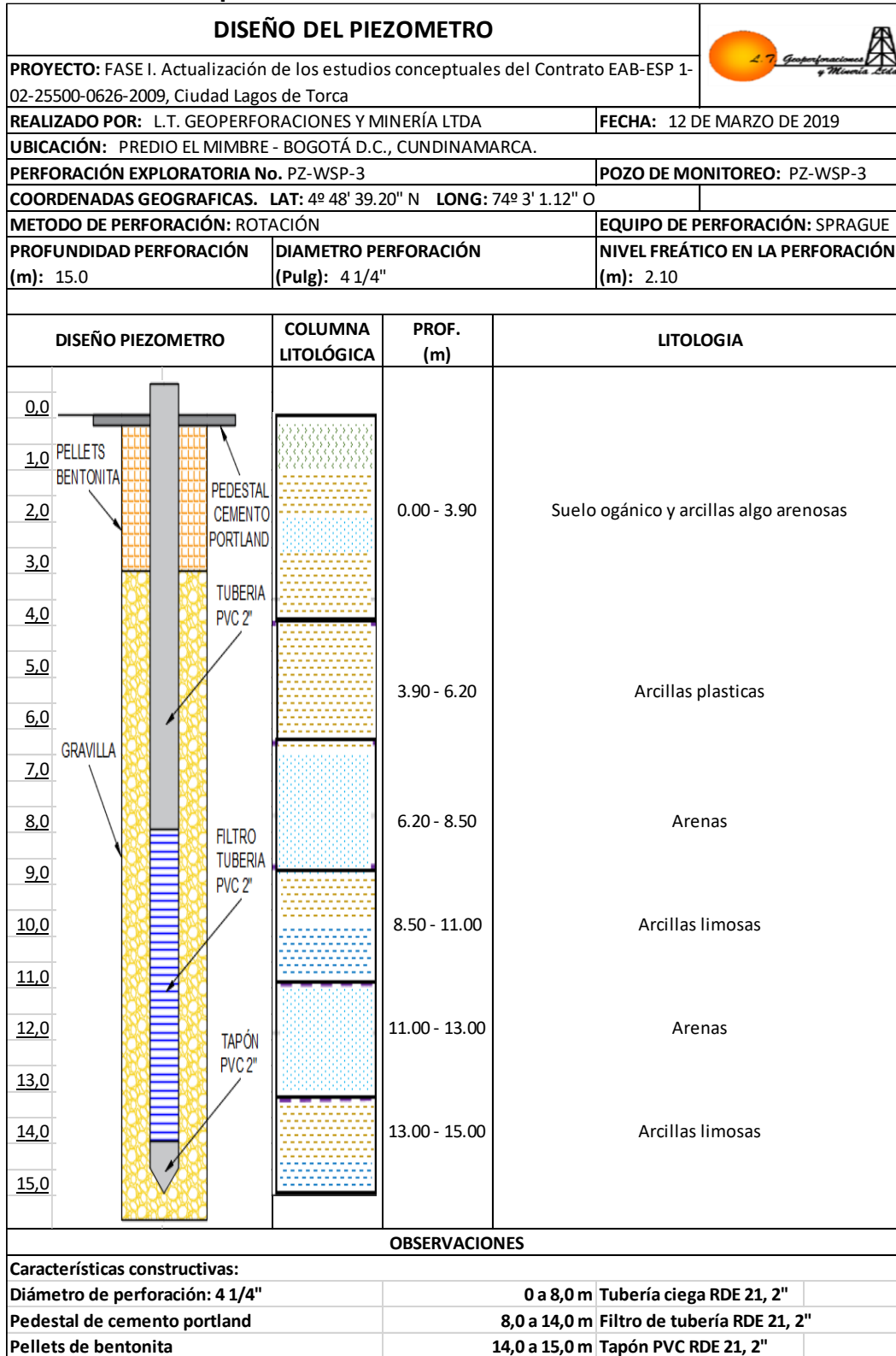
Fuente: WSP, 2019

Figura 181 Diseño del piezómetro PZ-WSP-1



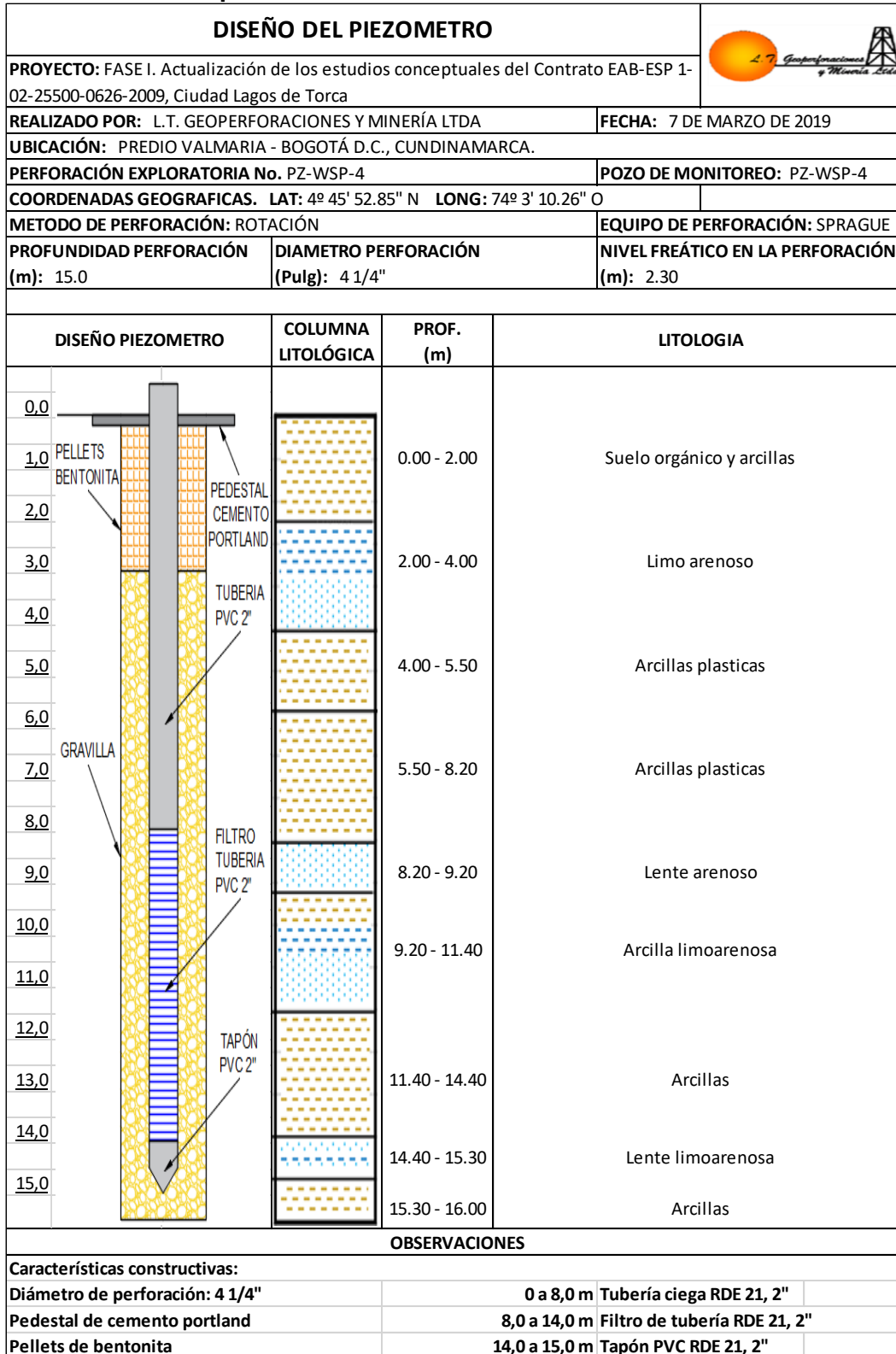
Fuente: WSP, 2019

Figura 183 Diseño del piezómetro PZ-WSP-3



Fuente: WSP, 2019

Figura 184 Diseño del piezómetro PZ-WSP-4



Fuente: WSP, 2019

Tabla 54 Características de los piezómetros construidos

Piezómetro	Coordenadas ²		Construcción de piezómetros		Instalación Divers	
	Este	Norte	Fecha inicio	Fecha finalización	Fecha de instalación	Serial diver
PZ-WSP-1-PREDIO EAB	104790.582	124789.154	13 de marzo de 2019	14 de marzo de 2019	16 de abril de 2019	AR-137
PZ-WSP-2-PREDIO FAC	102711.358	121694.237	20 de marzo de 2019	22 de marzo de 2019	16 de abril de 2019	AR-133
PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE	103017.064	123754.083	8 de marzo de 2019	12 de marzo de 2019	16 de abril de 2019	AR-206
PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA	102747.166	118641.652	1 de marzo de 2019	7 de marzo de 2019	27 de marzo de 2019	W6000

Fuente: WSP, 2019

² Tomadas en el levantamiento topográfico; ver Anexo J Coordenadas de los Piezómetros nuevos (Levantamiento topográfico)

Fotografía 34 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-1-PREDIO EAB e instalación del diver (serial AR-137)



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 35 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-2-PREDIO FAC e instalación del diver (Serial AR-133)



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 36 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE e instalación del diver (Serial AR-206)



Fuente: WSP, 2019

Fotografía 37 Construcción del Piezómetro PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA e instalación del Diver (Serial W6000)



Fuente: WSP, 2019

10.3 CAMPAÑAS DE MONITOREO – NIVEL PIEZOMÉTRICO

El monitoreo es una herramienta esencial de gestión de los acuíferos nos advierte de sus variaciones en el tiempo y de la dinámica del recurso subterráneo. La implementación del programa de monitoreo permite definir el comportamiento de los sistemas hídricos subterráneos, así como obtener análisis sobre las fluctuaciones en los niveles piezométricos, esto con el fin de realizar acciones concretas para el manejo en la gestión y protección de las aguas subterráneas.

El monitoreo de niveles se realizó en los piezómetros ubicados dentro del área de estudio los cuales fueron identificados y construidos para el presente proyecto; la relación de estos puntos se puede observar a detalle en el anterior sub numeral.

De acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018), se debe adelantar un monitoreo por un periodo de 6 meses y para lo cual fueron definidas campañas mensuales.

Expuesto lo anterior, el presente acápite se incluye los resultados de las seis campañas del monitoreo de piezómetros dentro de la zona del proyecto: “Fase I. Actualización de los estudios conceptuales del contrato EAB- ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca”.

La primera campaña de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (abril 11 de 2019) en los piezómetros existentes y que fueron monitoreados por el Consorcio Borde Norte (2010) y, además, en piezómetros construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 16 de abril y 20 de mayo de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.
3. Toma de niveles piezométricos (24 de mayo) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.

La campaña 2 de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (18 y 19 de junio) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 21 de mayo y 18 de junio de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.

La campaña 3 de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (17 y 18 de julio) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 18 de junio y 17 de julio de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.

La campaña 4 de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (15 y 16 de agosto) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 18 de julio y 16 de agosto de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.

La campaña 5 de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (12 y 13 de septiembre) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 17 de agosto de 2019 y 13 de septiembre de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.

La campaña 6 de monitoreo incluyó:

1. Toma de niveles piezométricos (8 y 9 de octubre) en los piezómetros existentes y en los construidos en el presente proyecto.
2. Obtención de datos de nivel de agua estático (registrado cada 20 minutos, entre el 14 de septiembre de 2019 y 9 de octubre de 2019) de los *Divers* instalados en los 4 piezómetros construidos como parte de la ejecución del presente proyecto.

Es importante resaltar que asociado a los piezómetros instalados por WSP, fueron encontrados 3 instrumentos ubicados en predios de la Estación de Servicio Texaco (costado occidental de la Autopista Norte con Calle 224). Puntos que también se incluyen dentro de la red de monitoreo con el fin de complementar y desarrollar un análisis detallado.

A continuación, se incluyen los resultados de cada una de las campañas ya mencionadas, posteriormente, se muestra la variación de los niveles de agua registrados (por los *Divers*) en los 4 piezómetros instalados en el desarrollo del presente proyecto. Finalmente, se incluyen los análisis de los resultados obtenidos.

10.3.1 CAMPAÑAS DE MONITOREO DE PIEZÓMETROS (WSP, 2019)

Con el fin de determinar las posibles variaciones y fluctuaciones de los niveles medidos en los piezómetros, y su comportamiento en las capas más someras del sistema acuífero, se evalúa y analiza los niveles piezométricos, a partir de los cuales se infieren direcciones del

flujo subsuperficial, además de evaluar su comportamiento en relación con la condición climatológica, eventos de máximas y mínimas precipitaciones.

Como se ha mencionado se realizó inspección a los 44 piezómetros de la red de monitoreo, sin embargo, considerando las condiciones y el estado actual de cada punto, al momento de las mediciones se logra monitorear 17 piezómetros, en 6 campañas durante seis meses, según lo dispuesto en las especificaciones técnicas. El número de puntos monitoreados se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 55 Piezómetros monitoreados en 6 campañas durante la actual red de monitoreo.

<i>ID Del piezómetro</i>	<i>N.º de Piezómetros</i>	<i>N.º de Pz monitoreados</i>
Consortio Borde Norte Bogotá	30	7
Cementerios	7	3
Bombas Texaco	3	3
Mejoramiento (WSP)	4	4
Total	44	17

Fuente: WSP, 2019

El recorrido, inspección y toma de datos se llevó a cabo de la siguiente manera: Campaña 1 de monitoreo, comprendida entre 16 de abril al 20 de mayo de 2019; Campaña 2 de monitoreo que se realizó los días 18 y 19 de junio de 2019; Campaña 3 realizada los días 17 y 18 de julio de 2019; Campaña 4, adelantada entre el 15 y 16 de agosto de 2019; y Campaña 5, realizada entre del 12 y 13 de septiembre de 2019.

En la Tabla 56 se encuentra el total de los 44 puntos inspeccionados y monitoreados en las seis campañas llevadas a cabo por este estudio, donde se verifico y recopiló información del nivel piezométrico de 30 piezómetros instalados por el Consorcio Borde Norte, 2010, siete (7) piezómetros de la red de monitoreo que pertenecen a los cementerios, cuatro (4) piezómetros instalados para mejorar la red de monitoreo, y tres (3) piezómetros encontrados en la Bomba Texaco pertenecientes a la red. Como se ha mencionado varios de los piezómetros al momento de la visita no pudieron ser medidos, por diversas causas, en la Tabla 56, se relacionan solo los niveles que se lograron registrar; en total corresponde a 17 piezómetros con información, se relacionan todos los puntos de la red (con niveles medidos y sin ellos) con el fin de validar la información recopilada durante cada campaña.

Tabla 56 Tabla compilada de los niveles piezométricos “in situ” monitoreados en las – Campañas 1, 2, 3, 4, 5 y 6

ID	Ubicación	Coordenada Magna Signa Bogotá		Estado	Lectura de Nivel Piezométrico ³ [m]						
		Norte	Este		Campaña 1		Cam 2	Cam 3	Cam 4	Cam 5	Cam 6
					Primera Lectura (11/04/19)	Segunda Lectura (24/05/19)	Lectura (17/06/19 – 18/06/19)	Lectura (12/09/19 – 13/09/19)	Lectura (15/08/19 – 16/08/19)	Lectura (12/09/19 – 13/09/19)	Lectura (8/10/19 – 9/10/19)
PZ-1	Club Colsubsidio	1025061	1004434	Inexistente	-	-	-	-	-	-	-
PZ-2	Bogotá Tenis Club	1024857	1004384	Inexistente	-	-	-	-	-	-	-
PZ-3	Conjunto Residencial San Simón 1	1024930	1002845	Activo	-	1.62	1.33	1.83	1.63	1.83	1.80
PZ-4	Lote EAB	1022799	1004759	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-5	Conjunto Residencial San Simón 2	1024343	1004116	Activo	2.25	1.75	1.55	1.75	0.91	1.75	1.92
PZ-6	Centro Comercial Bima	1023357	1004095	Activo	-	2.22	1.75	2.07	1.84	2.07	2.00
PZ-7	Estación de Servicio Texaco	1022717	1004183	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-8	Colegio Nueva York	1022933	1003590	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-9	Inversiones Morcote Ltda.	1022691	1002905	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-10	Sede Deportiva Club Los Millonarios	1022628	1004832	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-11	Colegio Nueva Inglaterra	1021972	1003620	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-12	Finca Santa María (Esc. Los Pibes)	1022212	1004702	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-13	Colegio El Rosario Campestre	1021592	1005166	Activo	-	0.83	0.68	0.77	0.67	0.77	0.60
PZ-14	Multiparque	1023245	1004509	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-15	Universidad Santo Tomás	1021544	1002672	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-
PZ-16	Colegio La Enseñanza	1020331	1002776	Activo	Sin permiso	Sin permiso	1.03	1.66	1.40	1.66	1.46

³ Tomado desde el nivel del terreno

ID	Ubicación	Coordenada Magna Signa Bogotá		Estado	Lectura de Nivel Piezométrico ³ [m]							
		Norte	Este		Campaña 1		Cam 2	Cam 3	Cam 4	Cam 5	Cam 6	
					Primera Lectura (11/04/19)	Segunda Lectura (24/05/19)	Lectura (17/06/19 - 18/06/19)	Lectura (12/09/19 - 13/09/19)	Lectura (15/08/19 - 16/08/19)	Lectura (12/09/19 - 13/09/19)	Lectura (8/10/19 - 9/10/19)	
PZ-17	Cementerio Jardines del recuerdo	1020759	1002910	Activo	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
Pz-18	Gimnasio Los Pinos	1019382	1004983	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-19	Escuela Colombiana de Ingeniería	1020552	1003751	Activo	-	2.11	2.04	2.93	2.72	2.93	2.80	
PZ-20	Colegio San Viator	1021434	1004013	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-21	Lote Bavaria	1019150	1002060	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-22	Megaoutlet	1020034	1003596	Activo	-	2.66	2.33	1.65	1.77	1.65	1.43	
PZ-23	Club de profesores Universidad Nacional	1020119	1002204	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-24	Colegio Vermont	1019595	1002617	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-25	Makro Autonorte	1019457	1004065	Activo	-	1.48	1.48	1.75	1.73	1.75	1.58	
PZ-26	Gimnasio del Norte	1020375	1002037	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-27	Flores Ball Colombia	1020293	1003169	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-28	Seminario San Luis Beltrán	1018629	1001795	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-29	Gimnasio Josefina Castro	1019501	1001842	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-30	Hacienda San Sebastián	1002466	1024541	No encontrado	-	-	-	-	-	-	-	-
J.P. POZO N.3	Cementerios Jardines de Paz	1020343	1004939	Activo	2.69	1.65	1.49	2.67	2.30	2.67	2.55	
J.P. POZO N 6	Cementerios Jardines de Paz	1020702	1004423	Activo	1.93	0.86	0.87	1.41	1.26	1.41	1.40	
J.P. POZO N 10	Cementerios Jardines de Paz	1020529	1005155	Activo	0.71	0.52	0.57	0.95	0.87	0.95	0.80	

ID	Ubicación	Coordenada Magna Signa Bogotá		Estado	Lectura de Nivel Piezométrico ³ [m]							
		Norte	Este		Campaña 1		Cam 2	Cam 3	Cam 4	Cam 5	Cam 6	
					Primera Lectura (11/04/19)	Segunda Lectura (24/05/19)	Lectura (17/06/19 - 18/06/19)	Lectura (12/09/19 - 13/09/19)	Lectura (15/08/19 - 16/08/19)	Lectura (12/09/19 - 13/09/19)	Lectura (8/10/19 - 9/10/19)	
J.R. POZO N 2	Cementerio Jardines del Recuerdo	1020901	1003986	Activo	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
J.R. POZO N 4	Cementerio Jardines del Recuerdo	1020878	1003524	Activo	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
J.R. POZO N 5	Cementerio Jardines del Recuerdo	1021049	1003476	Activo	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
J.R. POZO N 6	Cementerio Jardines del Recuerdo	1021250	1003376	Activo	Sin Permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
PZ1-WSP	EAB	1024777	1004789	Activo	1.38	0.93	1.49	1.85	1.65	1.85	1.85	1.56
PZ2-WSP	FAC	1021682	1002707	Activo	2.67	2.26	1.84	2.83	2.65	2.83	2.83	2.70
PZ3-WSP	Conjunto El Mimbres	1023741	1003017	Activo	2.08	1.95	1.67	2.17	2.07	2.17	2.17	2.00
PZ4-WSP	Predio Valmaría	1018631	1002735	Activo	1.32	0.76	0.82	1.47	1.14	1.47	1.47	1.35
PZ- T1	Piezómetro Texaco 1	1022536	1004210	Activo	Sin permiso	1.48	1.55	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso
PZ- T2	Piezómetro Texaco 2	1022566	1004186	Activo	Sin permiso	1.52	1.49	1.93	1.92	1.93	1.93	Sin permiso
PZ- T3	Piezómetro Texaco 3	1022565	1004217	Activo	Sin permiso	0.98	0.85	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso	Sin permiso

Fuente: WSP, 2019

Es importante aclarar que los niveles medidos en la red piezométrica se llevaron a cabo mediante sonda manual. Para este análisis se incluyen los cuatro últimos piezómetros instalados por WSP los cuales además son evaluados más adelante mediante el registro de niveles con sonda Diver, teniendo en cuenta la densidad de la información y el cumplimiento con la frecuencia de medición establecida en las especificaciones técnicas.

Tabla 57 Evaluación de la red de monitoreo (Altura del nivel de la tabla de agua -cota) en 6 campañas Vs Precipitación

ID	C1-ABR	C1-MAY	C2-JUN	C3-JUL	C4-AGO	C5-SEP	C6-OCT
PZ-3		● 2552,37	● 2552,66	● 2552,54	● 2552,36	● 2548,31	● 2548,34
PZ-5	● 2546,04	● 2546,54	● 2546,74	● 2546,65	● 2547,38	● 2545,26	● 2545,09
PZ-6		● 2545,51	● 2545,98	● 2546,21	● 2545,89	● 2551,92	● 2551,99
PZ-13		● 2555,46	● 2555,61	● 2555,59	● 2555,62	● 2557,23	● 2557,40
PZ-16			● 2553,99	● 2553,77	● 2553,62	● 2546,63	● 2546,83
PZ-19		● 2549,88	● 2549,95	● 2549,56	● 2549,27	● 2544,80	● 2544,93
PZ-22		● 2548,34	● 2548,67	● 2549,13	● 2549,23	● 2547,41	● 2547,63
PZ-25		● 2550,58	● 2550,58	● 2550,49	● 2550,33	● 2550,99	● 2551,16
J.P. POZO N.3	● 2551,28	● 2552,32	● 2552,48	● 2552,41	● 2551,67	● 2550,48	● 2550,60
J.P. POZO N 6	● 2549,07	● 2550,13	● 2550,12	● 2549,94	● 2549,73	● 2557,90	● 2557,91
J.P. POZO N 10	● 2553,01	● 2553,20	● 2553,15	● 2553,02	● 2552,85	● 2553,18	● 2553,33
PZ1-WSP	● 2557,20	● 2557,65	● 2557,09	● 2557,02	● 2556,93	● 2555,27	● 2555,56
PZ2-WSP	● 2554,05	● 2554,46	● 2554,88	● 2554,41	● 2554,07	● 2553,46	● 2553,59
PZ3-WSP	● 2552,78	● 2552,91	● 2553,19	● 2552,99	● 2552,79	● 2551,78	● 2551,95
PZ4-WSP	● 2555,25	● 2555,81	● 2555,75	● 2555,53	● 2555,43	● 2553,44	● 2553,56
PZ- T1		● 2549,45	● 2549,38				
PZ- T2		● 2549,12	● 2549,15	● 2548,87	● 2548,72	● 2552,65	
PZ- T3		● 2549,71	2549,84				

Fuente: WSP, 2020

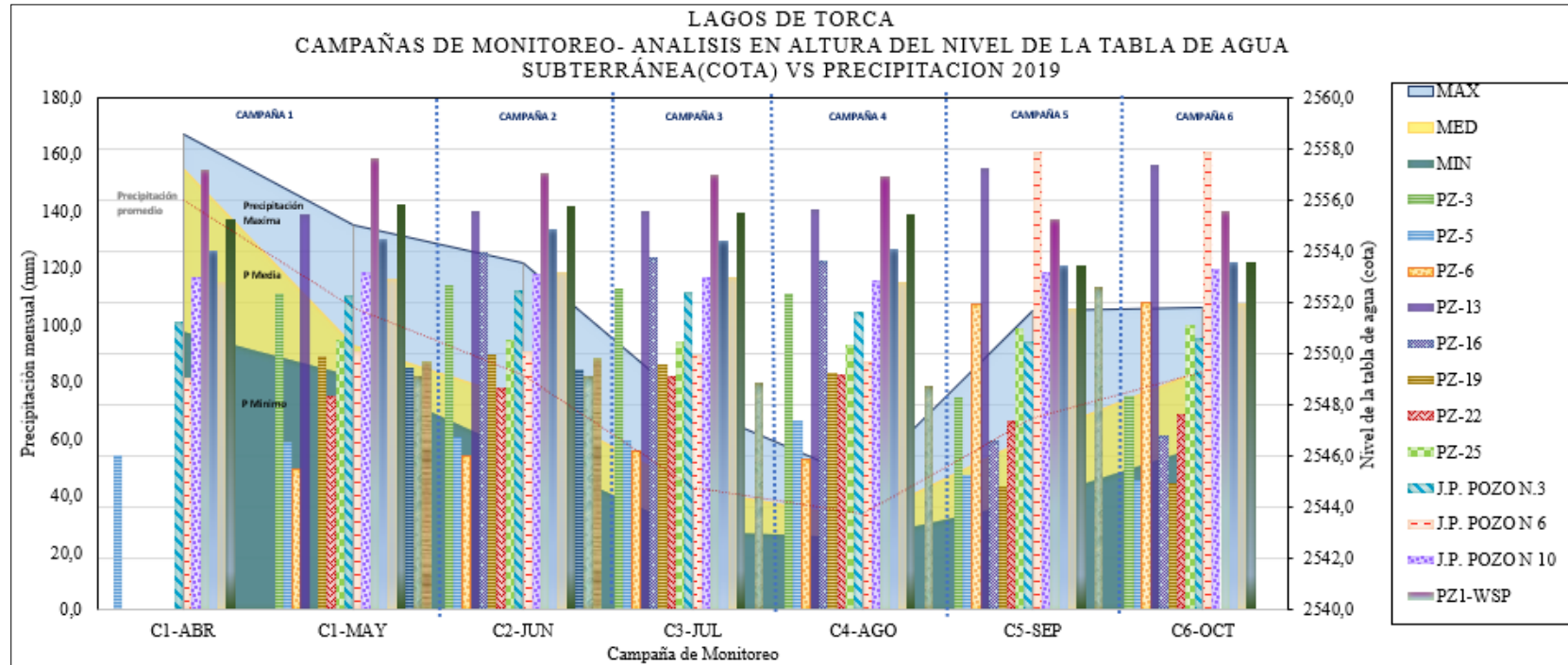
En la Tabla 57 se relacionan los datos en altura del nivel de la tabla de agua (cota), calculados durante las seis campañas. Los niveles medidos se clasifican por colores con el fin de identificar los valores máximos (punto verde), medios (amarillo) y mínimos (rojo), reportados durante la medición. Es importante aclarar que el análisis se llevó a cabo con el valor reportado durante la medición, es decir todos los datos de nivel encontrados el día de monitoreo por campaña, independientemente de si eran mínimos o máximos, dicha clasificación y/o evaluación se realiza con el fin de conocer la variación de niveles entre cada piezómetro.

Razón por la cual se identifica que el mes donde se presentan el mayor número de piezómetros con valores máximos corresponde a mayo el cual coincide con una de las temporadas de máximas precipitaciones como se puede observar en la Figura 185. Donde se presenta la comparación entre la precipitación máxima, mínima y media, mensual (Evaluada a partir de los datos del IDEAM), frente a los niveles de la tabla de agua (cota), medidos durante las seis campañas, de esta manera se identifica que las precipitaciones más altas se dan entre abril- mayo y octubre, y registros mínimos en agosto- septiembre, los cuales coinciden con los niveles de la tabla de agua (cota), más altos y bajos respectivamente. Es importante mencionar que en la Figura 185 se evaluaron datos en series multianuales de precipitación, con el fin de obtener una comparación robusta de los datos pluviométricos y un concepto más general frente a los niveles de la tabla de agua con los cuales se contrasta.

La Figura 185 permite definir que para las temporadas de máximas precipitaciones los niveles de la tabla de agua aumentan, sin embargo en temporada de estiaje, continúan con niveles representativos y continuos, (generalmente en época de sequía los niveles reducen drásticamente) es decir a pesar de que se presenten épocas de sequía los niveles no desaparecen ni se reducen, razón por la cual se infiere que la condición de los piezómetros es de niveles de agua constante, que fluctúan levemente.

El proceso mencionado ocurre porque, el acuífero somero que caracteriza el área, si bien recibe aportes de la precipitación y por ende aumenta (en temporadas de máximas precipitaciones), también presenta niveles de flujo subterráneo que aportan cuando se presentan condiciones climáticas de sequía razón por la cual se infiere que el agua sea constante.

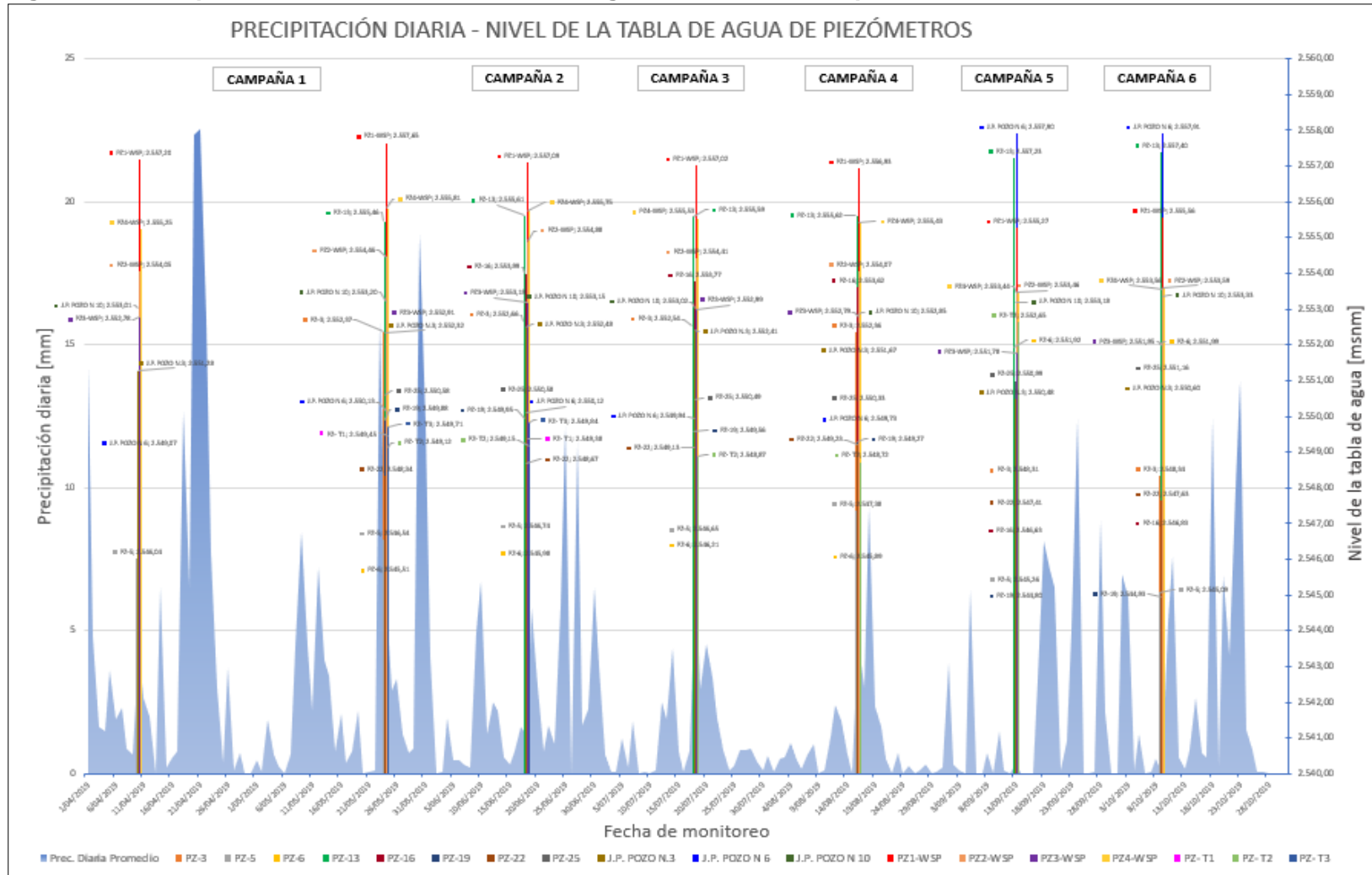
Figura 185 Evaluación de la red de monitoreo en 6 campañas Vs Precipitación -valores mensuales



Fuente: WSP, 2020

10.3.1.1 Análisis de las lecturas del nivel de la tabla de agua para todas las campañas

Figura 186 Precipitación Vs Niveles de la tabla de agua en todas las campañas en datos diarios



Fuente: WSP, 2020

Consideraciones campaña 1

Comprendió las siguientes jornadas de toma de datos:

1. Primer monitoreo: 11 de abril, verificación de puntos de la red y toma de medidas, cabe aclarar que por el estado de los piezómetros no todos los puntos tienen medidas de nivel piezométrico.
2. Segundo monitoreo: 24 de mayo, se realiza la campaña de los piezómetros que actualmente existen en el área tomando los niveles freáticos de los mismos.

Esta campaña consistió en dos visitas y por ende dos registros, razón por la cual en la primera lectura se obtuvieron 8 datos de nivel piezométrico y en la segunda lectura 17 datos, ver **Tabla 57**. A partir de dicha información se realiza un cálculo estadístico, con el fin de identificar los niveles máximos, mínimos y la desviación estándar de los niveles registrados entre un piezómetro y otro.

Tabla 58 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 1

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 1	
	Nivel piezométrico (m)	
	1ª Lectura	2ª Lectura
<i>Máximo</i>	2557,20	2557,65
<i>Mínimo</i>	2546,04	2545,51
<i>Promedio</i>	<u>2552.33</u>	<u>2551.38</u>
<i>Desviación entre Piezómetros</i>	3,53	3,31

Fuente: WSP, 2020

Para la campaña 1 se puede inferir que a nivel general se presenta un aumento de los niveles de la tabla de agua respecto a las máximas precipitaciones, es importante tener en cuenta que abril y mayo son los meses que reportan máximos pluviales históricos, ver **Figura 186**. En general se puede inferir que para esta campaña los niveles tienen un carácter perenne, que fluctúan entre sí con una desviación estándar, (medido en nivel de la tabla de agua - cota), de hasta 3.53m. A pesar de que durante la campaña los niveles varían, estos son de condición constante puede variar entre un dato y otro del mismo punto, pero la condición del nivel del agua es continua y no presenta datos anómalos abruptos.

Esto nos indica que para la segunda lectura el nivel de la tabla de agua se encuentra más cerca de la superficie asociado a la condición pluviométrica; a razón de lo cual se infiere una recarga por las precipitaciones donde su aporte depende de varios factores como son la evapotranspiración, la presencia de vegetación y la morfología del terreno.

Consideraciones Campaña 2

La toma de datos de la campaña 2 de monitoreo de piezómetros fue realizada entre el 17 y 18 de junio y tomando los niveles freáticos *in situ* con una sonda eléctrica milimétrica.

Para la campaña dos se infiere que hacia los cerros orientales el nivel freático es más superficial y los sectores con el nivel freático más profundo se encuentran cerca de la Autopista Norte en el sector occidental y después el nivel se encuentra somero de nuevo. También se incluye un perfil en dirección Norte-Sur y en el cual se aprecia que el nivel de

agua se mantiene constante hasta un bajo que se encuentra en el Megaoutlet con niveles máximos de hasta 2.30 m y mínimo de 0,57.

Tabla 59 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 2

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 2
	Nivel tabla de agua -cota (m.s.n.m)
<i>Máximo</i>	2557,09
<i>Mínimo</i>	2545,98
<i>Promedio</i>	2551,62
<i>Desviación entre Piezómetros</i>	3,17

Fuente: WSP, 2020

En la segunda campaña los niveles piezométricos presentan una desviación de 3.17 entre un piezómetro y otro, valor que se encuentra dentro de un rango considerable de fluctuación esto teniendo en cuenta que la zona se encuentra caracterizada por depósitos y unidades no consolidadas, que consisten en capas intercaladas de material arenoso y arcilloso, que pueden definir unidades hidroestratigráficas de diferentes sistemas acuíferos.

Por ejemplo en esta campaña, los niveles de la tabla de agua (cota) de los piezómetros PZ13-PZ1WSP-PZ4WSP corresponden a los niveles máximos y por ende más profundos (medidos desde la superficie del terreno), esto asociado a que se encuentran caracterizando la Formación Sabana, unidad geológica de gran espesor compuesta de materiales principalmente arenosos e intercalaciones arcillosas, condición litológica que actúa como medio permeable a impermeable, (tipo acuífero multicapa) permitiendo o no, el flujo de agua subterránea, razón por la cual estos piezómetros mantengan niveles más profundos, ver Figura 186.

Frente a la precipitación registrada en el mes de junio, donde las estaciones pluviométricas registran un máximo mensual multianual de 69 mm, los niveles piezométricos presentan una tendencia constante sin variaciones notables frente a la campaña anterior (campaña 1), ver Figura 185. Se evalúa además los niveles de la tabla de agua frente a la precipitación reportada en las estaciones de estudio del mes de junio de 2019, donde la precipitación se observa en datos mínimos comparados con los datos multianuales sin embargo los niveles de la tabla de agua permanecen constantes, como se muestra en la siguiente figura.

Consideraciones Campaña 3

La campaña 3 de monitoreo (realizada entre el 17 y 18 de julio) contó con la toma de datos de los piezómetros del área, tomando los niveles freáticos *in situ* con una sonda eléctrica milimétrica.

El nivel piezométrico indica valores máximos de hasta 2557.02 m.s.n.m y mínimo de 2546.21 m.s.n.m. Con respecto a la primera y segunda campaña de monitoreo se puede evidenciar que sigue patrones similares, los puntos donde el nivel de la tabla de agua se encuentra más cerca de la superficie se ubican al costado oriental cerca al piedemonte al norte del Cementerio Jardines de Paz.

Tabla 60 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 3

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 3
	Nivel tabla de agua -cota (m.s.n.m)
Máximo	2557,02
Mínimo	2546,21
Promedio	2551,76
Desviación entre Piezómetros	3,20

Fuente: WSP, 2020

En la tercera campaña los niveles piezométricos presentan una desviación de 3.20 m (medidos en tabla de agua -cota) entre un piezómetro y otro. En comparación con la campaña 2, la desviación de los datos es aproximadamente la misma, lo que indica que no se presentaron fluctuaciones representativas entre el mes de junio a julio. Frente a la precipitación registrada en el mes de junio, los niveles de la tabla de agua presentan una tendencia constante sin variaciones notables frente a la campaña anterior (campaña 2), ver Figura 185. Es importante aclarar que los datos pluviométricos de un mes al otro no varían drásticamente y por ende los niveles de la tabla de agua tampoco.

Durante esta campaña los piezómetros de mayor nivel de la tabla de agua corresponden a los de niveles más profundos, los cuales continúan la tendencia frente a las campañas anteriores, por ejemplo, PZ13-PZ1WSP-PZ4WSP ver Figura 186.

Se encuentran los puntos con la profundización del nivel de la tabla de agua, al costado occidental de la Autopista Norte. Posiblemente asociado a la topografía y morfología de la sabana de Bogotá, y principalmente a la composición de los materiales en la unidad hidroestratigráfica como lo es la Formación Sabana.

Consideraciones campaña 4

La campaña 4 de monitoreo (realizada entre el 15 y 16 de agosto) contó con la toma de datos de los piezómetros del área, tomando los niveles freáticos *in situ* con una sonda eléctrica milimétrica.

El nivel piezométrico indica valores máximos de 255.93 m y mínimo de 2545.89 m; con respecto a las 3 campañas anteriores de monitoreo se puede evidenciar una tendencia típica (ver Tabla 61), es decir:

Al costado oriental y cerca al piedemonte (norte del Cementerio Jardines de Paz) se encuentran los puntos donde el nivel de la tabla de agua se encuentra más cerca de la superficie. Al costado occidental de la Autopista Norte, se encuentran los puntos con los niveles de la tabla de agua más profundos. Cerca al Megaoutlet, el nivel presenta las mayores variaciones.

Tabla 61 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 4

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPANA 4
	Nivel tabla de agua -cota (m.s.n.m)
Máximo	2556,93

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 4
	Nivel tabla de agua -cota (m.s.n.m)
<i>Mínimo</i>	2545,89
<i>Promedio</i>	2551,62
<i>Desviación entre Piezómetros</i>	3,14

Fuente: WSP, 2020

Agosto para el área de estudio es uno de los meses de mayor estiaje (ver Figura 186), sin embargo, si se comparan los niveles de la tabla de agua frente a dichos datos pluviométricos, se observa que los niveles no disminuyen drásticamente, en general los niveles medidos en la campaña 4 presentan una desviación de 3.14 m.

En los piezómetros PZ13 -PZ2WSP- PZ4WSP- PZ1WSP se puede observar que los valores medidos son máximos por ende más profundos, esto asociado a la condición climatológica, ya que como se ha mencionado la época corresponde a estiaje, si bien este fenómeno no se da en todos los piezómetros si se presenta en los piezómetros anteriormente mencionados.

Consideraciones Campaña 5

La campaña 5 de monitoreo (realizada entre el 12 y 13 de septiembre) contó con la toma de datos de los piezómetros del área, tomando los niveles freáticos *in situ* con una sonda eléctrica milimétrica.

Tabla 62 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 5

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 5
	Nivel tabla de agua -cota (m.s.n.m)
<i>Máximo</i>	2557,90
<i>Mínimo</i>	2544,80
<i>Promedio</i>	2551,30
<i>Desviación entre Piezómetros</i>	3,96

Fuente: WSP, 2020

El nivel de la tabla de agua indica valores máximos de 2557.90 y mínimo de 2544.80. Si se compara frente a la campaña 3, los niveles piezométricos guardan relación y una concordancia típica, a razón de la similitud, cuando se asocia con la temporada de estiaje a la que también pertenece el mes de septiembre, siendo esta época solo un poco menos seca que agosto.

Los niveles presentan una desviación de 3.96 m, aunque el valor es mayor comparado con las anteriores campañas el rango sigue siendo mínimo. Los niveles no fluctúan drásticamente, en general se asocian a la temporada climatológica no obstante sus niveles son continuos y constantes por lo que se infiere una condición de permanencia, tipo perenne, ver Figura 185.

Los puntos donde el nivel piezométrico se encuentra más cerca de la superficie se ubican al costado oriental cerca al piedemonte, al oriente del Cementerio Jardines de Paz. Al igual que en las campañas anteriores se relaciona la comparación con las precipitaciones diarias reportadas para el año 2019 Figura 186, allí se observa que las precipitaciones a nivel mensual fueron bajas (13mm) comparados con los demás meses, y sin embargo los niveles de la tabla de agua no disminuyeron.

Es relevante mencionar que las precipitaciones registradas para el año 2019, a nivel general fueron mínimas comparadas con las series multianuales registradas en años anteriores, por ello aquí se han evaluado las dos series, frente a los niveles de la tabla de agua.

Se presentan los puntos indicando una profundización del nivel piezométrico, al costado occidental de la Autopista Norte. Cerca al Megaoutlet se identifican niveles profundos, posiblemente asociado a la topografía y morfología de la sabana de Bogotá, y principalmente a la composición de los materiales en las unidades hidroestratigráficas que caracterizan el área.

Consideraciones Campaña 6

La campaña 6 de monitoreo (realizada entre el 8 y 9 de octubre) contó con la toma de datos de los piezómetros del área, tomando los niveles freáticos *in situ* con una sonda eléctrica milimétrica.

El nivel de la tabla de agua nos indica valores entre 2544.93 y 2557.9 m; con respecto a las otras campañas de monitoreo se puede evidenciar que sigue patrones de tendencia similar, los puntos donde el nivel freático se encuentra más cerca de la superficie se ubican al costado oriental cerca al piedemonte al oriente del Cementerio Jardines de Paz.

Tabla 63 Datos estadísticos de niveles piezométricos Campaña 6

TIPO DE DATO ESTADÍSTICO	CAMPAÑA 6
	Nivel piezométrico (m)
<i>Máximo</i>	2557,91
<i>Mínimo</i>	2544,93
<i>Promedio</i>	2551,33
<i>Desviación entre Piezómetros</i>	4,11

Fuente: WSP, 2020

La tendencia de los niveles medidos en cada uno de los piezómetros en la campaña 6 es típica, se halla una desviación de 4.11m, aunque es mayor frente a las cinco campañas ya monitoreadas los datos no son atípicos y se asocia al retorno de la temporada de lluvia donde los niveles vuelven a aumentar, frente a la temporada seca inmediatamente anterior.

A nivel general los niveles medidos en las seis campañas de monitoreo presentan fluctuaciones de una campaña a la otra y entre piezómetros, sin embargo, dichas variaciones no superan los 4.1 m, actúan en condiciones típicas, con niveles de carácter perenne. Si se comparan frente a las condiciones pluviométricas se identifica que las precipitaciones influyen en el aumento o permanencia de los niveles, sin embargo, no es una variable definitiva, ya que como se ha mencionado a pesar de llevarse a cabo algunas

campañas en pocas de estiaje o de máximas precipitaciones los niveles no fluctuaron drásticamente y permanecieron perennes a lo largo de la serie de monitoreo.

Por lo que se infiere un sistema acuífero somero multicapa donde cada nivel captado corresponde a capas en condiciones variables de porosidad y permeabilidad, que favorecido por la condición hidroestratigráfica que impera en la zona, de depósitos y formaciones debajo grado de consolidación, permiten el almacenamiento continuo de flujos subterráneos. Razón por la cual los niveles piezométricos variaban, pero en condición perenne a estacional.

La tendencia de las isolíneas varía en las primeras tres campañas entre abril y junio, donde las isolíneas son más someras, posiblemente por estar en una época de precipitaciones máximas y de transición, por lo que muchos de estos niveles se infieren como zonas de saturación parcial en condiciones estacionales y se compara con la condición climática. Para las campañas comprendidas entre julio-septiembre las isolíneas son casi homogéneas, siendo la zona occidental del área de estudio la de niveles más profundos, esto teniendo en cuenta que son evaluadas en épocas de bajas precipitaciones y de estiaje.

En la Figura 186 se muestra una figura de comparación de los niveles en cada una de las campañas, en el Anexo K se incluye el registro fotográfico de cada una de las campañas de monitoreo efectuadas.

10.3.2 TOMA DE NIVELES DE AGUA REGISTRADOS POR LOS *DIVERS*

En el área de estudio del proyecto se perforaron 4 piezómetros nuevos que se relacionan en la Tabla 64, a estos piezómetros se realiza la instalación de *Diver* con una frecuencia de toma de datos de 20 minutos es decir 72 datos de nivel freático por día, con el fin de obtener lecturas precisas y determinar el comportamiento de los niveles piezométricos, durante las etapas del proyecto, tal como lo establece el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018).

En los siguientes subnumerales se unifican la toma de lecturas de las campañas 1, 2, 3 4, 5 y 6 y donde se puede observar el comportamiento en el tiempo de los niveles freáticos, las fechas de toma de datos fueron las siguientes:

- Campaña 1 de toma de datos: 11 de abril 11 y 24 de mayo de 2019
- Campaña 2 de toma de datos: 17 y 18 de junio de 2019
- Campaña 3 de toma de datos: 17 y 18 de julio de 2019
- Campaña 4 de toma de datos: 15 y 16 de agosto de 2019
- Campaña 5 de toma de datos: 12 y 13 de septiembre de 2019
- Campaña 6 de toma de datos: 8 y 9 de octubre de 2019

Los *Divers* son sensores o registradores de niveles de agua, diseñados para medir la presión atmosférica y nivel freático, se instalan dentro del piezómetro y permiten monitorear una frecuencia deseada (para este caso será de 20 minutos), es decir estos dispositivos pueden medir con precisión y registrar las fluctuaciones de los niveles de agua, además, tienen un almacenamiento de memoria interna del *Diver*.

En el Anexo K se incluye el registro fotográfico de cada una de las campañas de monitoreo efectuadas.

Tabla 64 Piezómetros con *Divers* instalados

Piezómetro	Este	Norte	<i>Divers</i>		Profundidad [m]	Distancia <i>Diver</i> [m]	Distancia cabeza de pozo a superficie [m]
			Fecha de instalación	Serial <i>Diver</i>			
PZ-WSP-1- PREDIO EAB	104791	124789	16 de abril de 2019	AR-137	15	9.60	0.42
PZ-WSP-2- PREDIO FAC	102711	121694	16 de abril de 2019	AR-133	15	10.05	0.47
PZ-WSP-3- PREDIO EL MIMBRE	103017	123754	16 de abril de 2019	AR-206	15	9.66	0.33
PZ-WSP-4- PREDIO VALMARIA	102747	118642	27 de marzo de 2019	W6000	15	9.90	0.45

Fuente: WSP, 2019

Con el fin de verificar el comportamiento y la tendencia de los niveles de la tabla de agua medidos en los cuatro nuevos piezómetros a través del equipo de precisión Diver, se procesan los datos recopilados de cada punto en las seis campañas, de esta manera se analizan los niveles diarios (tomados cada 20 minutos), a partir de los cuales se obtiene un promedio de cada piezómetro en cada mes de evaluación, esto teniendo en cuenta que por campaña se obtuvieron más de 2440 registros, por tanto con el fin de organizar y sintetizar la información se evalúa como se muestra a continuación, ver Tabla 65.

Es importante resaltar que para realizar el análisis comparativo de los niveles frente a la precipitación se deben evaluar la misma cantidad de días en cada variable, y teniendo en cuenta que las mediciones se realizaron cada veinte minutos al día, se realiza un promedio para poder contrastar la información. No obstante, para identificar la veracidad de la información en los siguientes subcapítulos de este acápite, por ejemplo, numeral 10.3.2.1 (evaluación por campaña de los niveles,) se relacionan un análisis de los datos diarios (cada veinte minutos) y uno promedio contrastado con la precipitación.

Tabla 65 Niveles de la tabla de agua (cota) evaluados en las seis campañas (Pz-WSP)

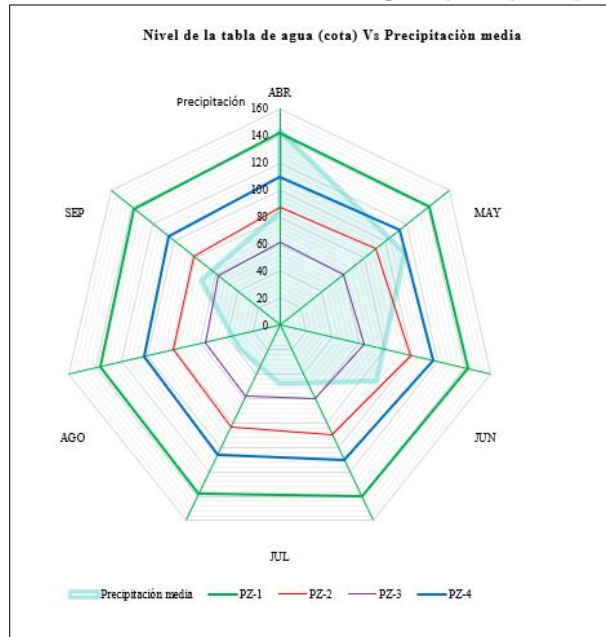
ID	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
<u>PZ-1</u>	● 2557,123	● 2557,068	● 2557,145	● 2557,010	● 2556,894	● 2556,786	● 2556,875
<u>PZ-2</u>	● 2554,355	● 2554,528	● 2554,957	● 2554,478	● 2554,165	● 2554,018	● 2554,074
<u>PZ-3</u>	● 2553,063	● 2553,029	● 2553,220	● 2553,024	● 2552,872	● 2552,838	● 2552,922
<u>PZ-4</u>	● 2555,503	● 2555,694	● 2555,819	● 2555,526	● 2555,294	● 2555,126	● 2555,247

Fuente: WSP, 2020

Los valores marcados en verde corresponden a los niveles altos, amarillo medios y rojo bajos, en ese orden respectivamente se tienen niveles piezométricos más someros, medios y profundos, esto teniendo en cuenta que se están analizando los datos en nivel de la tabla de agua (cota). Indican que durante las campañas 1 a la 3, comprendida entre los meses de abril – jul, los niveles tienden a ser medios y someros. Corresponden a épocas donde se presentan precipitaciones máximas y medias por lo que se infiere una relación tipo estacional que favorece la recarga al acuífero durante los meses en mención. Este concepto valida los perfiles realizados a partir de isopiezas (Figura 254-Figura 260) allí se observa una diferencia entre las primeras tres campañas y las tres últimas.

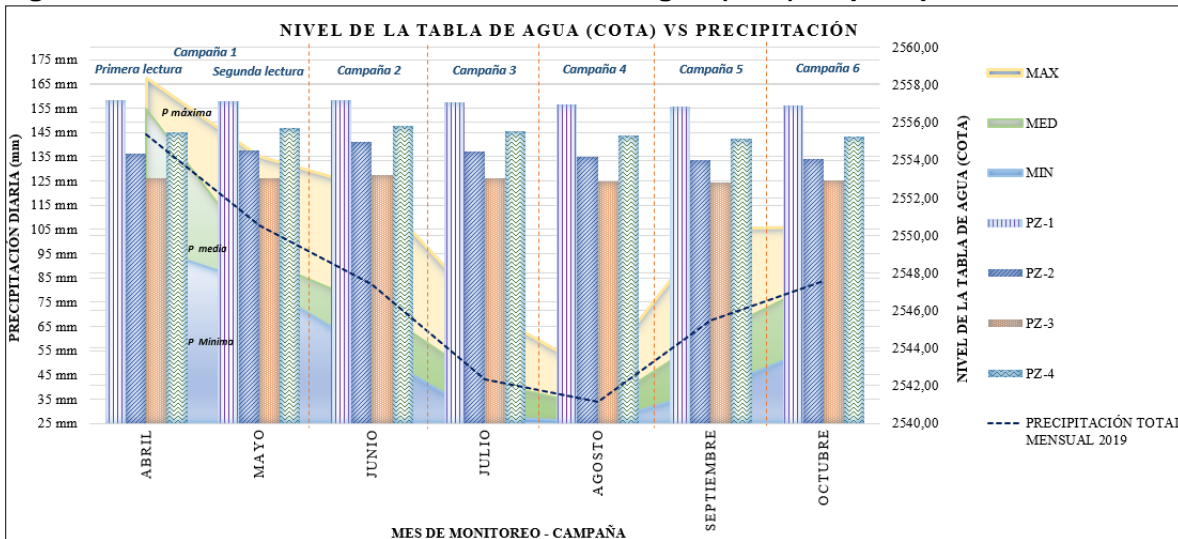
Los niveles medidos en las campañas 4 a la 6 presentan niveles relativamente más profundos, comparados con las tres primeras campañas (ver Tabla 65), valores que se reportan en meses en condición de estiaje, siendo agosto el mes más crítico con un valor promedio de precipitación mensual multianual de 44,97 mm. En estas tres campañas (agosto, septiembre, octubre) también se observa la heterogeneidad de los datos entre un mes y otro, los cuales representan valores más profundos (ver Tabla 65), medidos desde la superficie del terreno. Esta condición puede asociarse a la disminución de las precipitaciones. Sin embargo es importante resaltar que aunque los niveles presentan una variabilidad diferenciada, respecto a las tres primeras campañas (razón por la cual se definen como niveles más profundos), dichos niveles no desaparecen o reducen drásticamente, por lo que se infiere que los niveles registrados corresponden a aportes de sistemas subterráneos Figura 188.

Figura 187 Variaciones de nivel de la tabla de agua (cota) Vs precipitación



Fuente: WSP, 2020

Figura 188 Variaciones de nivel de la tabla de agua (cota) Vs precipitación



Fuente: WSP, 2020

Los niveles piezometricos medidos mediante sonda Diver en los cuatro piezometros no superan una desviación de 1.73 m (validando la precisión del registro de datos), con un valor máximo de todos los niveles medidos en los 4 piezometros de 2557.15 m.s.n.m y mínimo de 2552.84 m.s.n.m, por lo cual se tendría una columna de agua aproximada de 4.31 m.c.a.

Tabla 66 Valores estadísticos calculados para cada campaña

ESTADÍSTICA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Max	2557,123	2557,068	2557,145	2557,010	2556,894	2556,786	2556,875
Min	2553,063	2553,029	2553,220	2553,024	2552,872	2552,838	2552,922
Promedio	2555,011	2555,080	2555,285	2555,010	2554,806	2554,692	2554,779
Desviación	1,725	1,716	1,645	1,683	1,708	1,680	1,689

Fuente: WSP, 2020

Con el fin de identificar de manera más específica el comportamiento de los cuatro piezómetros en cada campaña, a continuación, se realiza un análisis gráfico de los niveles diarios (registrados cada veinte minutos), y de estos mismos datos promediados día, para lograr contractarlos con las precipitaciones diarias en cada campaña del año 2019.

Es relevante mencionar que el procesamiento de los datos se llevó a cabo omitiendo los días de ejecución de las campañas de calidad (purga de los piezómetros), para evitar interpretaciones ambiguas, por los picos que dicho procedimiento genere.

10.3.2.1 Piezómetro 1

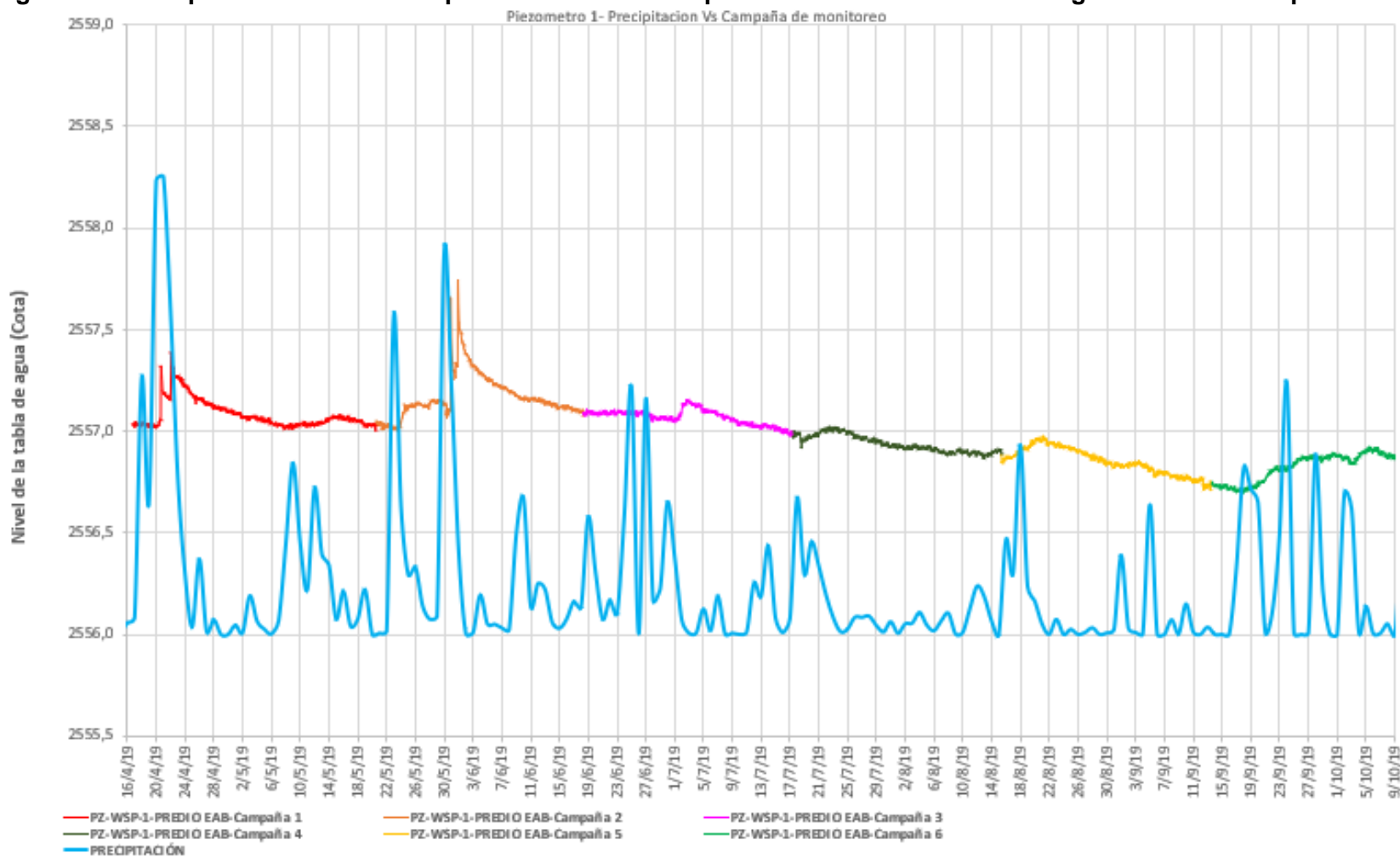
El comportamiento del nivel piezométrico en el PZ-WSP-1 (Ver Figura 189) a lo largo del periodo de evaluación cubierto por las seis campañas presenta oscilaciones correlacionables con la curva de la precipitación promedio diaria, presentándose los valores más altos y oscilantes en los meses de finales de abril a inicios de junio, para posteriormente ir disminuyendo gradualmente en el de julio a septiembre y presentar un aumento moderado hacia el comienzo de octubre. Esta misma tendencia general se puede apreciar en los otros piezómetros de la actualización.

Durante la Campaña 1 en el periodo entre los días 16 y 22 de abril se presenta una precipitación acumulada de 81,32 mm que se vio reflejada en que la cota del nivel piezométrico del punto pasó de 2557,040 a 2557,380 msnm, con un aumento de 0,347 m de la lámina de agua en el piezómetro.

En la Campaña 2 se presenta una oscilación importante en el nivel piezométrico durante los días del 22 al 31 de mayo pasando de 2557,026 a 2557,743 msnm un incremento de 0,717 m en el nivel del piezómetro; esta variación está correlacionada con un acumulado de 62,51 mm de lluvia para el mismo periodo de tiempo.

La tendencia en la que disminuye el nivel piezométrico va desde los meses de julio a inicios de septiembre (campañas 3, 4 y 5), reduciéndose gradualmente con algunos picos menores producto de días con precipitaciones moderadas. Esta tendencia se invierte en la Campaña 6, a partir del 18 de septiembre se registra un nivel de tabla de agua de 2556,712 msnm que gradualmente aumenta 0,209 m hasta llegar a un máximo de 2556,921 msnm el día 6 de octubre entre estas dos fechas se presenta un acumulado de precipitación de 66,24 mm.

Figura 189 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 1 a lo largo de las seis campañas.



Fuente: WSP, 2020

10.3.2.2 Piezómetro 2

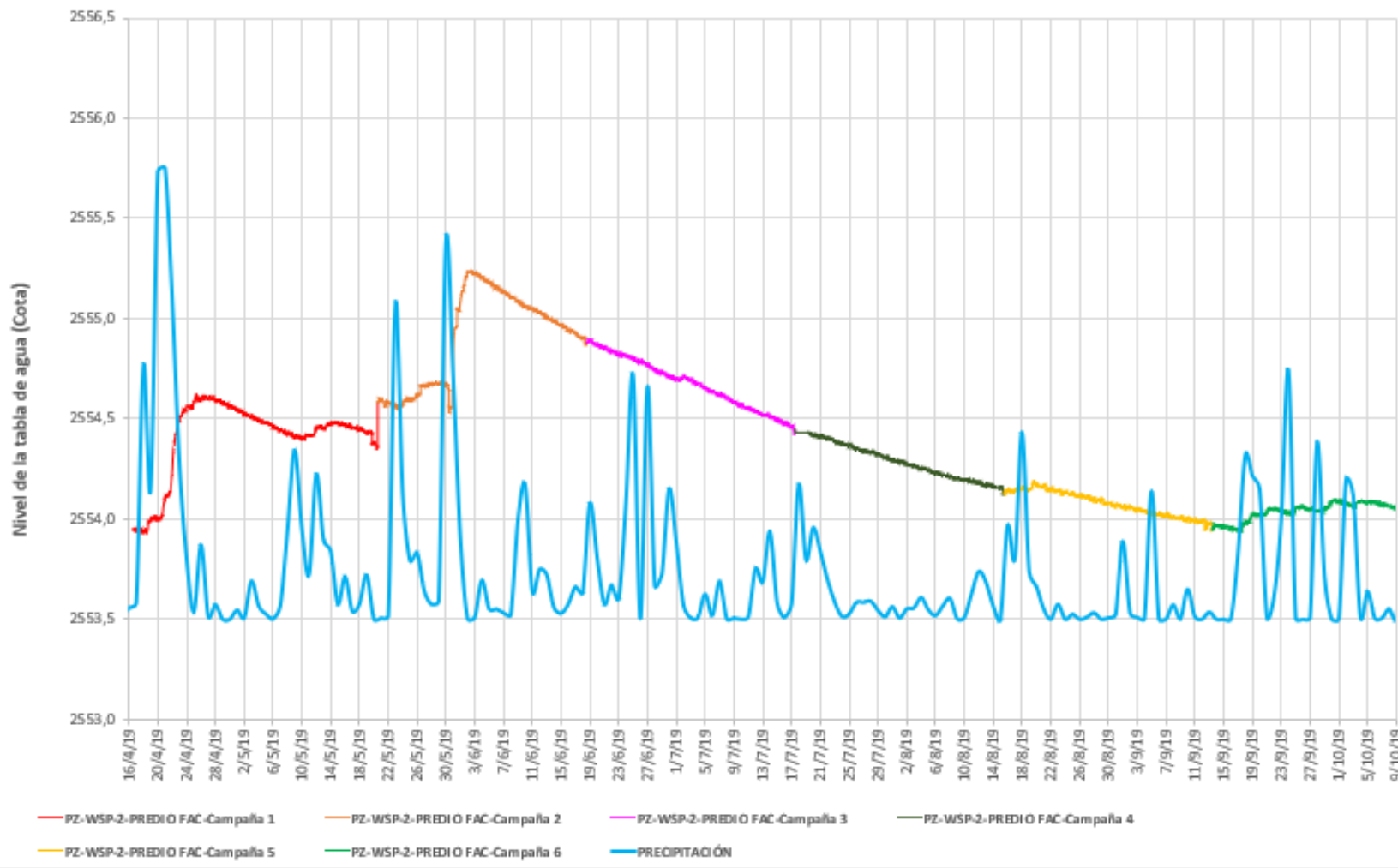
El nivel piezométrico registrado en el PZ-WSP-2 (Ver Figura 190) a lo largo del periodo de las seis campañas presenta oscilaciones que se corresponden con la curva de la precipitación promedio diaria. Inicialmente, ocurre una fuerte oscilación ascendente durante los primeros días de la Campaña 1 que se estabiliza hasta mediados del mes de mayo; a finales de este mes y durante los primeros días de junio (Campaña 2) se produce un pico relacionado a intensas precipitaciones. El último tramo de la Campaña 2 y las campañas 3, 4 y 5 el nivel piezométrico en el punto desciende de manera lineal correspondiéndose con periodos de baja precipitación. Durante finales de septiembre y octubre (Campaña 6) se presenta un moderado aumento del nivel de la tabla de agua. Una parecida tendencia general se puede apreciar en los otros piezómetros de la actualización.

En el periodo de la Campaña 1 entre los días 16 y 25 de abril se registró una precipitación acumulada de 92,42 mm la cual se reflejó en un aumento de la cota del nivel piezométrico que pasó de 2553, 947 a 2554,620 msnm, con un aumento de 0,673 m de la lámina de agua en el piezómetro.

Durante el tiempo de la Campaña 2 se presenta una variación positiva destacable en el nivel piezométrico durante los días del 22 de mayo al 2 de junio iniciando con una cota de 2554,584 a 2555,241 msnm un incremento de 0,657 m en el nivel del piezómetro; este aumento está correlacionado con un acumulado de 66,63 mm de precipitación para el mismo periodo de tiempo. Desde la última mitad de la Campaña 2 hasta la Campaña 5 se produce un descenso de forma lineal en la cota del nivel piezométrico en el punto.

En la Campaña 6 a partir del 17 de septiembre se registra un ascenso moderado nivel de tabla de agua, empezando en 2553,947 msnm y subiendo hasta el día 30 de del mismo mes cuando asciende hasta los 2554,097 msnm (un incremento de 0,150 m). Entre estas dos fechas se presenta un acumulado de precipitación 54,84 mm.

Figura 190 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 2 a lo largo de las seis campañas.



Fuente: WSP, 2020

10.3.2.3 Piezómetro 3

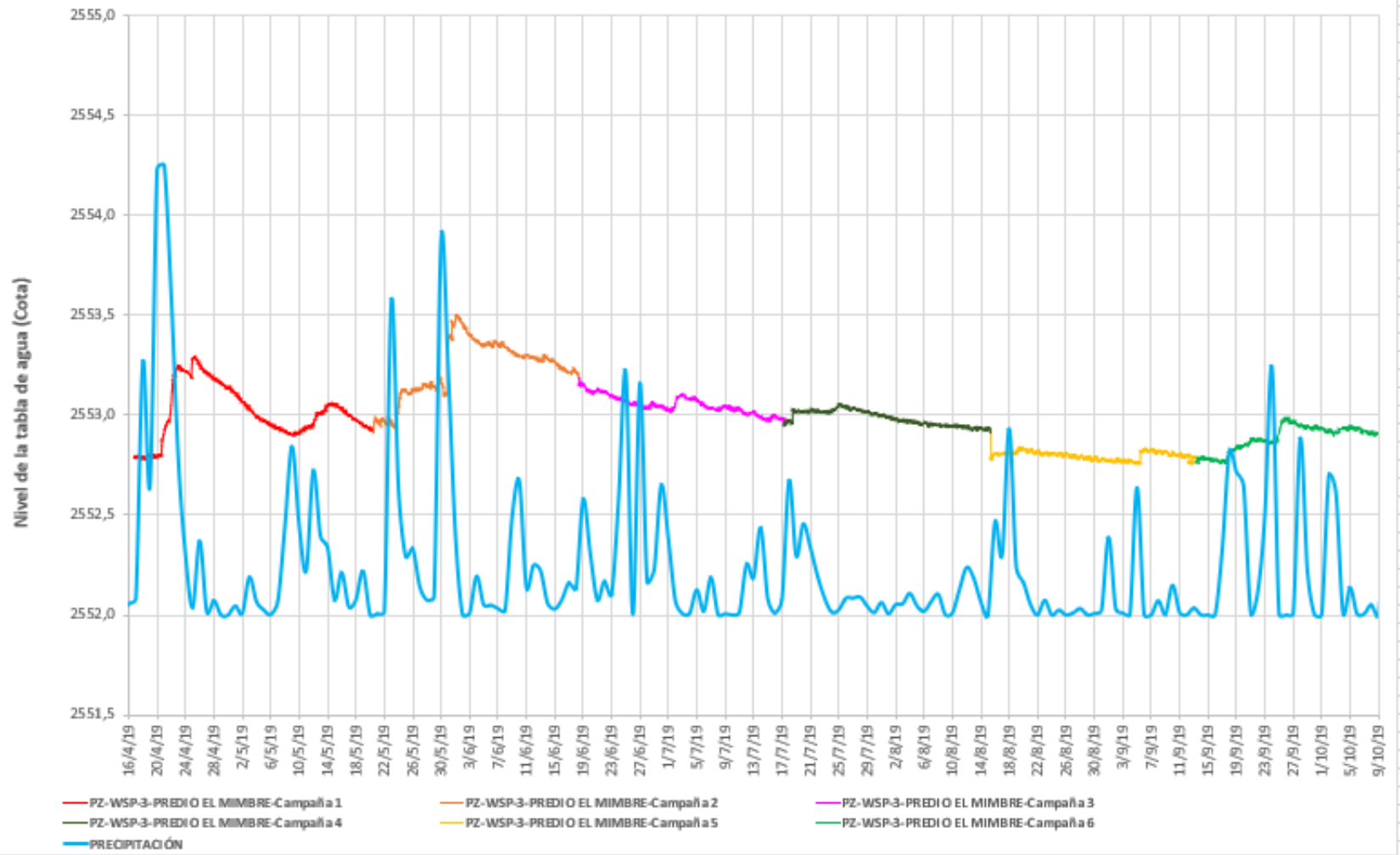
Durante el registro de las seis campañas el nivel piezométrico en el PZ-WSP-3 (Ver **Figura 191**) presenta ondulaciones que se relacionan con la curva de la precipitación promedio diaria. Al comienzo del periodo durante la Campaña 1, ocurre un comportamiento ondulante con un pico a finales del mes de abril, seguido de fluctuaciones menores que se mantienen hasta mediados del mes de mayo cuando ocurre un aumento escalonado del nivel piezométrico (Campaña 2) el cual está relacionado a la ocurrencia de precipitaciones a finales de mayo y a comienzos de junio. El tramo final de la Campaña 2 y las campañas 3, 4 y 5 el nivel piezométrico en el punto desciende de manera escalonada lo que se corresponde con periodos de baja precipitación. Durante la Campaña 6 que tuvo lugar durante finales de septiembre y octubre se presenta un moderado ascenso del nivel piezométrico. Similar tendencia general se puede apreciar en los otros piezómetros de la actualización.

En el periodo de la Campaña 1 entre los días 16 y 25 de abril se registró un crecimiento oscilante desde 2552,787 msnm hasta un tope de 2553,293, un aumento de 0,506 m de la columna de agua del piezómetro; en este periodo se registró una precipitación acumulada de 92,42 mm.

En el registro de la Campaña 2 se presenta un aumento escalonado que comienza el día 20 de mayo en 2552,908 msnm y finaliza en un pico de 2553,500 msnm el primero de junio, un incremento de 0,592 m en el nivel del piezómetro; este aumento se correlaciona con un acumulado de 66,67 mm de precipitación para el mismo periodo de tiempo. Desde la última mitad de la Campaña 2 hasta la Campaña 5 se produce un descenso escalonado la cota del nivel piezométrico.

En la Campaña 6 a partir del día 13 de septiembre se registra un ascenso gradual y moderado del nivel de tabla de agua, empezando en 2552,764 msnm y subiendo hasta el día 26 de del mismo mes cuando asciende hasta los 2552,987 msnm (un incremento de 0,223 m). Entre estas dos fechas se presenta un acumulado de precipitación 44,14 mm.

Figura 191 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 3 a lo largo de las seis campañas.



Fuente: WSP, 2020

10.3.2.4 Piezómetro 4

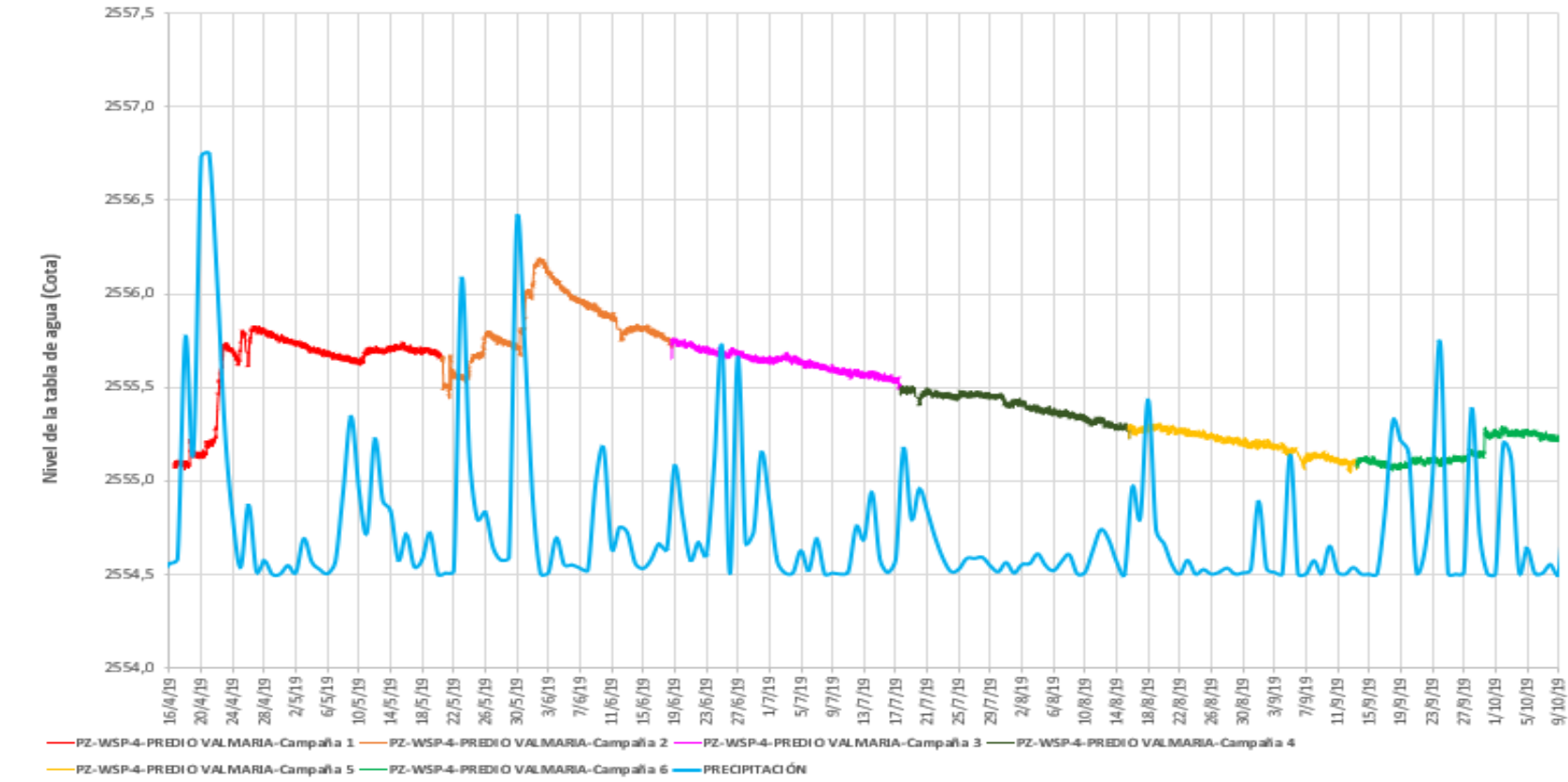
Durante el registro de las seis campañas el nivel piezométrico en el PZ-WSP-4 (Ver **Figura 192**) a finales del mes de abril se registra un súbito aumento que se relaciona con la ocurrencia de precipitaciones llegando un pico a finales del mes de abril, seguido de un comportamiento relativamente estable que se mantiene hasta la primera mitad de la Campaña 2 cuando ocurre un aumento escalonado del nivel piezométrico hasta un pico entre mayo y junio. Hacia el final de la Campaña 2 comienza un descenso de forma lineal del nivel piezométrico el cual se mantiene durante las campañas 3, 4 y 5, esto se relaciona con periodos de precipitaciones relativamente poco frecuentes y de baja magnitud. Ya en la Campaña 6 se presenta un moderado pero súbito ascenso del nivel piezométrico. Similar tendencia general se puede apreciar en los otros piezómetros de la actualización.

Durante el registro de la Campaña 1 se aprecia un ascenso rápido del nivel piezométrico entre los días 16 y 25 de abril que empezó en 2555,078 msnm hasta alcanzar un pico de 2555,801 msnm, indicando un aumento de 0,723 m de la columna de agua del piezómetro; simultáneamente, en este periodo se registró una precipitación acumulada de 92,42 mm.

Posteriormente, en la Campaña 2 se presentó un incremento escalonado del nivel que comenzó el día 21 de mayo en 2555,756 msnm y finaliza en máximo de 2556,081 msnm el día 3 de junio, representando un incremento de 0,325 m en el nivel del piezómetro; al mismo tiempo, se dio un acumulado de 66,67 mm de precipitación. Desde la última mitad de la Campaña 2 hasta la Campaña 5 se produce un descenso lineal la cota del nivel piezométrico.

Finalmente, en la Campaña 6 el día 27 de septiembre se dio un ascenso súbito nivel, desde los 2555,104 msnm y alcanzó el día primero de octubre los 2555,288 msnm (dándose un incremento de 0,184 m). Entre estas dos fechas se presenta un acumulado de precipitación 11,06 mm.

Figura 192 Comportamiento del nivel piezométrico Vs Precipitación – Piezómetro 4 a lo largo de las seis campañas.



10.3.2.5 Consideraciones generales de los niveles con los Divers.

Los cuatro piezómetros presentan un comportamiento del nivel piezométrico relativamente similar: al inicio de la Campaña 1 se presentan niveles relativamente bajos que se elevan hasta alcanzar un pico entre los días entre el 22 y el 25 de abril, esto se correlaciona con lluvias que empiezan a ser más frecuentes e intensas durante estos días. El resto de la primera campaña, el nivel se mantendrá en un descenso leve y fluctuante. Esta tendencia de descenso se mantiene en los cuatro piezómetros hasta aproximadamente el día 22 de mayo, ya casi a mediados de la Campaña 2, momento en el cual se da un marcado incremento del nivel de la tabla de agua que para los días 31 de mayo a 2 de junio ha alcanzado las cotas más altas del registro de las seis campañas.

Luego de alcanzar estos valores máximos, en los cuatro piezómetros se observa un descenso que se prolonga desde los primeros días de junio hasta mediados de septiembre (finales de Campaña 2 y campañas 3, 4, 5 y el comienzo de la Campaña 6); este descenso se da de manera fluctuante en los piezómetros PZ-WSP-1 y PZ-WSP-3 y de forma lineal en los PZ-WSP-2 y PZ-WSP-4. Este lapso tiempo caracterizado por descenso de la cota del nivel piezométrico está correlacionado con un periodo de estiaje.

Desde los días 13 a 22 de septiembre se empieza a registrar un aumento moderado en el nivel piezométrico el cual llega a su punto más alto a finales de septiembre – comienzos de octubre; eso se ve relacionado con un aumento en la frecuencia y la intensidad de las lluvias.

A razón de esto se infiere que la zona se encuentra influenciada y asociada a un régimen hidrológico tipo bimodal, definido en los análisis de precipitación en los cuales se identificaron dos periodos de lluvia y dos de estiaje, tanto en el análisis multitemporal como anual, tal como se identifica en el capítulo 10.5.2.2 en las Figura 235 y Figura 236. Por tal razón se indica que las condiciones hidrológicas son aporte al análisis hidrogeológico evaluado durante las seis campañas, que si bien no tienen la misma frecuencia de un año hidrológico si muestran la diferencia entre el periodo seco y lluvioso.

Dentro de este régimen bimodal existe un periodo de precipitaciones intensas y frecuentes que favorecen la recarga al acuífero esto en menor medida en los últimos días de septiembre y primeros días de octubre, pero especialmente en los primeros tres meses del registro: abril, mayo y junio, en donde se presentan las máximas precipitaciones acompañadas por aumentos del nivel piezométrico; el pico registrado a finales de mayo y comienzos de junio se registró como un aumento de entre 0,703 m (PZ-1) y 1,294 m (PZ-2) en nivel de la cota de agua para el periodo entre el 16 de junio y los días entre el 31 de mayo y el 3 de junio cuando se alcanzan los valores más altos de todo el registro. Esto se relaciona con un acumulado de 95,82 mm de recarga potencial, siendo esto el acumulado de los meses de abril y mayo. En el caso contrario, el régimen bimodal contó con un periodo de estiaje, durante el cual se presentó una tendencia descendente del nivel piezométrico y de manera concordante la recarga potencial al acuífero fue nula (julio y agosto) (Ver Estimación de la recarga y Tabla 84. Variables calculadas y resultados del balance hídrico suelos.

10.3.3 ANÁLISIS DE PIEZOMETROS A PARTIR DE ISOPIEZAS Y DIRECCIONES DE FLUJO

A continuación, se relaciona el análisis de isopiezas que se obtiene de los niveles piezométricos, esto con el fin de determinar la dirección de flujo más característica en la zona de estudio de Lagos de Torca.

10.3.3.1 Isopiezas y dirección de flujo subterránea

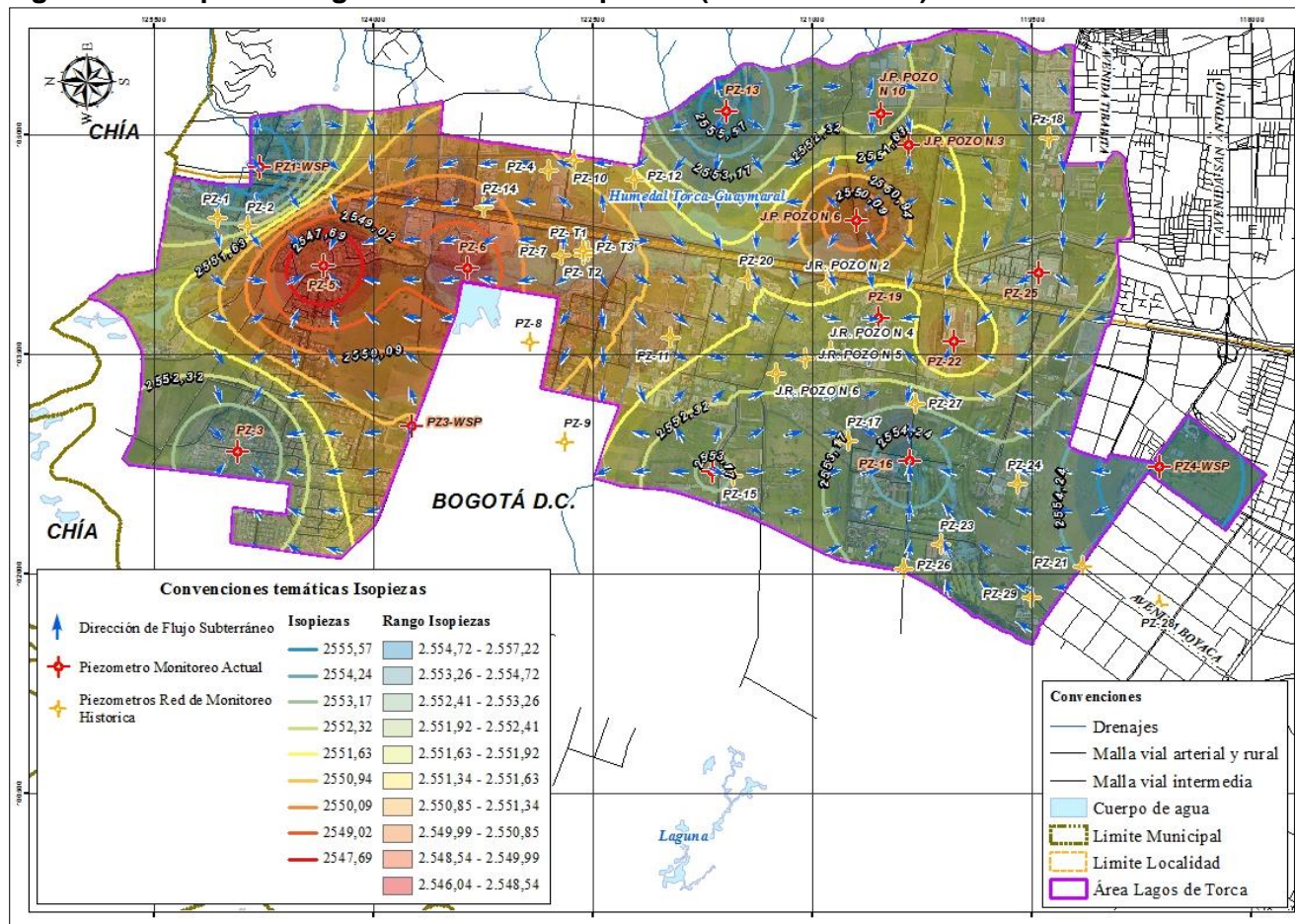
Con los datos de los niveles piezométricos se construyen isolíneas, representadas por cada una de las campañas. El nivel piezométrico se toma *in situ* y el valor procesado es la distancia del terreno natural (cota) menos el nivel del agua medido en cada piezómetro; esto mediante la metodología de interpolación, denominado *IDW* distancia inversa ponderada, un análisis determinístico que calcula los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa (donde se parte del principio que describe que los puntos próximos en el espacio tienden a tener valores más parecidos que los puntos más distantes, y así creando isolíneas que cubren el área.). Este método proporciona alguna medida de certeza o precisión de las predicciones.

En cuanto a las direcciones de flujo para el área de Lagos de Torca se evalúan mediante metodología de interpelación por vectores, tomando como base las isopiezas. Allí se logra identificar la dirección preferencial que ha tomado el agua subterránea a través de los sistemas acuíferos que caracterizan la zona. Para el análisis se tomaron los datos de las isopiezas en cada una de las campañas, y se definió la red de flujo en planta, tal como se evidencia en las Figura 193 a la Figura 199.

A nivel general las isopiezas más someras se hallaron cerca al piedemonte, en donde el nivel de la tabla de agua es más somero, en el sector de los cementerios se observa que el agua subterránea se encuentra más profunda, influenciados en gran parte por la topografía y las condiciones climatológicas, y aumenta hacia el costado occidental de la autopista norte. Los piezómetros con niveles más profundos se encuentran al costado occidental de la autopista norte. Cerca al Megaoutlet se identifica una topografía que favorece la profundización de los niveles, así como la infiltración asociada a la condición pluviométrica.

A continuación, se relacionan las isopiezas y direcciones de flujo subterráneo generados en cada una de las seis campañas

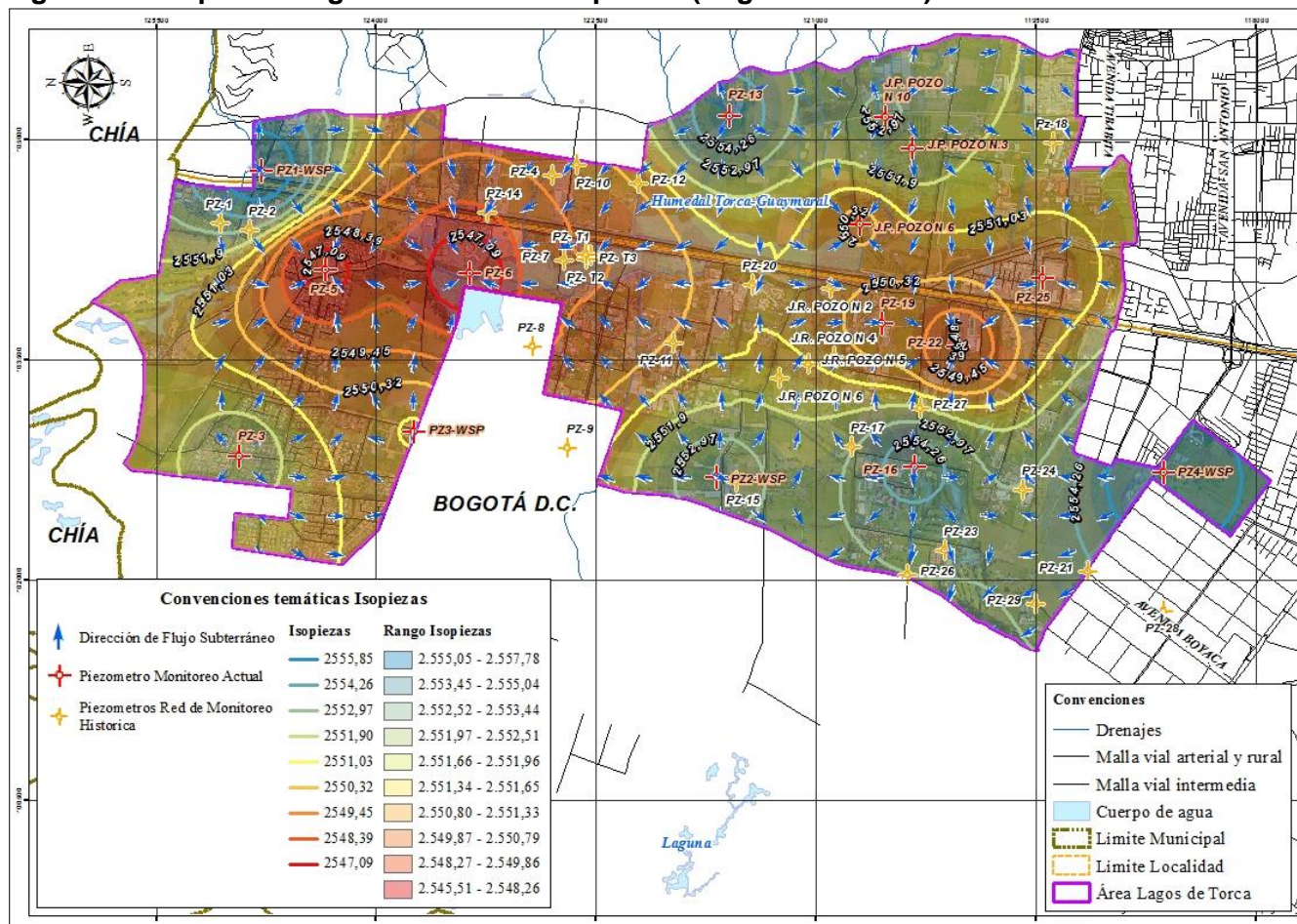
Figura 193 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 1 (Primera lectura)



Fuente: WSP, 2020

El mapa de isopiezas generado de la primera lectura en la campaña 1, permite establecer que la dirección de flujo en el acuífero libre sigue la inclinación del terreno, desde la zona oriental parte más alta hasta la zona centro del área de estudio. Ocurre también en la zona sureste, donde la topografía del terreno está definida por los cerros de la Conejera, que, aunque no hacen parte del área a evaluar están limitando con el área de Lagos Torca.

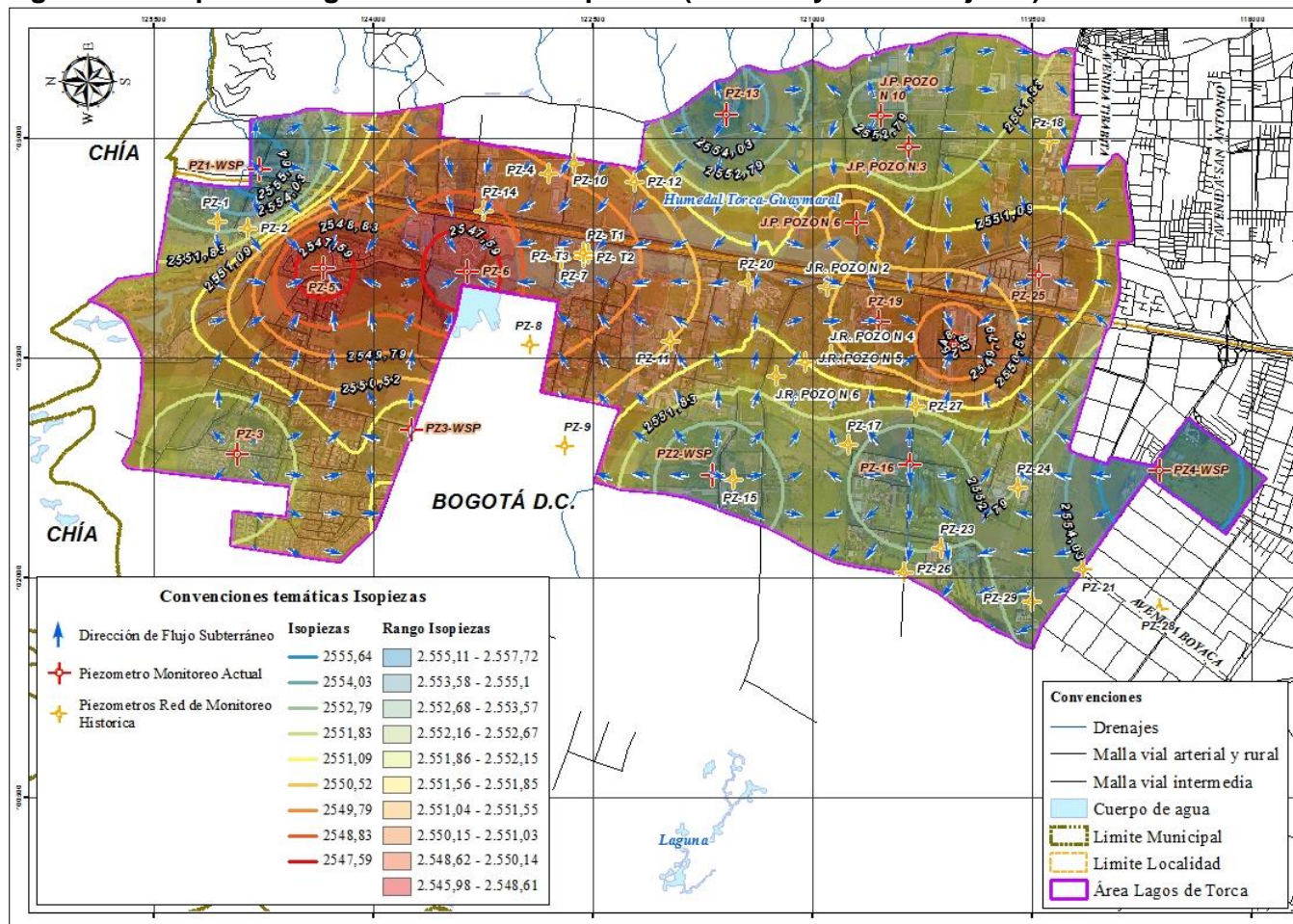
Figura 194 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 1 (Segunda lectura)



Fuente: WSP, 2020

El mapa de isopiezas en la segunda lectura de la campaña 1 tiene la misma tendencia en dirección de flujo subterráneo que la lectura 1, sigue la inclinación del terreno y la orientación de las quebradas y cuerpos de agua superficial. Se aprecia una depresión de las isolíneas en el sector central, cuyo centro está en PZ-6, es hacia este punto a donde convergen gran parte de los flujos. Esta disposición de las isolíneas se mantendrá para las cuatro primeras campañas.

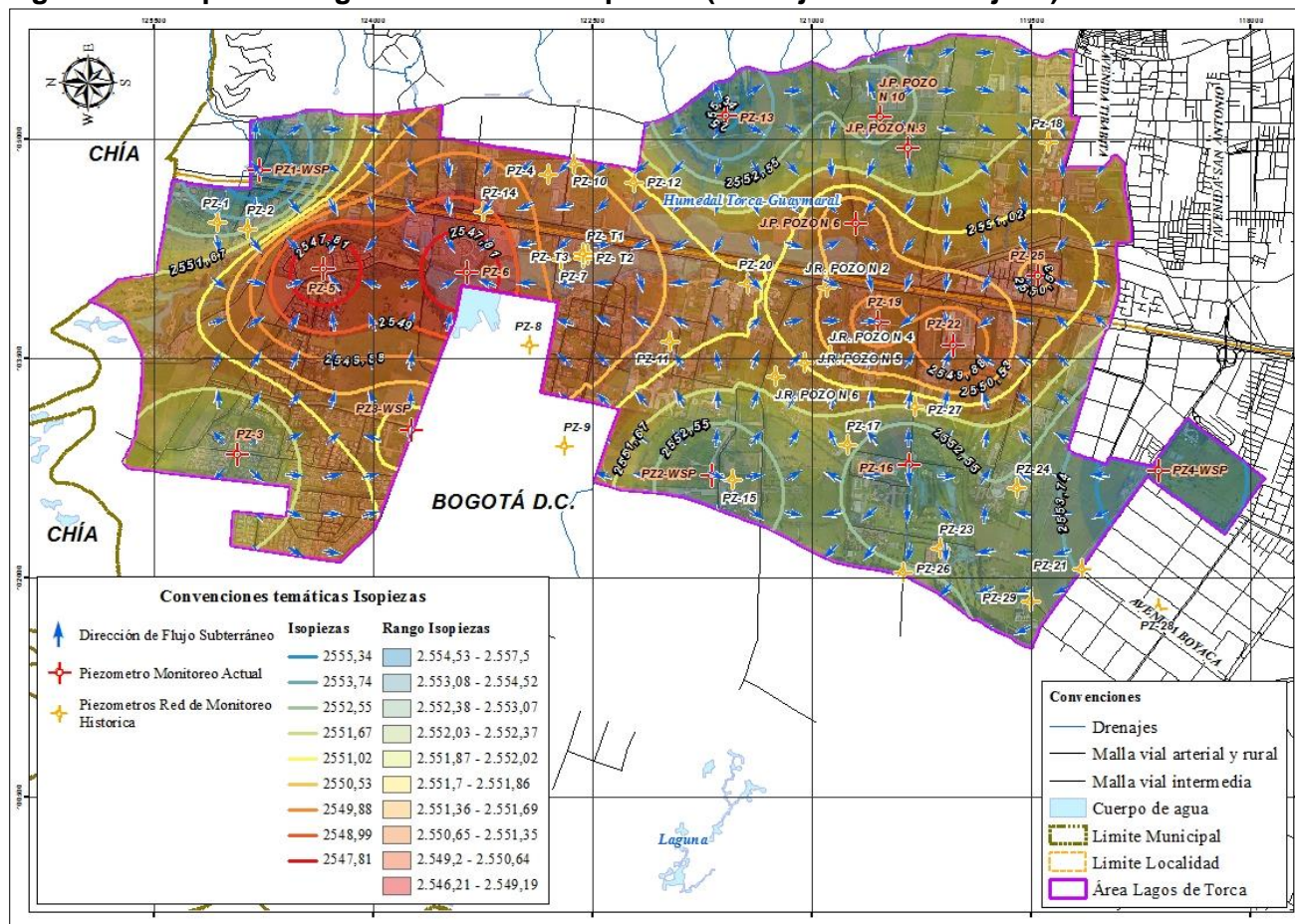
Figura 195 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 2 (21 de mayo al 18 de junio)



Fuente: WSP, 2020

Para la determinación de la dirección de flujo en la campaña 2, se ha tenido en cuenta las condiciones topográficas, tomando la dirección de la pendiente como dirección preferencial del agua, similar a lo que ocurre en la campaña 1, sin embargo, es característico que las isolíneas en la anterior figura tengan una configuración más convergente hacia el sur del área.

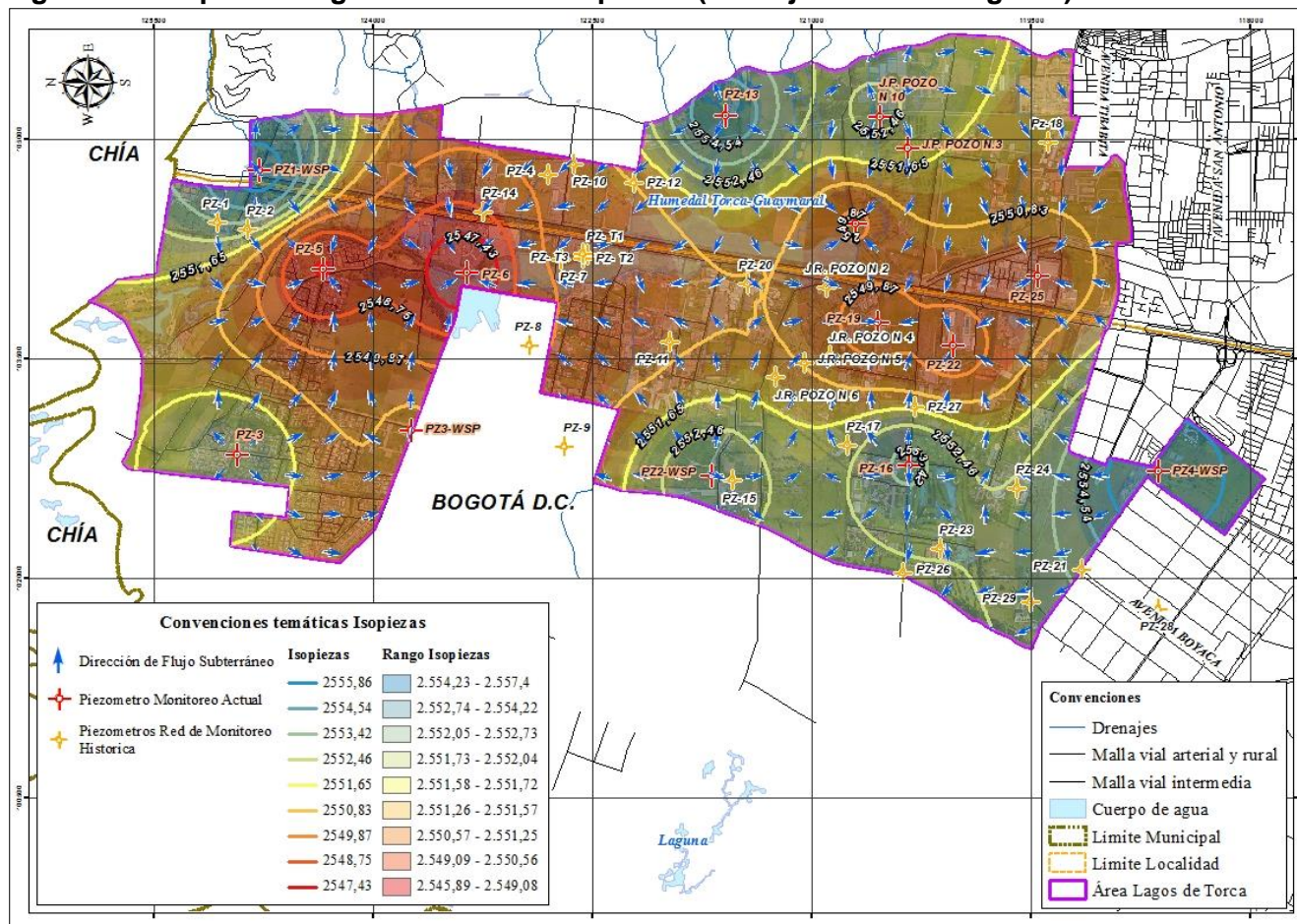
Figura 196 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 3 (18 de junio al 17 de julio)



Fuente: WSP, 2020

Para la campaña 3 de monitoreo como se puede observar sigue la tendencia de la segunda campaña, su condición aunque no refleja marcados cambios si define una suave diferencia entre las líneas equipotenciales hacia la zona centro sur, sin embargo su tendencia es similar a las dos campañas anteriores. De igual manera los piezómetros donde el nivel de la tabla de agua se encuentra más cerca de la superficie son en el costado oriental cerca al piedemonte, al norte del cementerio Jardines de Paz.

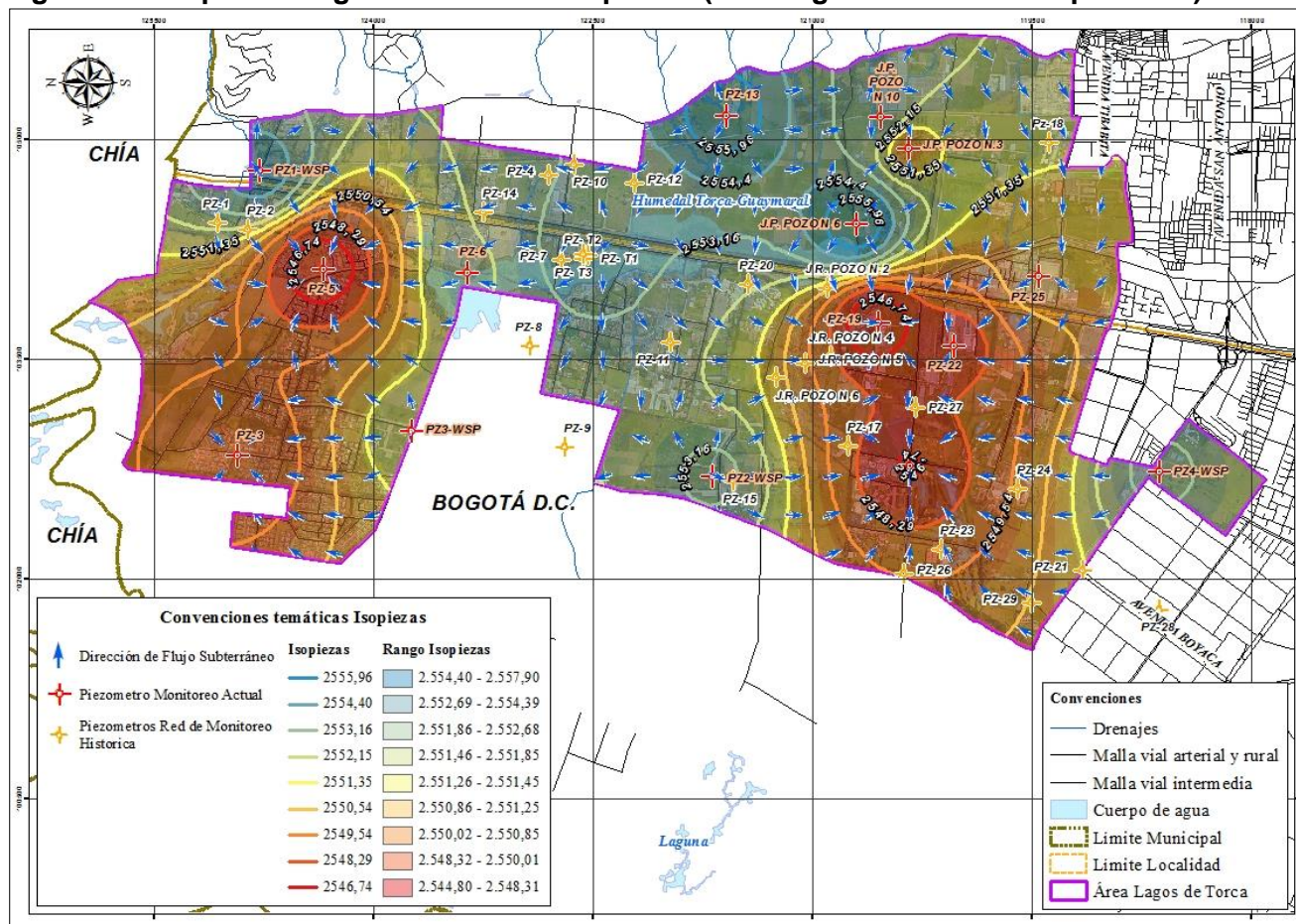
Figura 197 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 4 (18 de julio al 16 de agosto)



Fuente: WSP, 2020

Como se puede ver en la anterior figura, la campaña 4 de monitoreo, sigue la tendencia de las campañas tres, donde la dirección de flujo en el acuífero libre sigue la inclinación del terreno y la orientación de las principales quebradas, que en su mayoría presenta una dirección dominante desde el Oriente hacia la zona centro de Lagos de Torca.

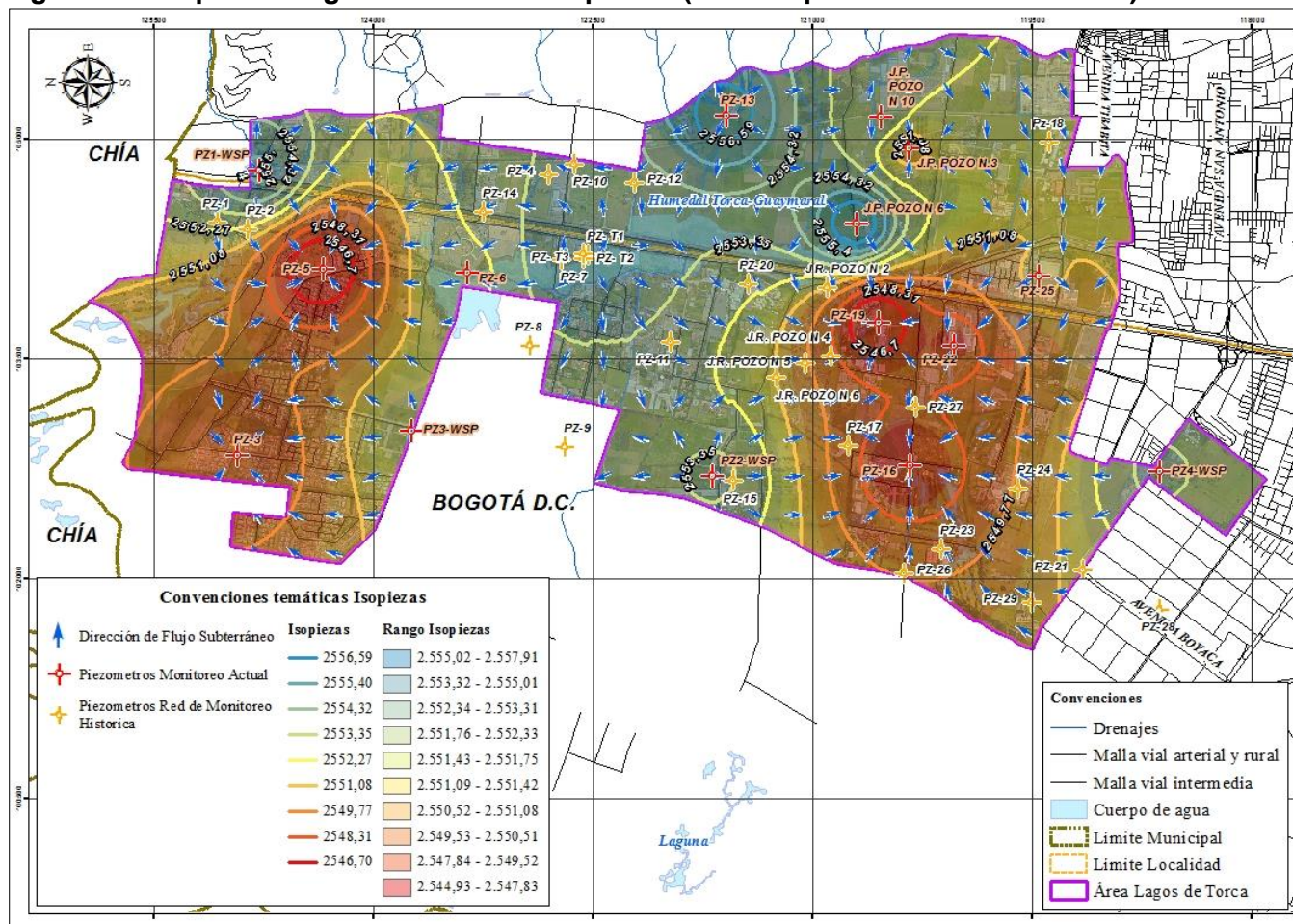
Figura 198 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 5 (17 de agosto – al 13 de septiembre)



Fuente: WSP, 2020

Durante la campaña 5 de medición se registra un cambio en la forma de las isopiezas, se aprecia un ascenso del nivel de la tabla de agua en la zona central, marcado en los PZ-6, J.P. Pozo No. 6; de manera opuesta, las isopiezas se profundizan en el centro del sector sur, alrededor de J.R. Pozo N. 4 y PZ-16. La campaña 5 se diferencia de las cuatro anteriores porque muestra una distribución diferente de las isolíneas, indica una bifurcación del flujo: una dirección que va desde el piedemonte hacia la zona norte y otra desde el piedemonte hacia el suroeste.

Figura 199 Isopiezas Lagos de Torca - Campaña 6 (14 de septiembre al 9 de octubre)



Fuente: WSP, 2020

Para la campaña 6, se conserva la misma disposición de isolíneas que en la campaña 5 en donde la dirección de flujo subterránea, la cual parte en el piedemonte oriental y se bifurca en dos flujos principales: hacia las zonas norte (PZ-5) y suroccidental (PZ-19), sectores en donde se forman pronunciadas depresiones en las isolíneas. Se infiere por tanto una definición de un hidrosistema que favorece la circulación del agua hacia estas zonas, a pesar de ser un acuífero somero

10.3.3.2 Análisis para isopiezas y direcciones de flujo subterráneo

El mapa de isopiezas y las direcciones de flujo en el área de Lagos de Torca, permite definir que el acuífero somero que caracteriza la zona tiene un comportamiento similar en la campaña 1 a la 4 donde la dirección de flujo corresponden a niveles más someros y otro de la campaña 5 y 6 donde los niveles son más profundos, que contrastados con las precipitaciones en la zona, las primeros cuatro campañas corresponden a meses de máximas y moderadas precipitaciones y las dos últimas campañas en meses de estiaje.

En general, las líneas de flujo somero convergen principalmente hacia el Humedal, en dirección E-W en el sector oriental y W-E en el sector occidental.

Las direcciones de flujo del agua subterránea están asociadas a la condición climatológica del área, los materiales poco consolidados de las unidades hidroestratigráficas que caracterizan la zona y la topografía. Durante el periodo de tiempo que registraron las seis campañas de monitoreo (meses de abril a octubre) se observó que la red de flujo se caracteriza por presentar dos patrones de comportamiento correlacionados con la sucesión de temporadas de precipitación.

El primero está definido por la temporada de máximas precipitaciones, la cual se evidencia en las tres primeras campañas, donde los niveles ascienden hacia la superficie del terreno, generando zonas a nivel de terreno parcialmente saturadas, a partir de las cuales se infiere una posible infiltración hasta las zonas más profundas de los 6 y hasta 15 metros de evaluación de este estudio. Posteriormente en el segundo patrón se observa durante las tres últimas campañas (4 a la 6), coincidiendo con las temporadas de estiaje, siendo agosto el mes más seco.

A pesar de que es un acuífero somero de materiales principalmente arcillosos está definido por lentes limo arenosos donde posiblemente empieza a generarse el proceso de infiltración. Los niveles piezométricos se mantienen relativamente estables, con fluctuaciones mínimas a lo largo del tiempo de registro. Las direcciones de flujo convergen hacia a la zona centro del área de estudio, razón por la cual los niveles no desaparecen si no que se recargan desde la zona norte (N), este (E) y oeste (W), alimentado el sistema hídrico. Razón por la cual se puede inferir una conexión del acuífero local con el regional, sobre todo de la zona oriental, teniendo en cuenta que a nivel regional la Formación Guadalupe actúa como zona de recarga de la Sabana de Bogotá. Es importante mencionar que este proceso se da a nivel regional y que actuaría como zona de recarga indirecta, esto teniendo en cuenta que para este estudio el espesor de los materiales a evaluar no supera los 15m, donde evidentemente la recarga directa es a través del depósito no consolidado de la Formación Sabana.

En las campañas de monitoreo, y mediante la interpretación de las isolíneas y direcciones de flujo se puede definir:

- ✓ Campaña 1 a la 4: La dirección de flujo se da desde los cuatro puntos cardinales del área de caracterización, la cual converge hacia la zona norte y centro del área de estudio (parte norte del humedal), donde actúa como área de descarga, saturando la superficie del terreno y siendo aporte al sistema hídrico subterráneo. A nivel general se puede entender que con la Campaña 4, la tendencia en las direcciones de flujo se mantiene, definiendo zonas de recarga al oriente y como principales zonas de descarga los sistemas de humedales, donde se profundiza el nivel piezométrico gradualmente.

- ✓ Campaña 5 y 6: La dirección de flujo se da exclusivamente desde la zona oriental, definiendo dos áreas de descarga: una en la parte en la noroccidental (sistemas de humedales) y suroccidental de Lagos de Torca. La zona centro del área de estudio, actúa como zona de transición climática, coincidiendo con la condición climatológica que se da entre agosto - septiembre (periodo seco) y principios de octubre donde posteriormente comienza la temporada de lluvias. Concepto definido porque se ve el paso de un estado donde las lluvias son progresivamente mayores en las primeras cuatro campañas a una época de estiaje (agosto – octubre), donde las precipitaciones son mínimas y por tanto los niveles de la tabla de agua se comportan variables de un periodo a otro, y se identifica en la zona central de Lagos de Torca.

10.4 CAMPAÑAS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

En el presente numeral se incluyen los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras de agua tomadas en los cuatro (4) piezómetros construidos en 2019; de acuerdo con el Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2018), los ensayos son los siguientes: “carbono orgánico total, DBO5, DQO, Sólidos Disueltos, Sólidos Volátiles, coliformes totales y fecales, Estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, Nitrógeno total Keldhal, nitratos, amonio, fosfatos, sulfatos, pH, temperatura, conductividad, cadaverina(1,5-pentanodiamina/amina alifática) y putrescina (1-4 butanodiamina)”.

De acuerdo con el Cronograma del proyecto, fueron realizadas las siguientes campañas de toma de muestras de agua:

- Campaña 1: entre 25 y 26 de abril de 2019
- Campaña 2: entre 31 de mayo y 11 de junio de 2019
- Campaña 3: entre 18 y 19 de julio de 2019
- Campaña 4: entre 5 de septiembre de 2019

Por otra parte, en el Anexo L se incluye los informes específicos de cada una de las anteriores campañas; es importante indicar que para cada campaña se incluye, entre otros: metodología para toma de muestras, registro fotográfico, memorias de los ensayos realizados, análisis de resultados y resoluciones de acreditación de los laboratorios contratados; finalmente en el Anexo M se incluye el respectivo registro fotográfico.

El objetivo del monitoreo de parámetros de calidad y fisicoquímico consistió en:

- Realizar monitoreo y caracterización del agua subterránea tomada en los 4 piezómetros construidos en desarrollo del presente estudio.
- Establecer las concentraciones de los parámetros analizados.
- Identificar la calidad del agua de los diferentes cuerpos de agua mediante los análisis a las muestras colectadas

Metodológicamente se llevó a cabo el siguiente protocolo:

- En cada punto de muestreo se llevó a cabo la descripción del sitio, georreferenciación del punto, la toma de muestra y los análisis in situ (pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura).
- La toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a analizar en el laboratorio se efectuó siguiendo el plan de monitoreo y las recomendaciones de la APHA con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2017.

10.4.1 Resultados

De la **Tabla 67** a la **Tabla 70** se incluyen los resultados de los ensayos ejecutados sobre las muestras tomadas de cada piezómetro; las respectivas memorias se encuentran incluidas en el Anexo L.

Al respecto de los resultados, se incluyen los valores permitidos de acuerdo con los siguientes artículos del Decreto 1076 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible:

- **Artículo 2.2.3.3.9.3.:** Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
- **Artículo 2.2.3.3.9.4.:** Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
- **Artículo 2.2.3.3.9.5.:** Criterios de calidad para uso agrícola.

Tabla 67 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-1-PREDIO EAB

PARÁMETRO	UNIDADES	Piezómetro PZ-WSP-1-PREDIO EAB				DECRETO 1076 DE 2015		
		I Campaña	II Campaña	III Campaña	IV Campaña	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5
Amonio	NH ₄ /L	1.8	< 1.2	<1	2.19	N.E.	N.E.	N.E.
Cadaverina	mg/L	<0.500	<0.500			N.E.	N.E.	N.E.
Carbono Orgánico Total	mg COT / L	10	10.22	<2.00	28.2	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10	< 1	124.7	840	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 ml	135	< 1	1887	6690	20000	1000	5000
Conductividad	µS/cm	143.5	194.4	233	223	N.E.	N.E.	N.E.
DBO ₅	mg O ₂ /L	7	< 5	< 5	8.19	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O ₂ /L	30	32	<20	24.1	N.E.	N.E.	N.E.
Esptreptococos fecales	NMP/100 ml	0	<1		<1.80	N.E.	N.E.	N.E.
Fosfatos	mg PO ₄ - ₃	<0.15	< 0.15	<0.03	<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	<0.5	< 0.5	0.344	<0.30	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N/L	<5.31	< 3.00	<3	5.8	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	6.0	6.3	2.7	3.9	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0
pH	UN	6.43	6.5	5.45	6.7	N.E.	N.E.	N.E.
Pseudomonas aeruginosa	mg Pb/L	<1	70		<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Putrecina	mg/L	<0.500	<0.500			N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos	mg/L	108	123	61.1	115.1	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales volátiles	mg/L	54	8	68	242	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg SO ₄ /L	12	< 5	<5.00	<0.8	400	400	N.E.
Temperatura	°C	16.9	17.3	20.1	17.1	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: Tecnoambiental, 2019.

N.E. No regulado en Normatividad

Artículo 2.2.3.3.9.3.: Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4.: Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5.: Criterios de calidad para uso agrícola.

Tabla 68 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-2-PREDIO FAC

PARÁMETRO	UNIDADES	Piezómetro PZ-WSP-2-PREDIO FAC				DECRETO 1076 DE 2015		
		I Campaña	II Campaña	III Campaña	IV Campaña	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5
Amonio	NH+4/L	2.0	< 1.2	5.22	5.34	N.E.	N.E.	N.E.
Cadaverina	mg/L			<0.500		N.E.	N.E.	N.E.
Carbono Orgánico Total	mg COT / L	13	18.86	11.9	45.9	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1	< 1	69.5	1690	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 ml	10800	< 1	2064	16800	20000	1000	5000
Conductividad	µS/cm	158.3	533	553	590	N.E.	N.E.	N.E.
DBO5	mg O2/L	7	8	45	13.2	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	70	66	68	54.43	N.E.	N.E.	N.E.
Esptreptococos fecales	NMP/100 ml	0	<1		<1.80	N.E.	N.E.	N.E.
Fosfatos	mg PO4-3	<0.15	< 0.15	<0.03	<0.100	N.E.	N.E.	N.E.
Nitratos	mg N-NO3/L	<0.5	< 0.5	0.133	<0.30	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N/L	<5.31	< 3.00	7.1	7.84	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O2/L	5.9	4.3	2.8	3.8	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0
pH	UN	6.02	5.44	6.22	6.2	N.E.	N.E.	N.E.
Pseudomonas aeruginosa	mg Pb/L	<1	< 1		<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Putrecina	mg/L			<0.500		N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos	mg/L	83	195	208	236.5	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales volátiles	mg/L	39	13	300	598	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg SO4/L	15	45	39.8	61.9	400	400	N.E.
Temperatura	°C	19.7	19	22.5	19	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: Tecnoambiental, 2019.

N.E. No regulado en Normatividad

Artículo 2.2.3.3.9.3.: Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4.: Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5.: Criterios de calidad para uso agrícola.

Tabla 69 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE

PARÁMETRO	UNIDADES	Piezómetro PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE				DECRETO 1076 DE 2015		
		I Campaña	II Campaña	III Campaña	IV Campaña	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5
Amonio	NH ₄ /L	2.4	< 1.2	<1	4.22	N.E.	N.E.	N.E.
Cadaverina	mg/L					N.E.	N.E.	N.E.
Carbono Orgánico Total	mg COT / L	9	18	<2.00	35.7	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1	< 1	114.7	4020	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 ml	10	< 1	1626	42800	20000	1000	5000
Conductividad	μS/cm	302	388	463	455	N.E.	N.E.	N.E.
DBO5	mg O ₂ /L	<5	< 5	<5	2.19	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O ₂ /L	18	43	<20	54.77	N.E.	N.E.	N.E.
Esptreptococos fecales	NMP/100 ml	0	<1		<1.80	N.E.	N.E.	N.E.
Fosfatos	mg PO ₄ - ₃	<0.15	< 0.15	<0.03	<0.100	N.E.	N.E.	N.E.
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	<0.5	< 0.5	0.397	<0.30	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N/L	<5.31	< 3.00	< 3.00	6.12	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	5.9	6.1	2.3	3.6	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0
pH	UN	6.42	6.5	6.28	6.2	N.E.	N.E.	N.E.
Pseudomonas aeruginosa	mg Pb/L	20	< 1		<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Putrecina	mg/L					N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos	mg/L	155	173	161	137	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales volátiles	mg/L	46	13	100	262	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg SO ₄ /L	24	16	<5.00	0.922	400	400	N.E.
Temperatura	°C	17.7	16.9	18.5	18.1	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: Tecnoambiental, 2019.

N.E. No regulado en Normatividad

Artículo 2.2.3.3.9.3.: Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4.: Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5.: Criterios de calidad para uso agrícola.

Tabla 70 Resultados de Laboratorio – Ensayos de calidad de agua – Piezómetro PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA

PARÁMETRO	UNIDADES	Piezómetro PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA				DECRETO 1076 DE 2015		
		I Campaña	II Campaña	III Campaña	IV Campaña	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5
Amonio	NH ₄ /L	3.5	< 1.2	<1	5.01	N.E.	N.E.	N.E.
Cadaverina	mg/L	<0.500	<0.500	<0.500		N.E.	N.E.	N.E.
Carbono Orgánico Total	mg COT / L	31	24.4	9.45	40.4	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1	< 1	42.2	2460	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 ml	22	< 1	1455	16480	20000	1000	5000
Conductividad	µS/cm	260	514	522	465	N.E.	N.E.	N.E.
DBO ₅	mg O ₂ /L	13	15	36	<2.10	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O ₂ /L	103	58	54	51.77	N.E.	N.E.	N.E.
Esptreptococos fecales	NMP/100 ml	17	<1		<1.80	N.E.	N.E.	N.E.
Fosfatos	mg PO ₄ - ₃	<0.15	< 0.15	<0.03	<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	<0.5	< 0.5	0.125	<0.30	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N/L	<5.31	< 3.00	<3	8	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	6.3	3.6	3	3.5	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0
pH	UN	9.50	6.18	6.68	6.1	N.E.	N.E.	N.E.
Pseudomonas aeruginosa	mg Pb/L	<1	< 1		<1.00	N.E.	N.E.	N.E.
Putrecina	mg/L	<0.500	<0.500	<0.500		N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos	mg/L	181	252	172	155.6	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales volátiles	mg/L	61	20	214	269	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg SO ₄ /L	30	5	<5.00	0.915	400	400	N.E.
Temperatura	°C	19.3	18.4	20	19.3	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: Tecnoambiental, 2019.

N.E. No regulado en Normatividad

Artículo 2.2.3.3.9.3.: Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4.: Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5.: Criterios de calidad para uso agrícola.

10.4.2 Análisis de resultados

A continuación, se incluye un análisis de los resultados obtenidos para cada parámetro.

10.4.2.1 pH

El pH es una unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad de una solución, una solución ácida tiene una concentración alta de hidrogeniones (H^+), mientras que una solución básica tiene una concentración baja de H^+ (IUPAC, 2002).

De acuerdo con los reportes de pH registrados en la **Figura 200**, se evidencian mediciones en un rango entre 5,44 unidades (Piezómetro 2 Predio FAC, II Campaña), tendiente hacer ácido y 9,5 unidades (Piezómetro 4 – Predio Valmaría, I Campaña) este mucho más alcalino lo cual se relacione con la presencia de minerales en el agua.

Al comparar el valor reportado de pH para la primera campaña en el piezómetro 4, este supera el valor promedio registrado en las tres campañas de monitoreo realizadas, condición que se pudo presentar por desprendimiento de material bentónico de las paredes del pozo, utilizado durante la construcción del piezómetro.

En cuanto al cumplimiento normativo, la mayoría de los puntos monitoreados cumplen con el nivel permisible de pH ya que es posible destinarlo en consumo humano y doméstico aplicando solamente procesos de desinfección (artículo 2.2.3.3.9.4).

Con respecto al piezómetro 4 Predio Valmaría, debido a que este reporta una condición de pH alcalina desde el punto de vista normativo, se evidencia que el recurso presenta incumplimiento de los criterios de calidad para destinar el agua en actividades agrícolas (artículo 2.2.3.3.9.5) y en procesos de desinfección de consumo humano artículo 2.2.3.3.9.4).

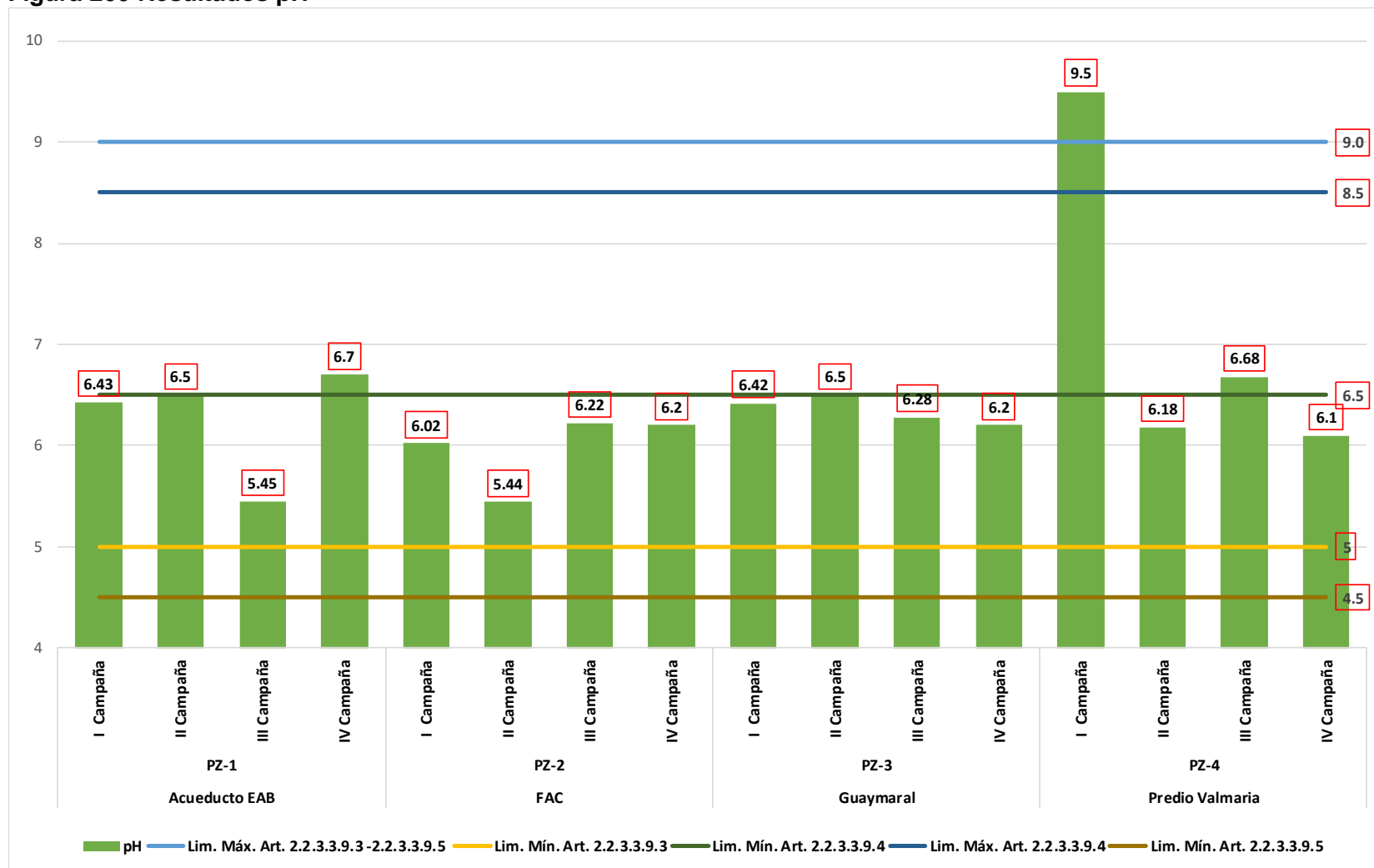
10.4.2.2 Temperatura

La temperatura del agua influye en los procesos vitales para los organismos vivos y a su vez en la descomposición de la materia orgánica; en la **Figura 201** se muestran los resultados obtenidos.

Las muestras de agua subterránea analizadas en las diferentes campañas de monitoreo presentan una temperatura promedio de 18,73 °C, con una temperatura máxima de 22,5 °C presentado en el Piezómetro 3 – FAC (III Campaña) y una temperatura mínima de 16,3 °C registrada en el Piezómetro 1 – Acueducto EAB (I Campaña) y Piezómetro 3 – Guaymaral (II Campaña), siendo consistentes con la temperatura ambiente del momento en el que se tomó la muestra.

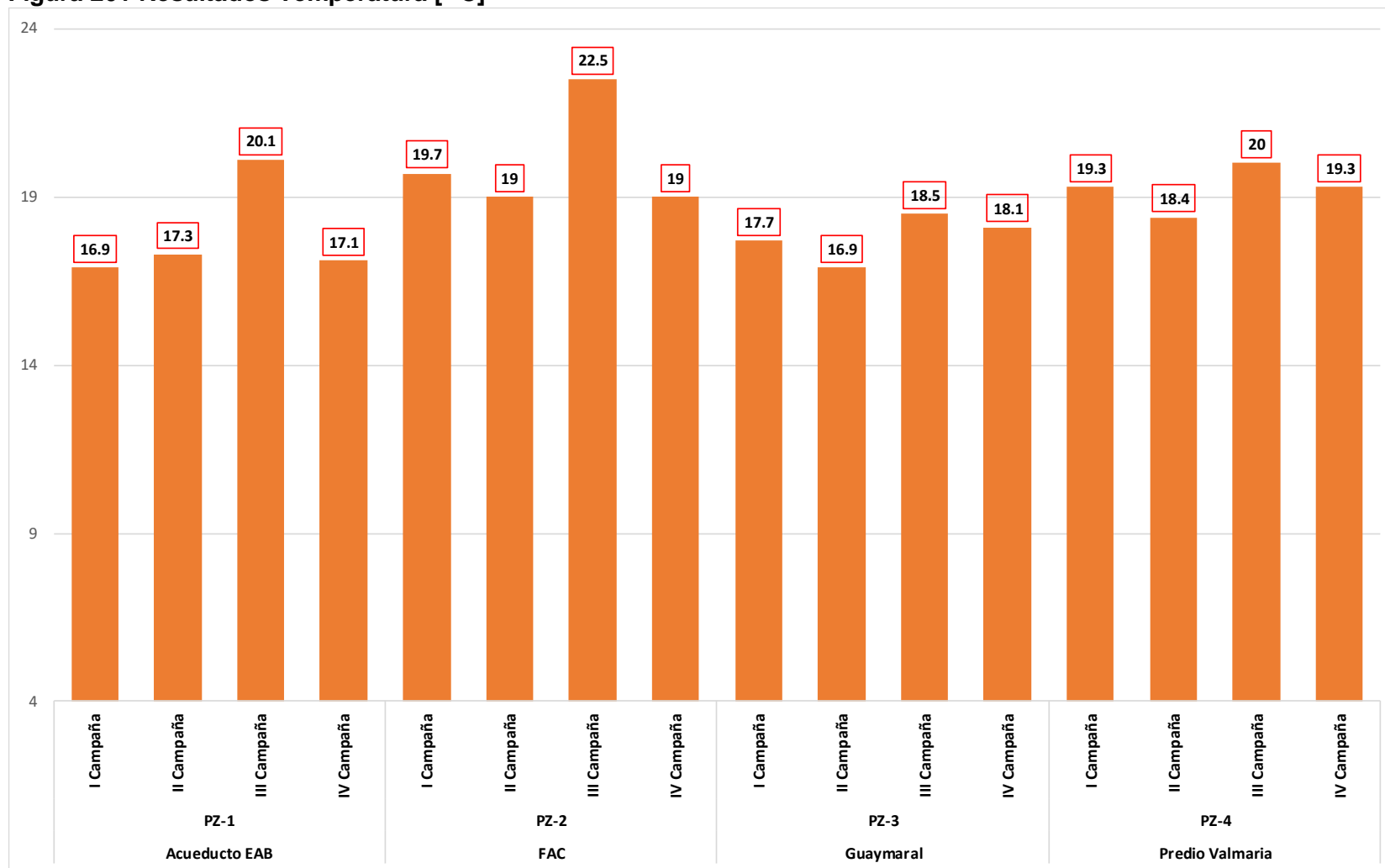
Este parámetro no está condicionado por límites permisibles de acuerdo con la normatividad ambiental Decreto 1076/2015.

Figura 200 Resultados pH



Fuente: WSP, 2019.

Figura 201 Resultados Temperatura [°C]



Fuente: WSP, 2019.

10.4.2.3 Conductividad

La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente Cloruro, Nitrato, Sulfato, Fosfatos, Sodio, Magnesio y Calcio), la cual nos permite inferir el grado de mineralización de las aguas, la Conductividad es una expresión numérica de la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas (Romero, 2009).

En este sentido el agua subterránea se caracteriza por presentar un contenido entre medio y alto de sólidos, iones y sales disueltas (Cárdenas, 2005), indicando una buena habilidad conductora de corriente eléctrica, debido a que los reportes de Conductividad presentados en la **Figura 202** se encuentran entre 143.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Piezómetro 1 – Predio EAB, I Campaña) y 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Piezómetro 2 – FAC, IV Campaña).

Al analizar el comportamiento de la conductividad eléctrica para cada campaña se aprecian diferentes tendencias. Entre campaña y campaña se aprecia una variación en los valores de la conductividad eléctrica que presentó cada punto.

Durante la Campaña I fue realizada durante un periodo de tiempo húmedo durante el cual se habían acumulado 38,26 mm de lluvia desde el 1 al 11 de abril, día de la medición. Las medidas realizadas durante este periodo de tiempo presentan el menor promedio de conductividad eléctrica de todas las campañas: 249,72 $\mu\text{S}/\text{cm}$., esto es atribuido al aporte de aguas de precipitación recientes las cuales diluyen la mineralización del agua. Estas aguas bajas en mineralización aportan al acuífero captado por los piezómetros, pues esta clase de puntos presentan unas aguas con una conductividad eléctrica moderada (en promedio 215,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y menor que aquella presentada los humedales y algunas quebradas (ver Figura 203). La cota de la tabla de agua medida en los piezómetros se encontró a un promedio de 2555,20 msnm.

Los resultados de la Campaña II fue realizada durante el periodo de transición entre tiempo húmedo y seco, durante este se habían acumulado 28,70 mm de lluvia desde el 1 al 17 de junio, día de la medición. Se evidencia un aumento del promedio de la conductividad eléctrica a 303,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ relacionado con una menor cantidad de agua-lluvia ocasionando la presencia de aguas con una mineralización más concentrada. En esta campaña los puntos de captación de agua subterránea presentaron un promedio de conductividad eléctrica de 407,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mayor que el promedio registrado en aguas superficiales de 264,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver Figura 204). La cota de la tabla de agua medida en los piezómetros se encontró a un promedio de 2555,22 msnm.

Conforme se reduce la precipitación a 25,26 mm, esto acumulado entre el 1 y el 18 de julio, los valores promedio de conductividad aumentan a 303,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el total de puntos, 442,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para los piezómetros y 265,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para los puntos de agua superficial. Estos valores fueron registrados durante la Campaña III El aumento del valor de conductividad está relacionado con el continuo aumento de concentración de minerales debido al menor aporte de aguas lluvia (Figura 205). La cota de la tabla de agua medida en los piezómetros se encontró a un promedio de 2554,99 msnm.

En la Campaña IV los piezómetros registraron un valor promedio de conductividad de 433,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que las aguas superficiales un promedio de 236,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un

promedio total de 297,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores están correlacionados con una precipitación de 10,84 mm en la fecha del 1 al 15 de agosto de 2019, el valor más bajo de precipitación para todas las campañas de monitoreo (Figura 206). La cota de la tabla de agua medida en los piezómetros se encontró a un promedio de 2554,80 msnm.

En general, los piezómetros tuvieron una mayor conductividad eléctrica que los puntos de agua superficial, excepto durante la Campaña I. Así mismo, en las cuatro campañas se puede observar que en general los humedales presentaron los valores más altos entre los puntos de medición de agua superficial.

En el caso de los piezómetros a lo largo de las campañas de monitoreo se aprecia una correlación entre la precipitación, el nivel de la tabla de agua y la conductividad eléctrica; en las Figura 207 a la Figura 211, se realiza la comparación de los parámetros de precipitación, nivel de la tabla de agua medido con los Divers y conductividad eléctrica (en el caso de la precipitación y el nivel de la tabla, los valores corresponden al promedio de registros durante los días de cada campaña); en las gráficas se observa que conforme la precipitación se reduce a lo largo del tiempo, la conductividad aumenta, mientras que los niveles de la tabla de agua disminuyen levemente. Esta tendencia se puede apreciar en todas las campañas, excepto en la cuarta en donde hay una mínima reducción de la conductividad eléctrica pese a que continúa disminuyendo la precipitación.

10.4.2.4 Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales Volátiles

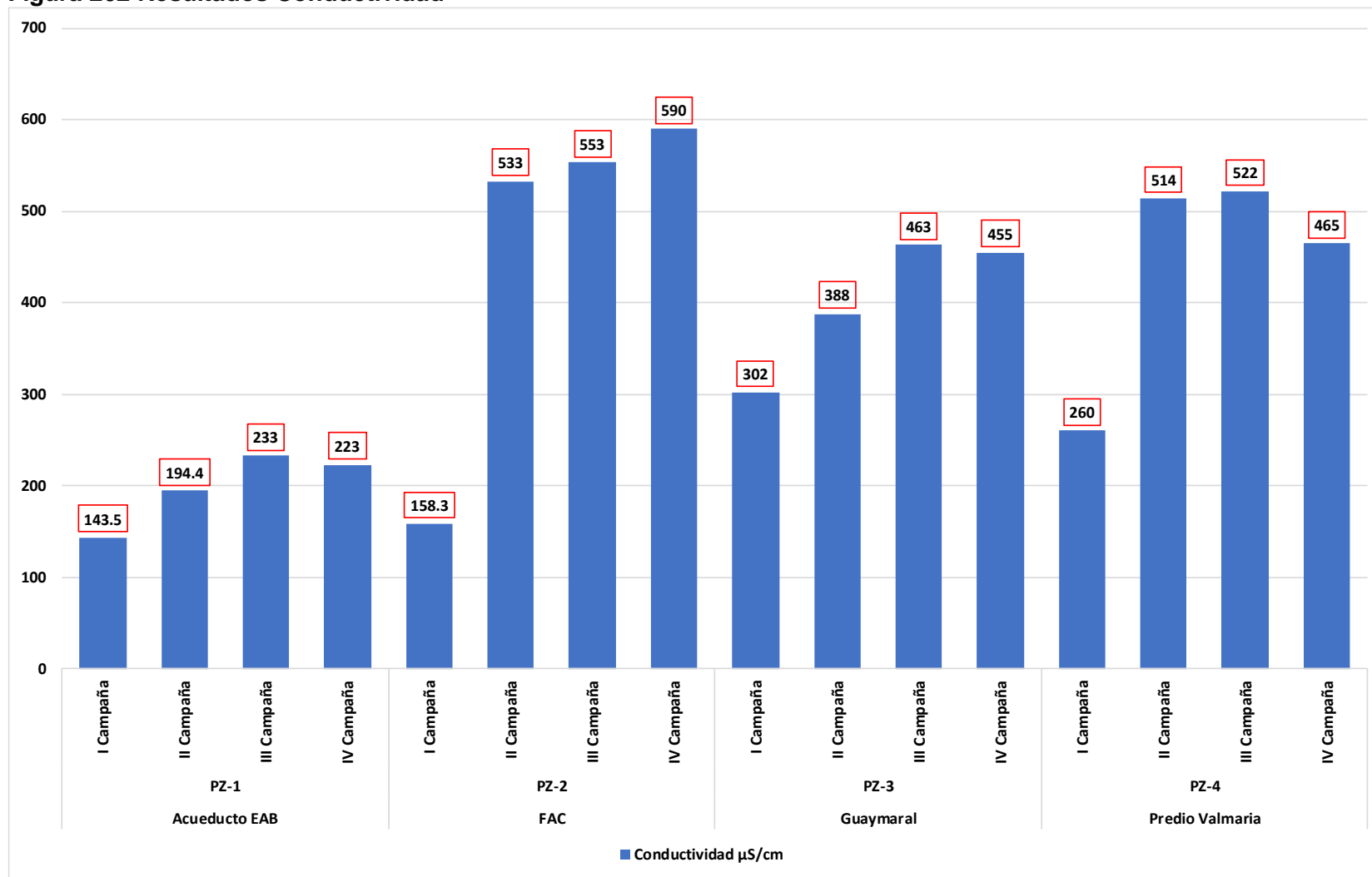
Con relación a los sólidos presentes los puntos de monitoreo se establecen que la totalidad estuvo determinada principalmente por los sólidos disueltos asociados a la cantidad de sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que puedan estar presentes en los puntos de muestreo. Se considera generalmente que, con concentraciones del total de sólidos disueltos en el rango 50 a 600 mg/litro, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente cuando la concentración sobrepasa los 1000 mg/litro con un límite superior de 1500 mg/litro. (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2008).

El decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario), establece un límite máximo permisible para el contenido de sales de 3000 (Peso Total), teniendo en cuenta este criterio es posible decir que todos los puntos monitoreados cumplen a cabalidad lo establecido.

En la Figura 212 se puede observar que los sólidos totales volátiles fluctúan entre 598 mg/L (Piezómetro 2 – FAC, IV Campaña), y 8 mg/L (Piezómetro 1 – Acueducto EAB, II Campaña), mientras que los sólidos disueltos tienen un reporte menor con respecto a los anteriores 61,1 mg/L (Piezómetro 1 – Acueducto EAB, III Campaña) y 252 mg/L (Piezómetro 4 – Predio Valmaría, II Campaña).

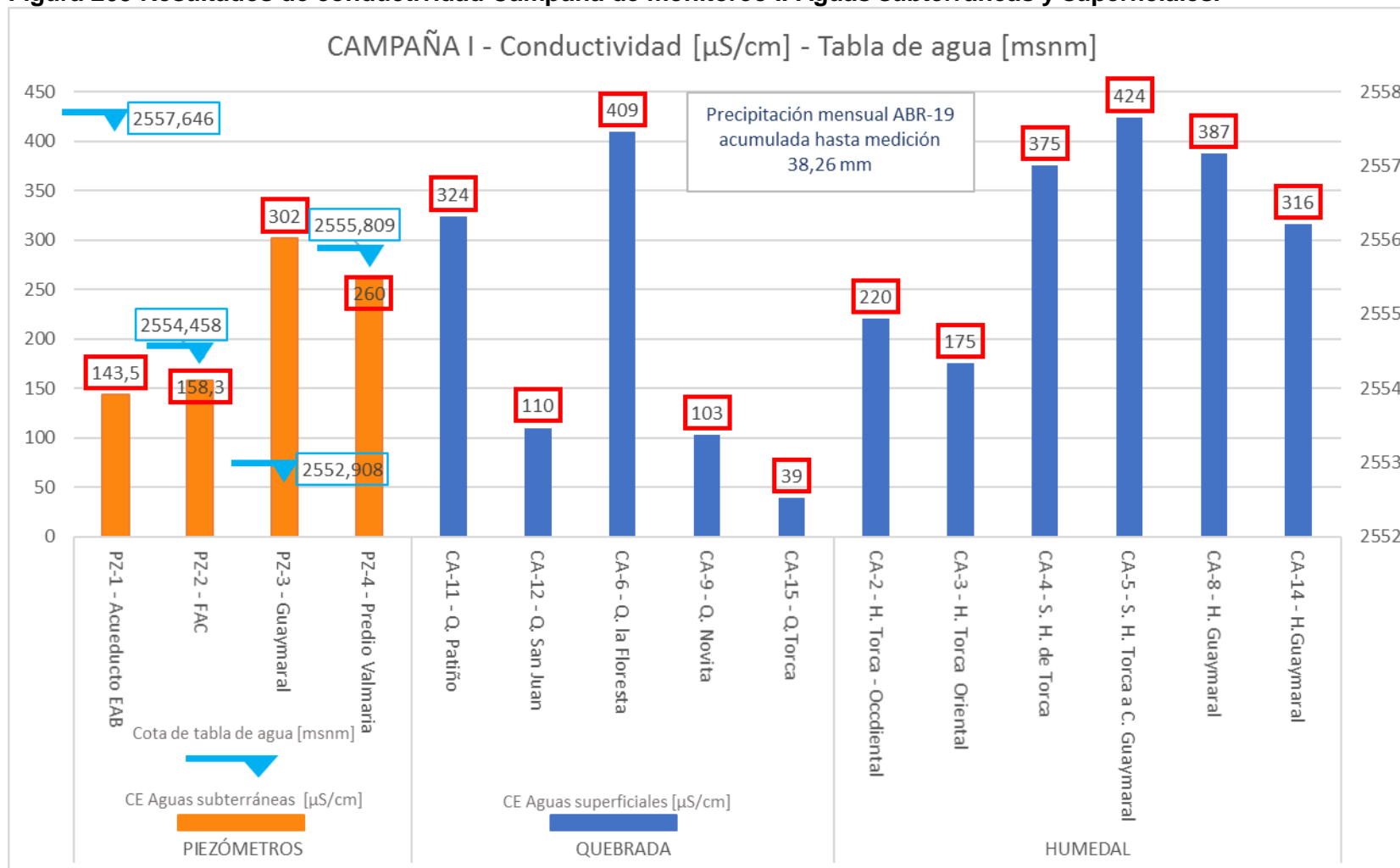
Al comprar los valores reportados para sólidos volátiles en el piezómetro 2, se puede evidenciar que para la cuarta campaña este valor se aumentó con relación a los valores reportados en las campañas anteriores situación que se pudo presentar por acumulación de materia orgánica, en el piezómetro, a causa de las lluvias presentadas el día anterior al monitoreo.

Figura 202 Resultados Conductividad



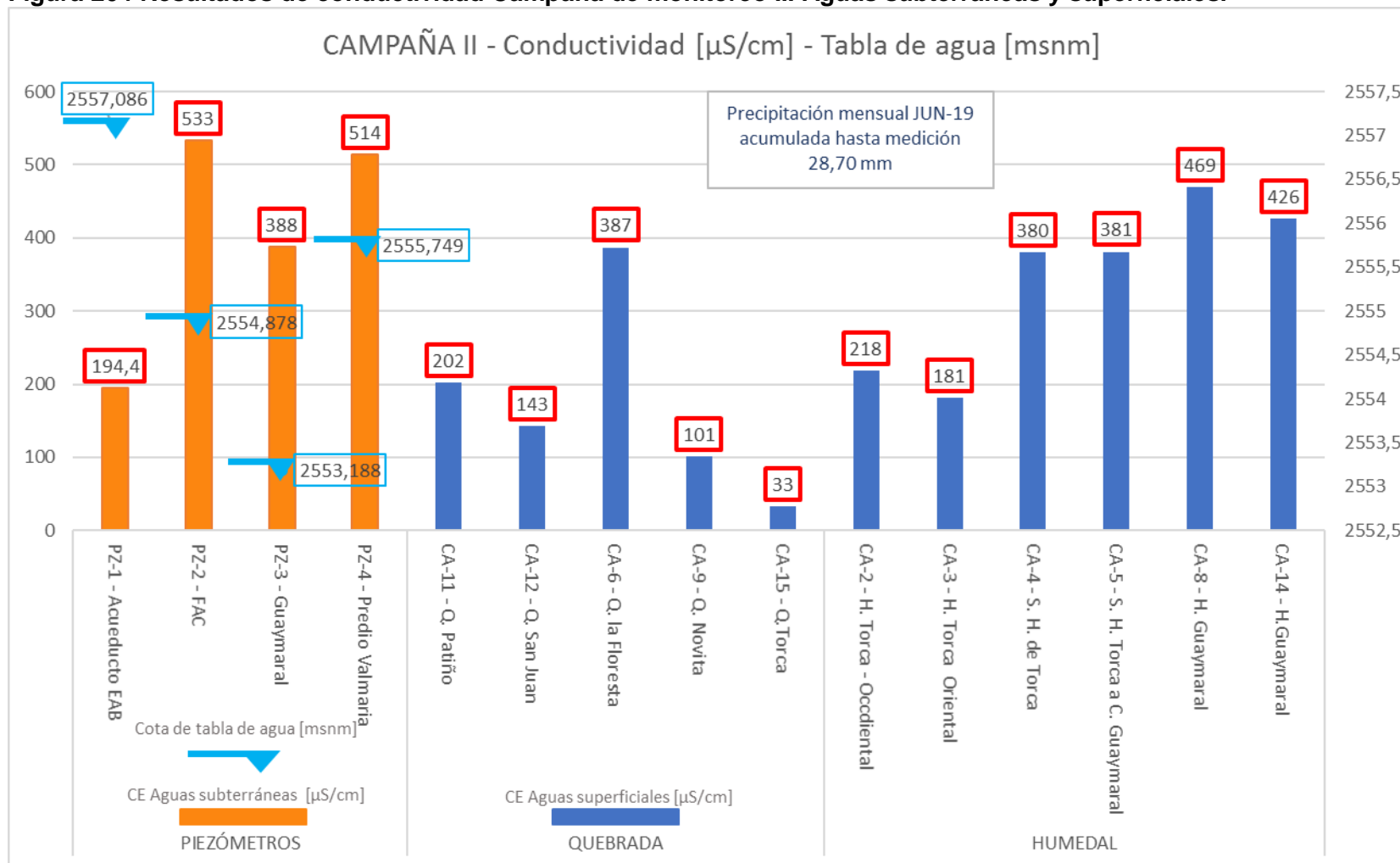
Fuente: WSP, 2019.

Figura 203 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo I. Aguas subterráneas y superficiales.



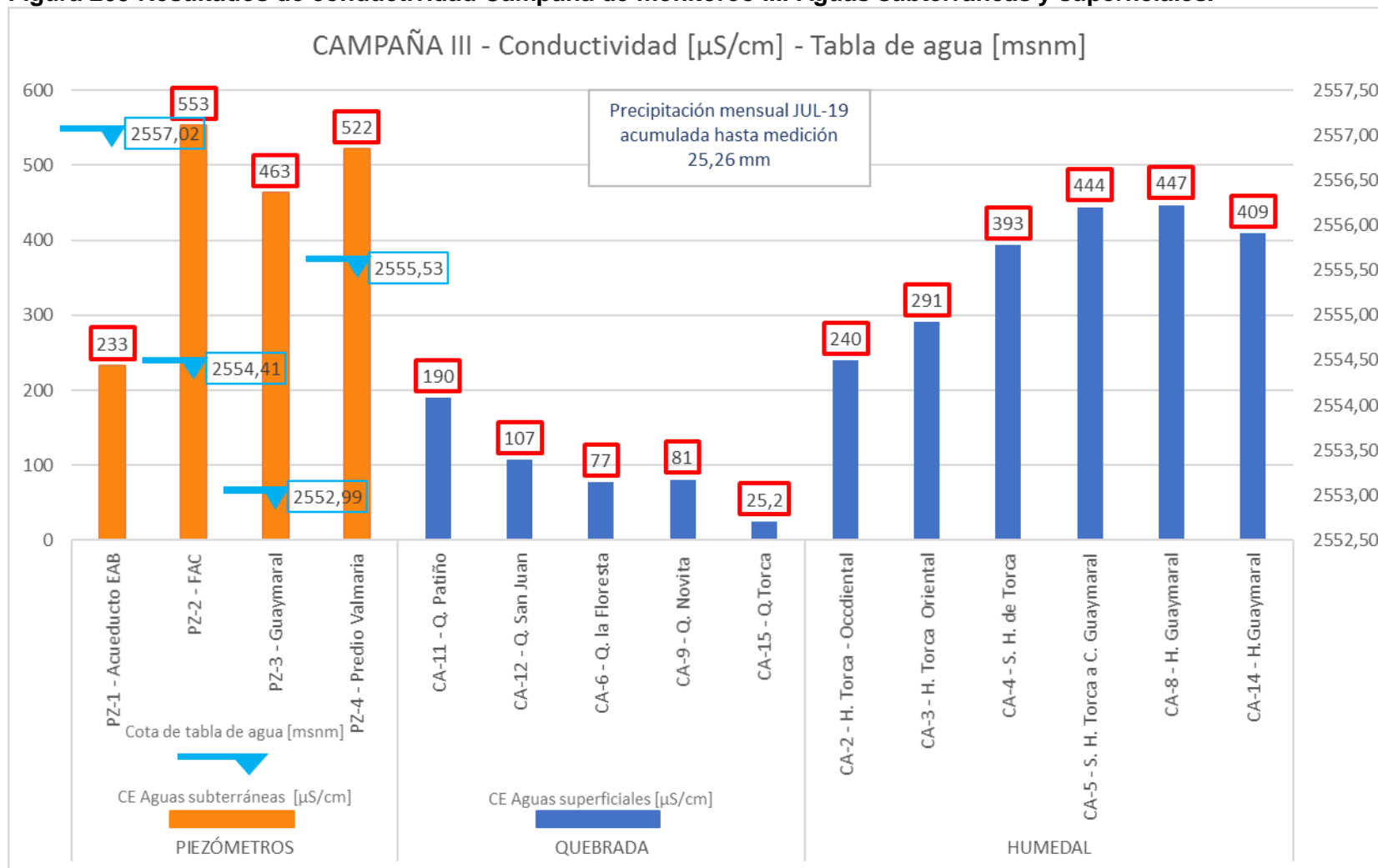
Fuente: WSP, 2019.

Figura 204 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo II. Aguas subterráneas y superficiales.



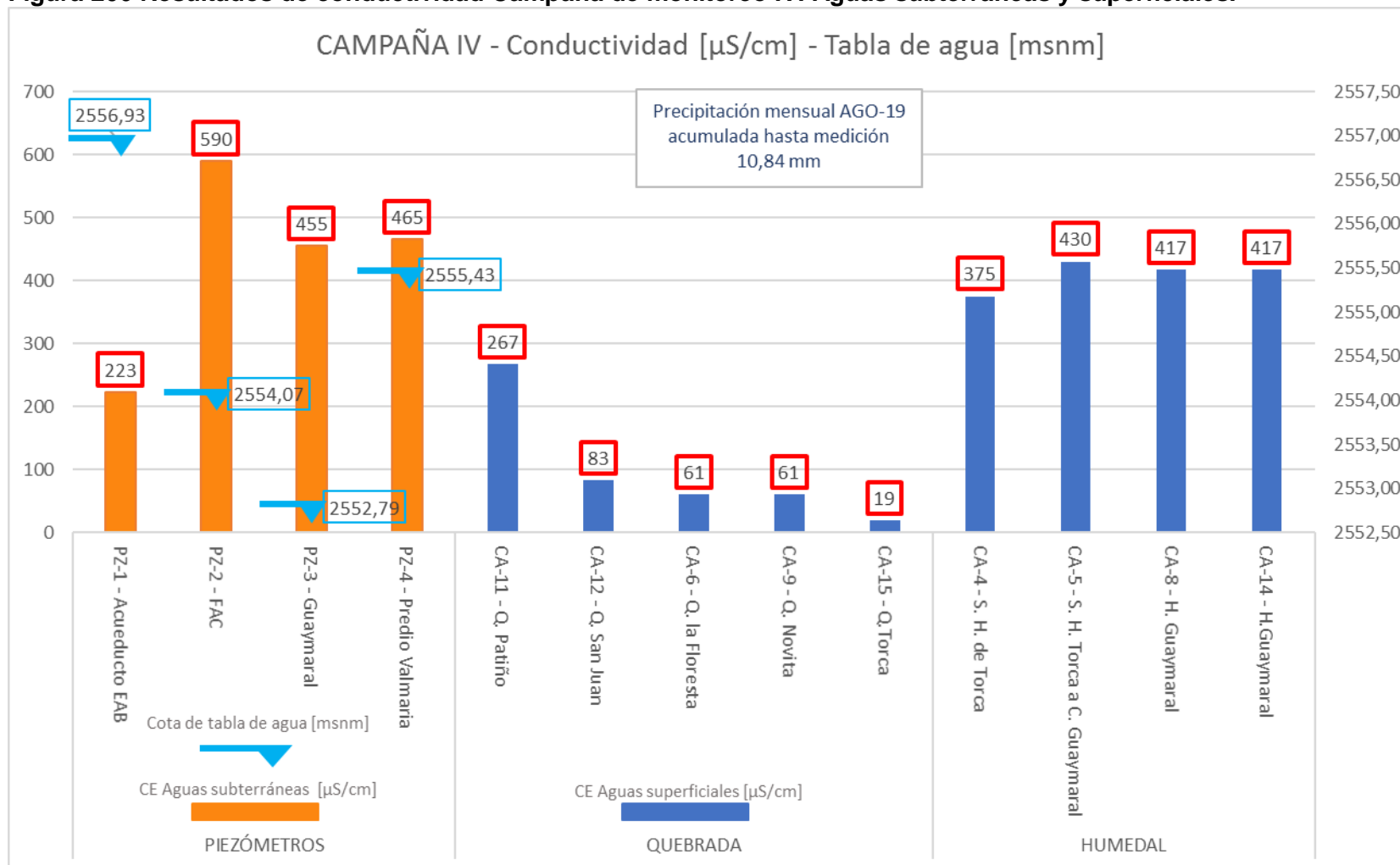
Fuente: WSP, 2019.

Figura 205 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo III. Aguas subterráneas y superficiales.



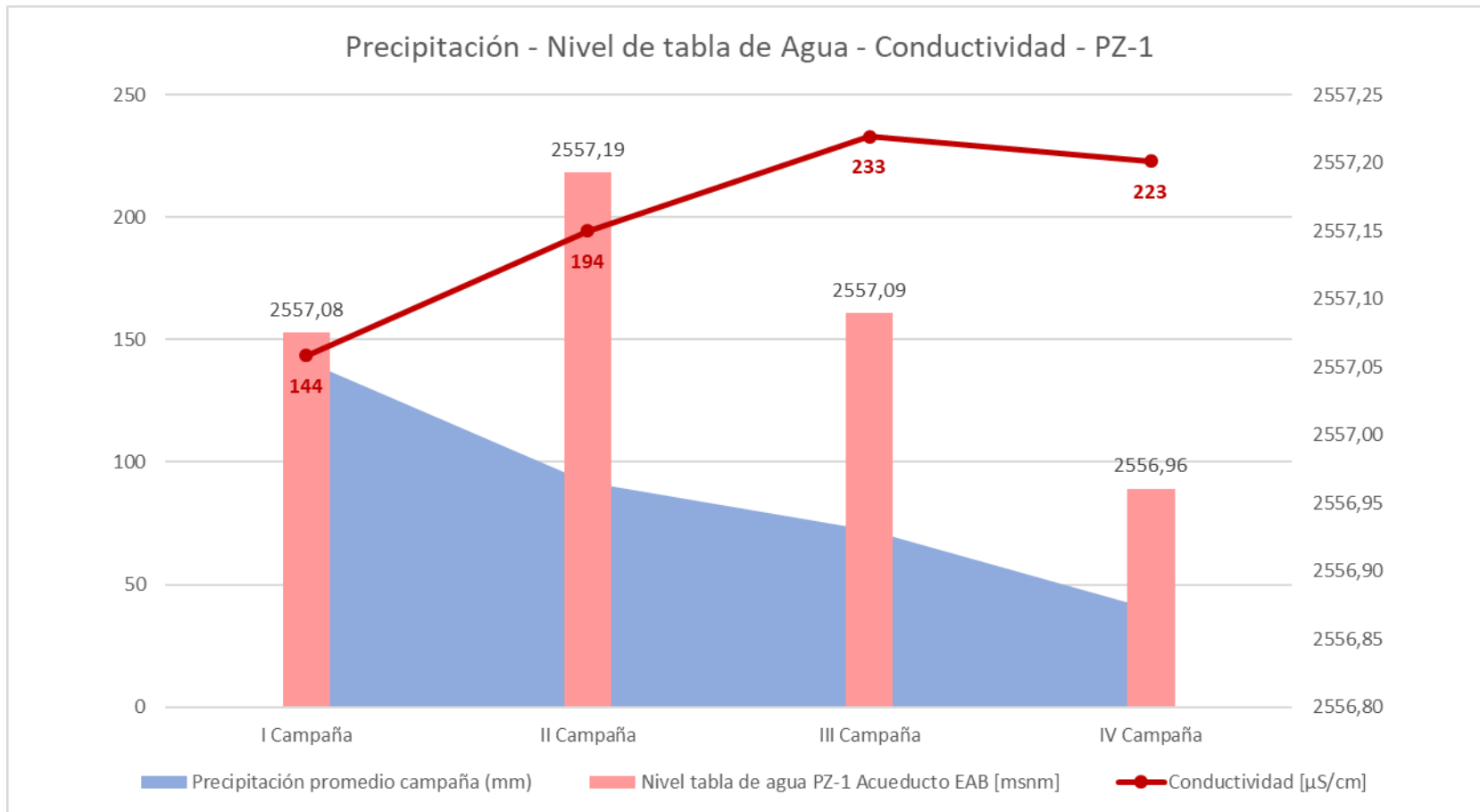
Fuente: WSP, 2019.

Figura 206 Resultados de conductividad Campaña de monitoreo IV. Aguas subterráneas y superficiales.



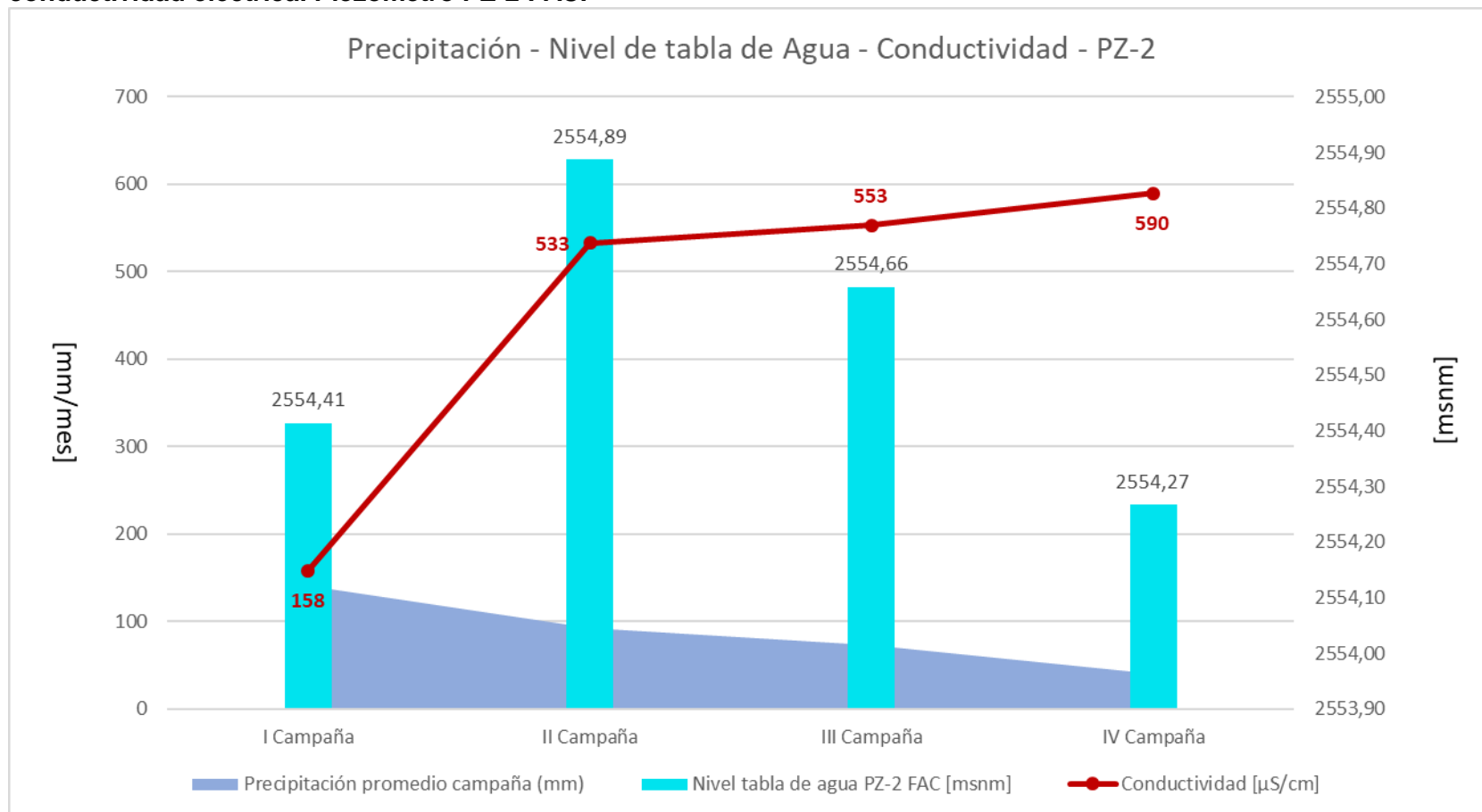
Fuente: WSP, 2019.

Figura 207 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-1 Acueducto EAB.



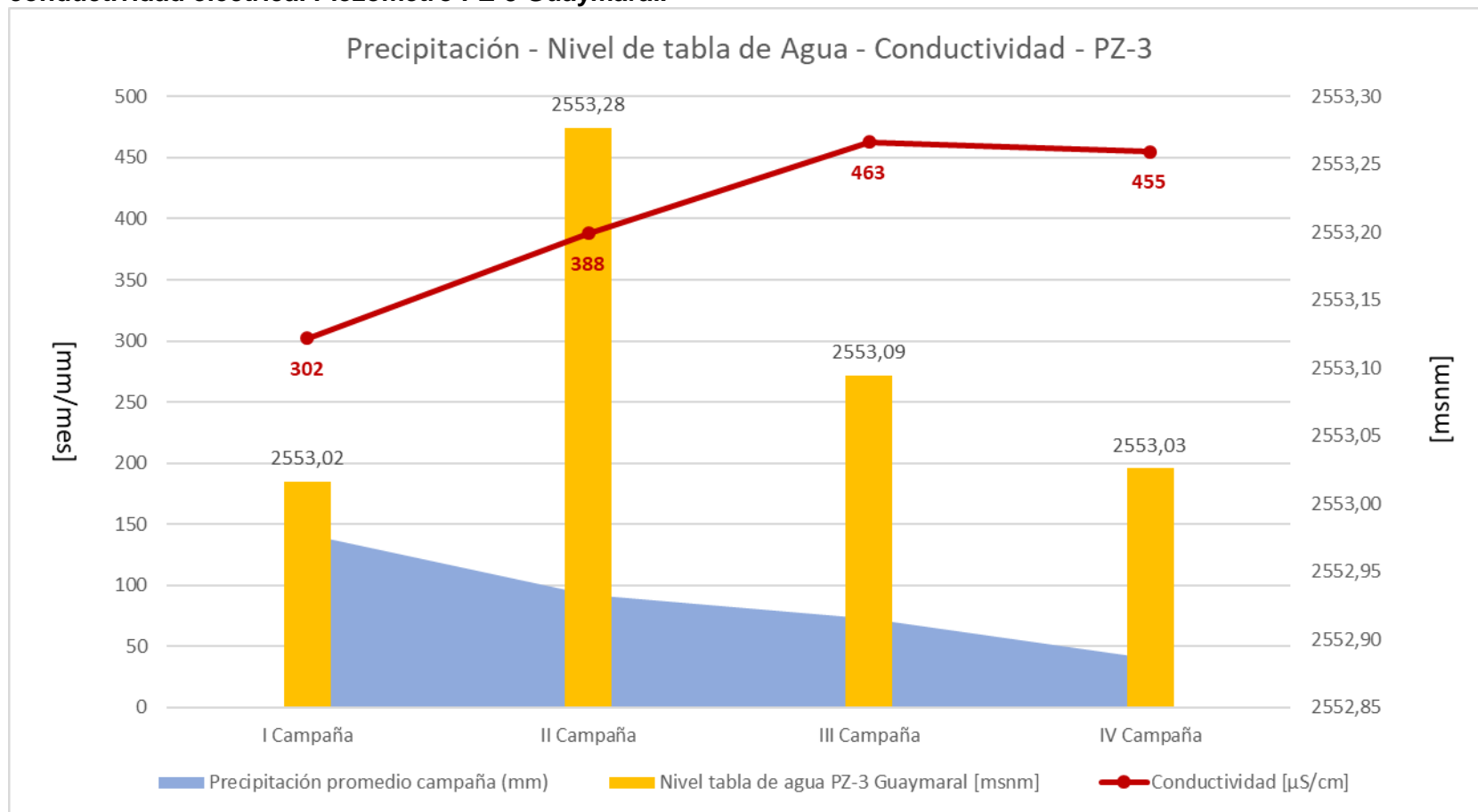
Fuente: WSP, 2019.

Figura 208 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-2 FAC.



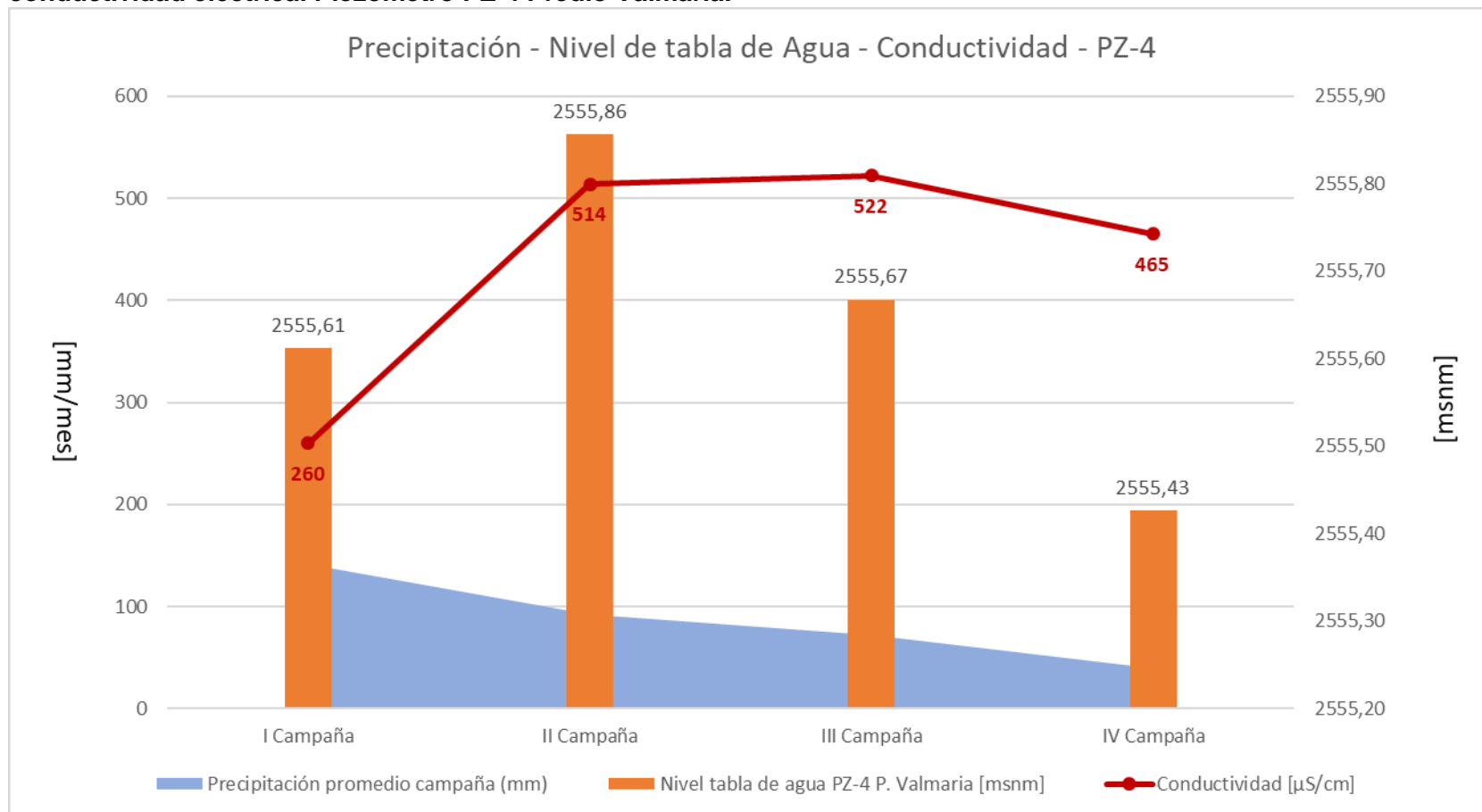
Fuente: WSP, 2019.

Figura 209 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-3 Guaymaral.



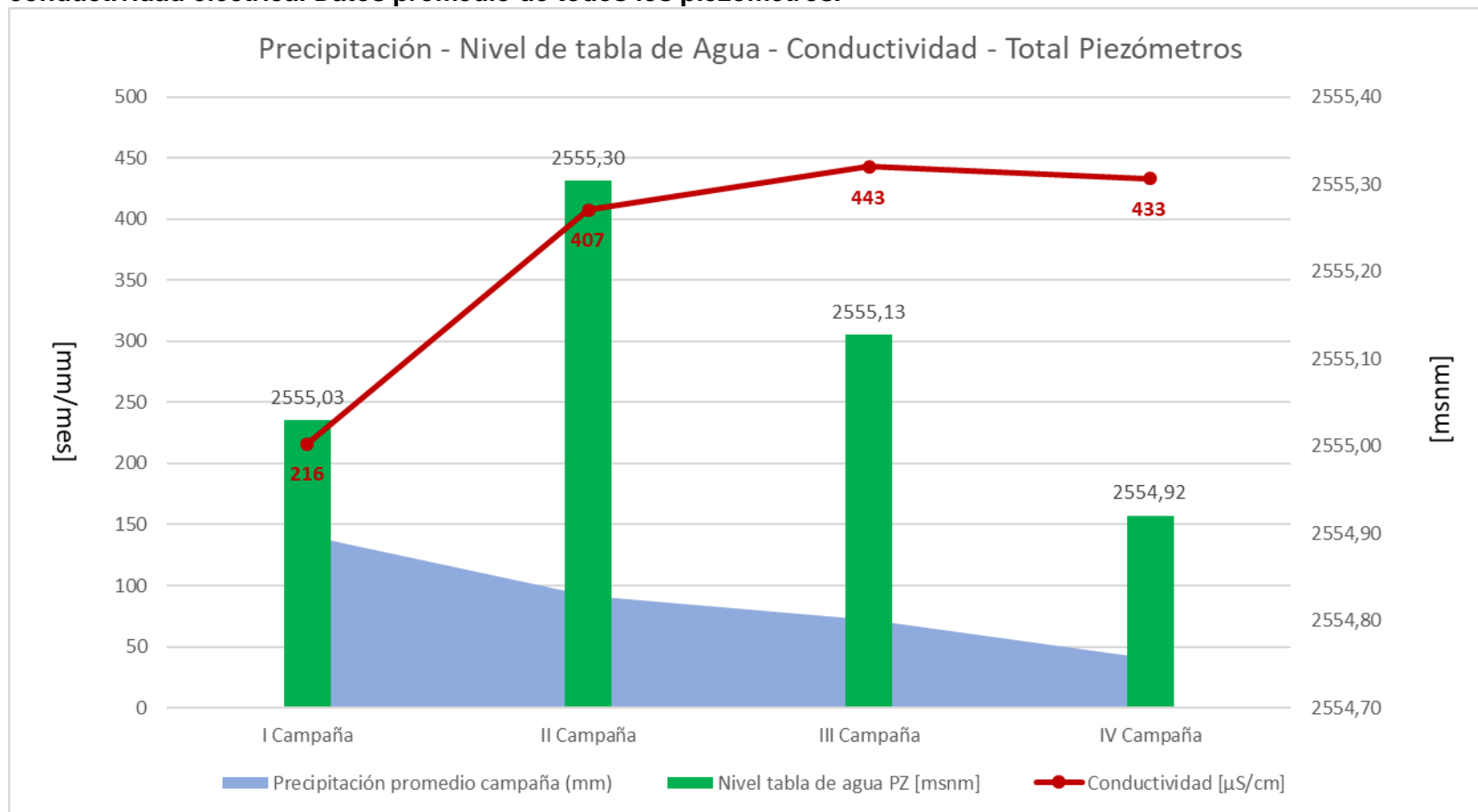
Fuente: WSP, 2019.

Figura 210 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Piezómetro PZ-4 Predio Valmaria.



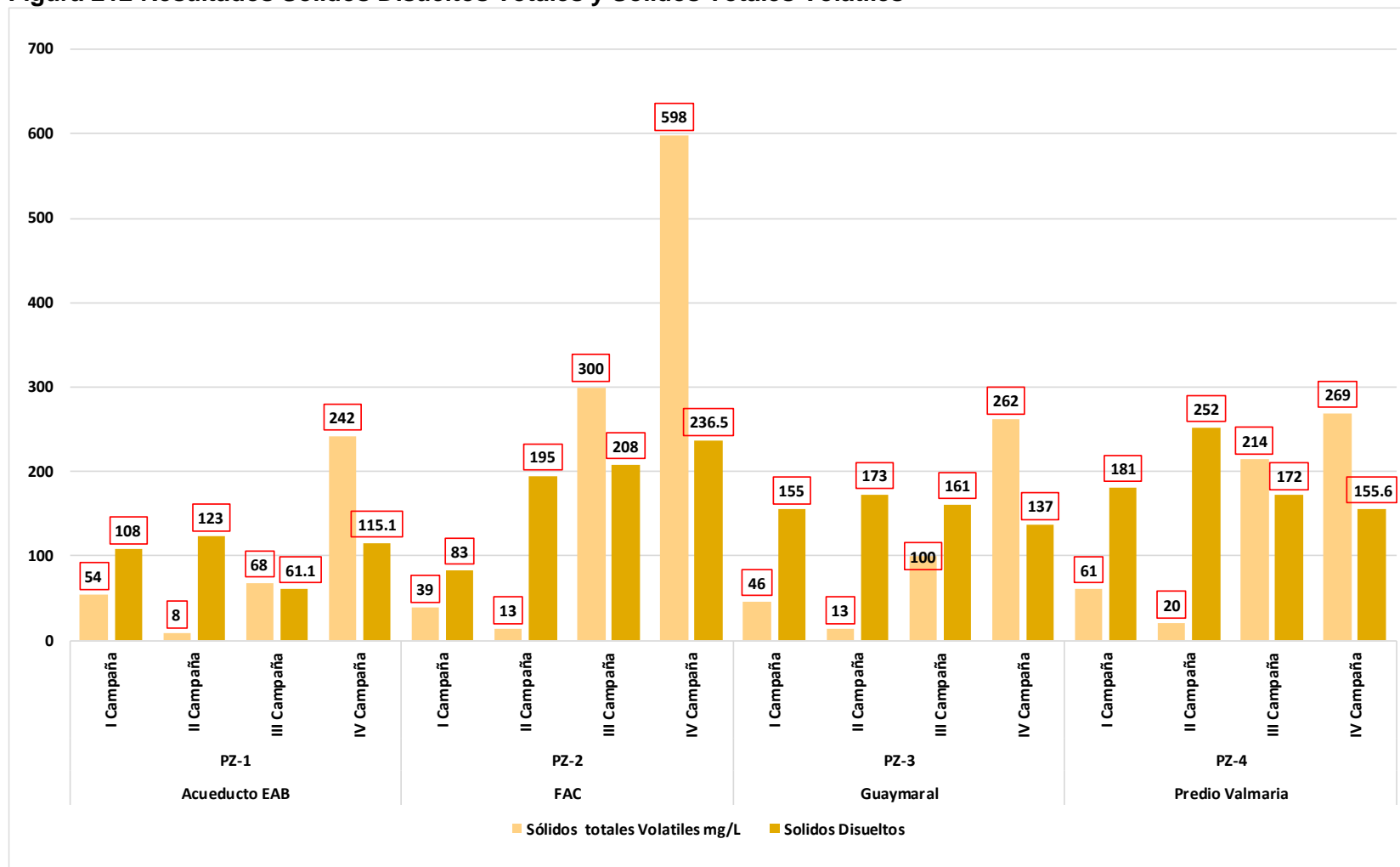
Fuente: WSP, 2019.

Figura 211 Comparación de precipitación promedio por campaña, nivel de tabla de agua promedio por campaña y conductividad eléctrica. Datos promedio de todos los piezómetros.



Fuente: WSP, 2019.

Figura 212 Resultados Solidos Disueltos Totales y Solidos Totales Volátiles



Fuente: WSP, 2019.

10.4.2.5 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD), como su nombre lo indica, corresponde al oxígeno que se encuentra disponible en el agua; este parámetro es uno de los más importantes para calidad de agua debido a que provee el desarrollo de vida acuática en los cuerpos de agua. El contenido en oxígeno disuelto sirve como indicador de las condiciones bioquímicas del agua en un lugar y momento determinado. La concentración de O₂ normal en aguas subterráneas puede llegar incluso a valores de saturación, variables en función de la presión y la temperatura (13.3 mg/l. a 10°C. 7.6 mg/l. a 30°C). Sin embargo, las aguas anóxicas son frecuentes. (IGME y EPTISA, 1985).

En la **Figura 213** se evidencia que las concentraciones de Oxígeno Disuelto obtenidas en el agua subterránea extraída del área de piezómetros se encuentran en un rango entre 2,3 mg O₂/L (Piezómetro 3 – Guaymaral , III Campaña) y 6,3 mg O₂/L (Piezómetro 4 – Predio Valmaría, I Campaña y Piezómetro 1 – EAB, Campaña II); de acuerdo con lo anterior, pese a las condiciones estáticas y de confinamiento que se mantienen en los puntos monitoreados, prevalece un nivel de oxigenación aceptable, , para el crecimiento y reproducción animal y vegetal.

Este parámetro no está condicionado por límites permisibles de acuerdo con la normatividad ambiental Decreto 1076/2015.

10.4.2.6 Sulfatos

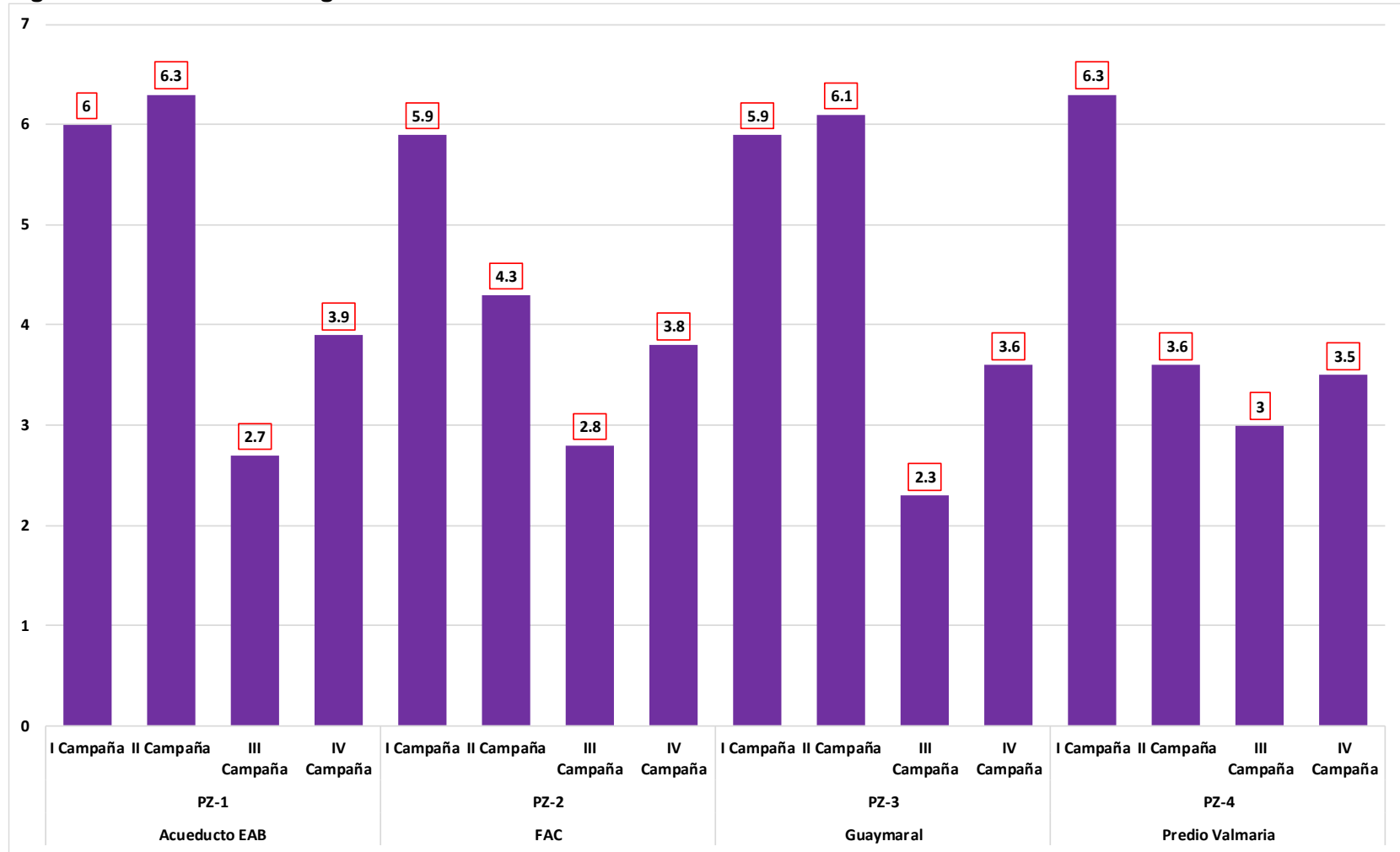
El ion sulfato está sometido a procesos de reducción especialmente en presencia de bacterias y de materia orgánica. En ambientes reductores. a pH menor que 7, la forma reducida estable es el H₂S mientras que en soluciones alcalinas predomina el ión HS⁻.

La mayoría de las aguas subterráneas sulfurosas presentan contenidos apreciables de HS⁻ ó H₂S que. incluso a Concentración muy baja. confieren al agua el típico olor a huevos podridos. En aguas dulces la concentración normal de SO₄: puede variar entre 2 y 150 mg/l. En aguas salinas. asociado al Ca²⁺, puede llegar a 5.000 mg/l: asociado con Mg²⁺ y Na⁺. en salmueras. puede alcanzar hasta 200 000 mg/l.

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos para sulfatos (ver **Figura 214**) refieren un comportamiento acorde con el agua natural y con la composición de la corteza terrestre en la zona de estudio; así mismo, no se evidencia influencia por parte de factores extrínsecos.

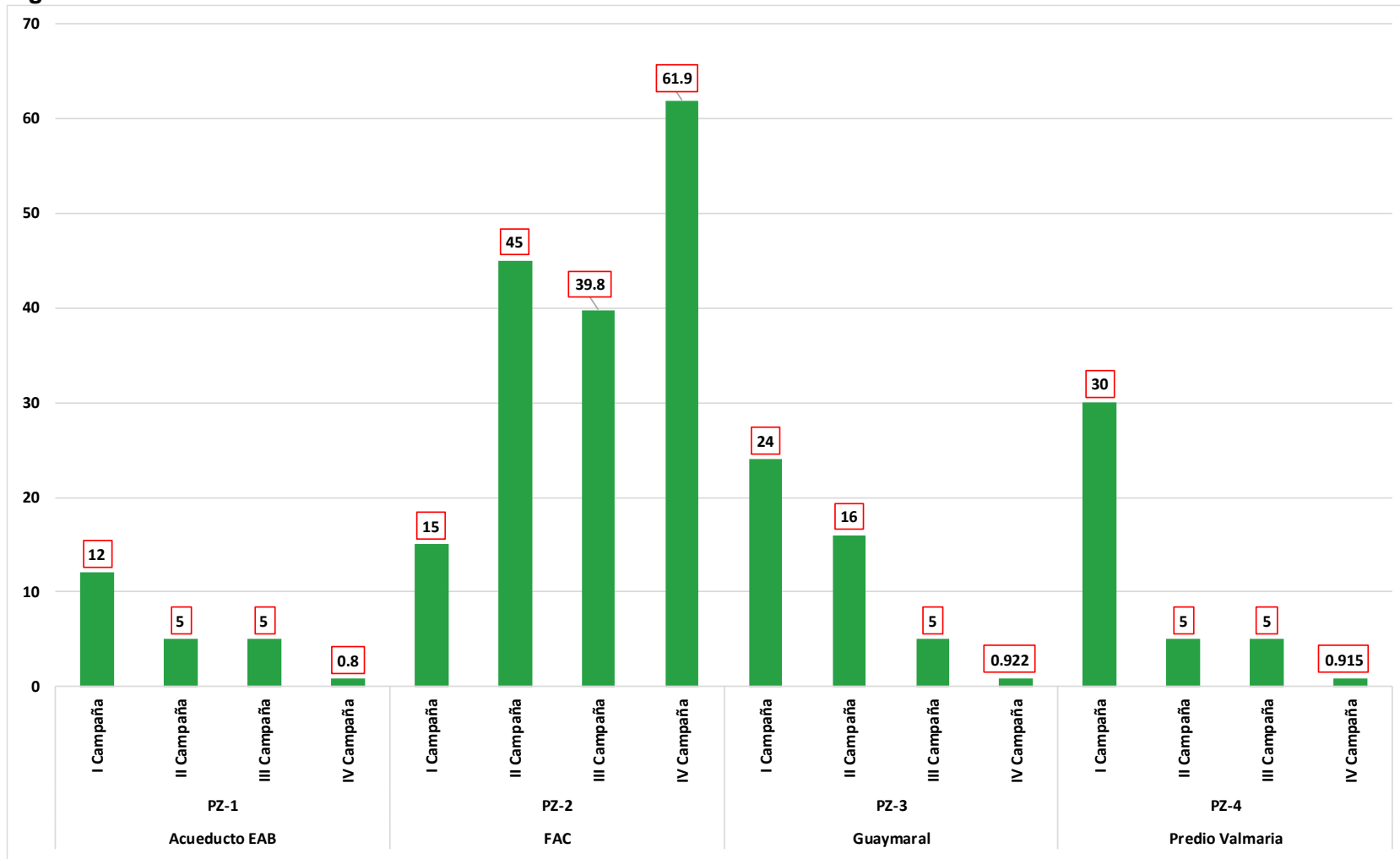
Desde el punto de vista normativo, las moléculas de sulfatos refieren cumplimiento de los criterios de calidad regulados en los artículos 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015.

Figura 213 Resultados Oxígeno Disuelto



Fuente: WSP, 2019.

Figura 214 Resultados Sulfatos



Fuente: WSP, 2019.

10.4.2.7 Coliformes Totales

En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.

Como se puede observar en la Figura 215 en el piezómetro 3 – Guaymaral, IV Campaña, sobrepasa el límite máximo del artículo 2.2.3.3.9.3 (Consumo Humano y Domestico), los demás puntos monitoreados cumplen cabalmente con lo estipulado Decreto 1076 de 2015. Por lo tanto, para el resto de los puntos monitoreados y en lo que se refiere a este parámetro el agua es apta para el consumo humano y doméstico.

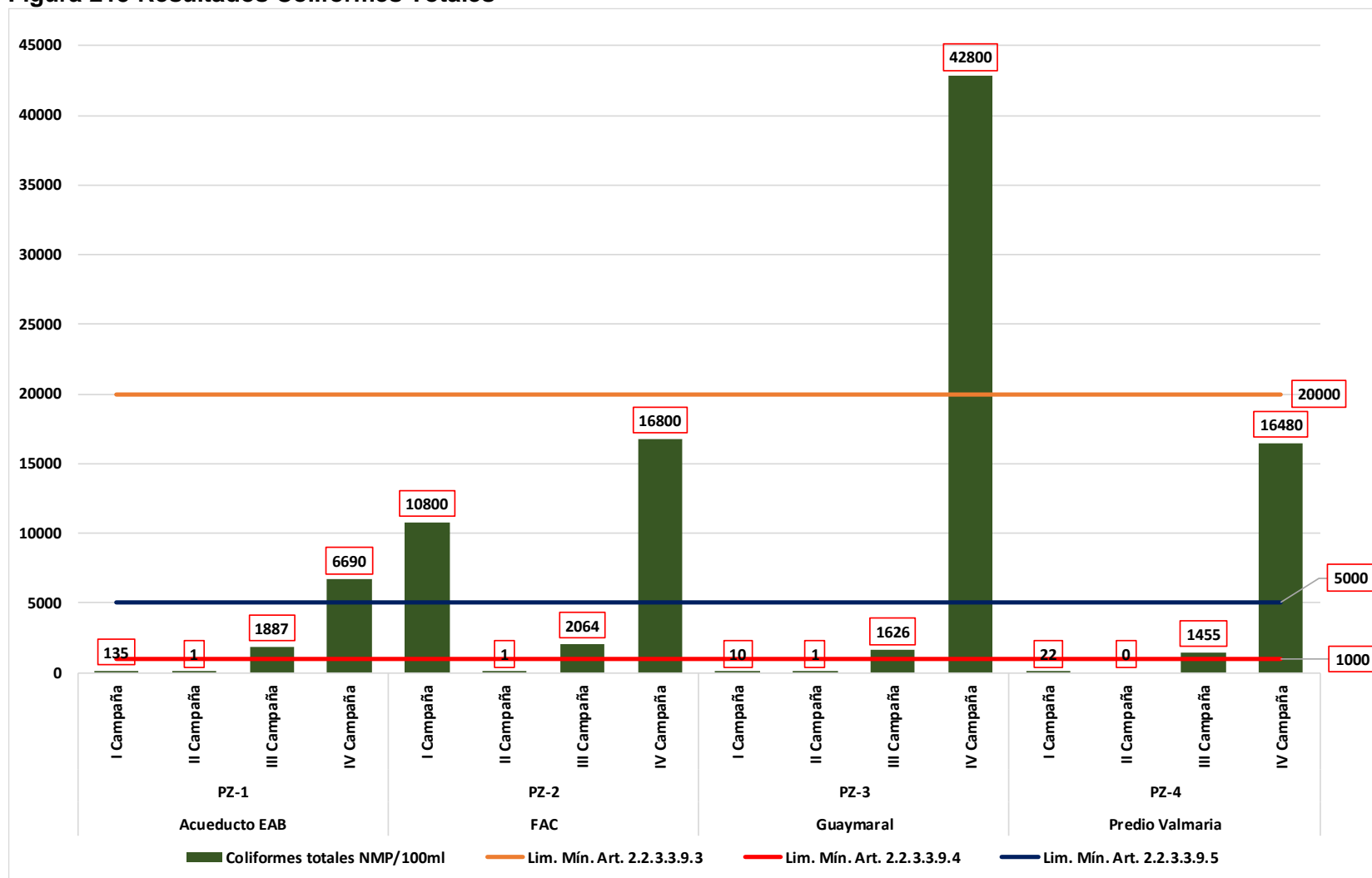
En cuanto al límite máximo del artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola), el Piezómetro 1- Acueducto EAB, IV Campaña, Piezómetro 2 – FAC, I y IV Campaña y Piezómetro 4 – Predio Valmaría, Campaña IV, estos sobrepasan la normatividad estipulada.

10.4.2.8 Otros Parámetros

Lo que refiere a pseudomona aeruginosa y estreptococos fecales presentan concentraciones bajas y en varios puntos inferiores al límite de detección de la técnica analítica utilizada por el laboratorio.

La cadaverina es el sugerente nombre dado a la amina que tiene el nombre técnico 1,5-diaminopentano, así mismo la putrescina es el sugerente nombre dado a la amina que tiene el nombre técnico de 1,4-diaminobutano. Estos compuestos se producen en la carne en descomposición y tienen un particular olor desagradable; en los puntos monitoreados se observa un reporte por debajo del límite de detección del método indicando que en este tipo de agua no hay afectación por parte de estos.

Figura 215 Resultados Coliformes Totales



Fuente: WSP, 2019.

10.4.3 Comparación de monitoreo de parámetros superficiales con subterráneos

Con el fin de determinar si las condiciones del recuro hídrico superficial (Quebradas, lagos, humedales) presenta alguna correlación con el sistema hídrico subterráneo, a continuación, se muestra una comparación de alguno de los parámetros físicos y microbiológicos que se monitorearon tanto en los puntos subterráneos (piezómetros), como superficiales (ríos, y quebradas, humedales).

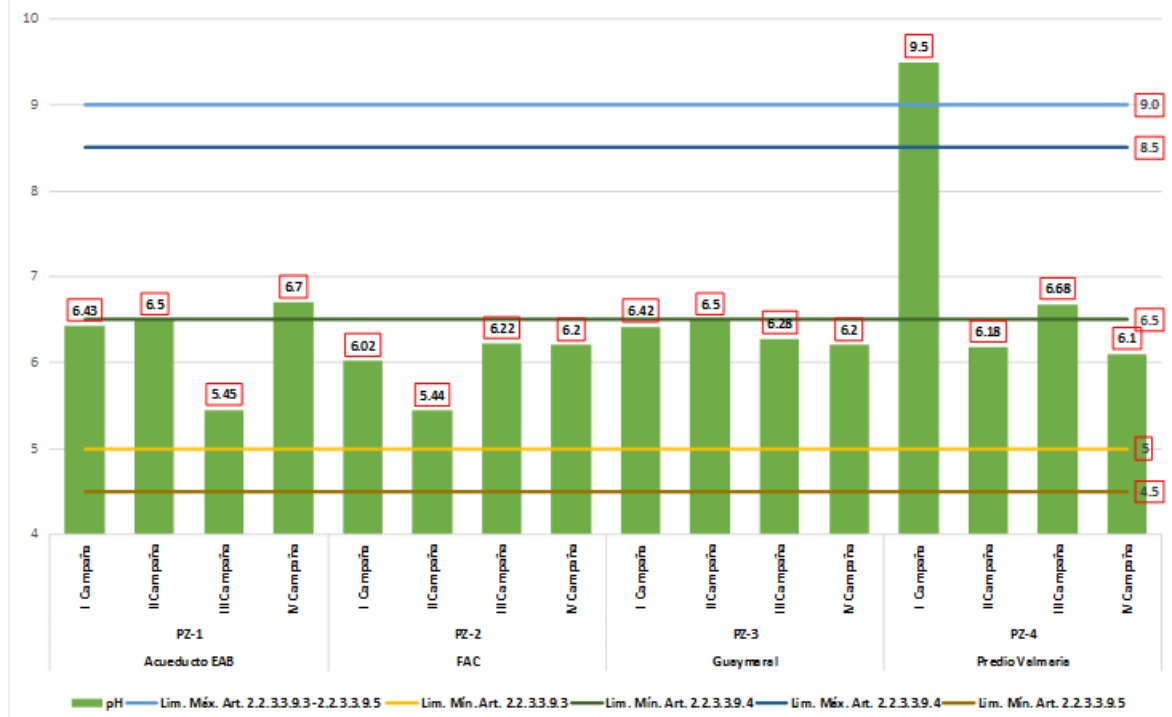
Comparación PH:

Figura 216 Resultados PH en fuentes superficiales-Quebradas y humedales



Fuente: WSP, 2019.

Figura 217 Resultados PH en piezómetros fuentes subterráneas



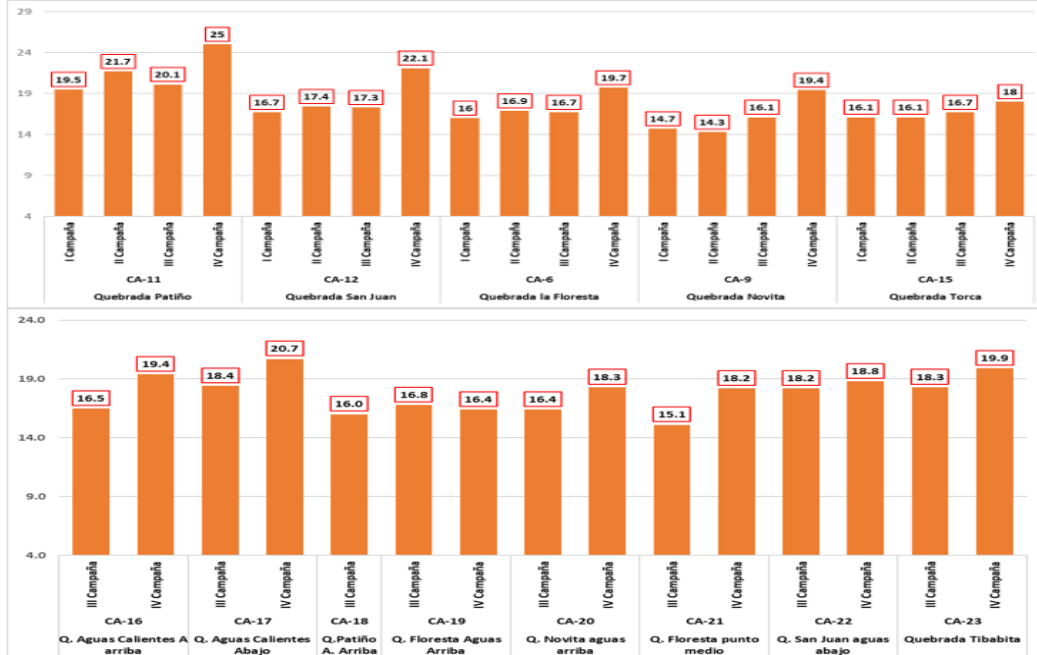
Fuente: WSP, 2019.

Se evidencia una clara distinción entre el tipo de agua, esto teniendo en cuenta que mientras en las fuentes superficiales como quebradas el agua no supera un pH de 7,9 en las subterráneas alcanza 9,5.

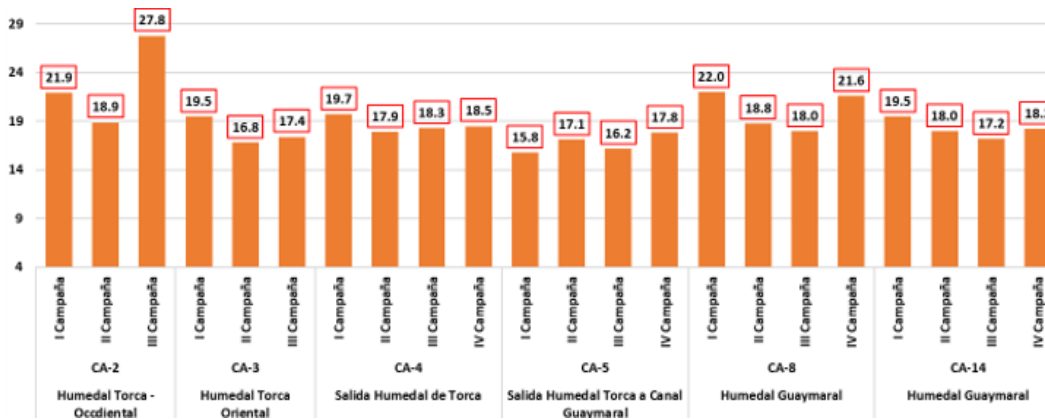
No obstante, si se observa los resultados de los humedales los niveles presentan una tendencia similar a las de los piezómetros, con valores de pH hasta de 8.7. Con este parámetro se infiere una posible interacción entre los dos tipos de sistemas, que como se vio en las direcciones de flujo los humedales actúan como zonas de descarga y zonas de tránsito para que se dé el proceso de recarga a los sistemas acuíferos.

Comparación temperatura:

Figura 218 Resultados temperatura en fuentes superficiales-Quebradas y humedales

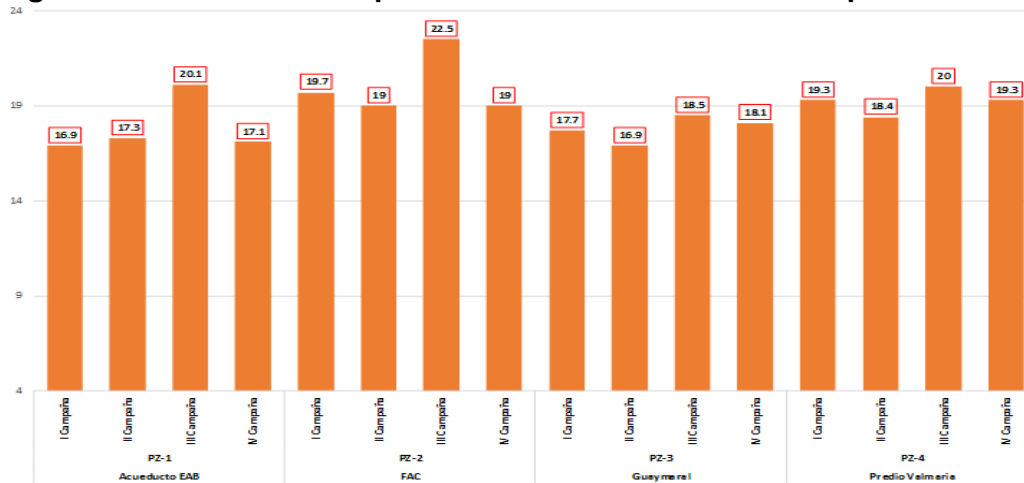


Humedales



Fuente: WSP, 2019.

Figura 219 Resultados temperatura en fuentes subterráneas piezómetros

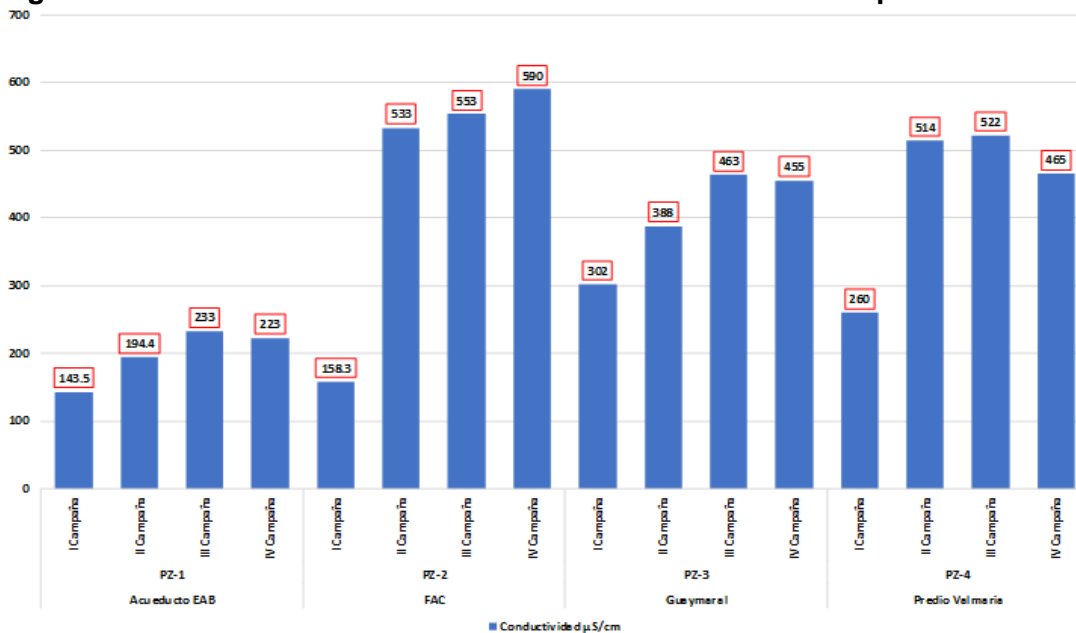


Fuente: WSP, 2019.

De igual manera en este parámetro se observa una tendencia similar entre humedales y piezómetros, pero que se diferencia drásticamente de los valores medidos en las quebradas. Por tanto, se valida el concepto de que no exista una conexión entre cuerpos de agua superficial como quebradas y los piezómetros, pero si una similitud con los humedales.

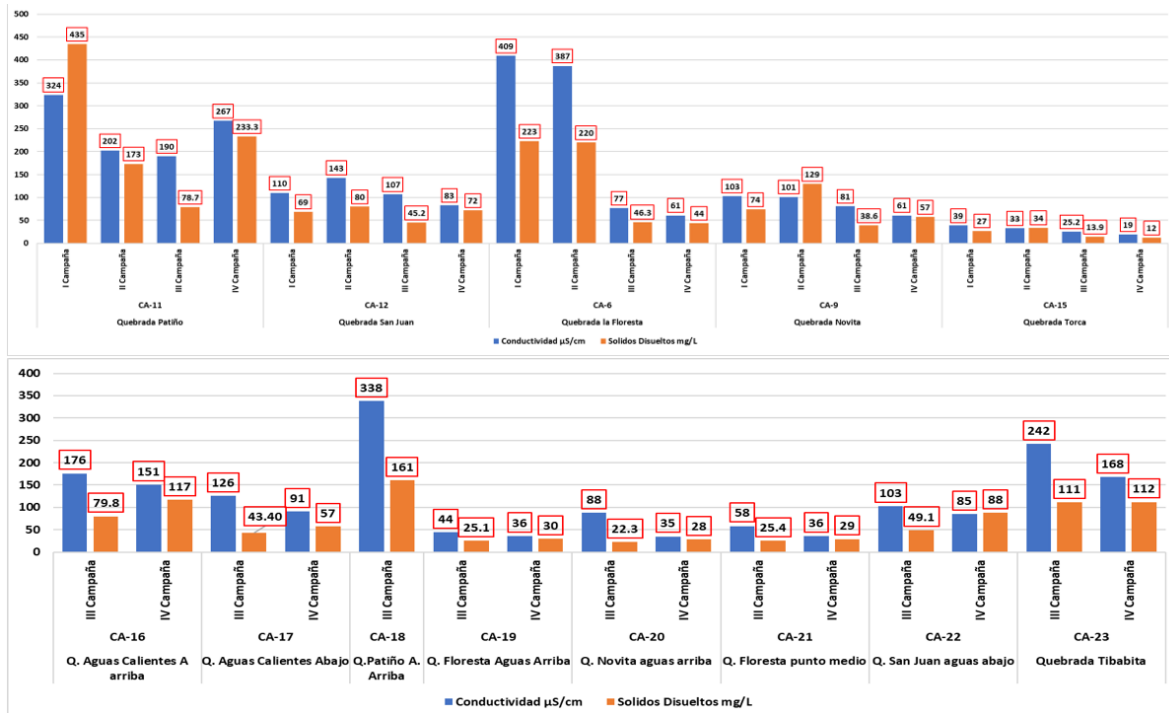
Comparación conductividad:

Figura 220 Resultados conductividad en fuentes subterráneas piezómetros

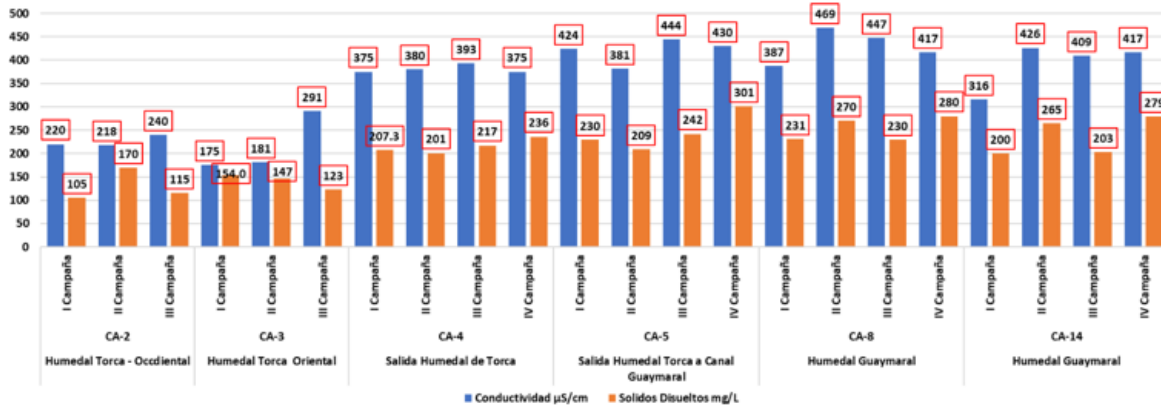


Fuente: WSP, 2019.

Figura 221 Resultados conductividad en fuentes superficiales-Quebradas y humedales



Humedales



Como se puede identificar en las anteriores figuras el comportamiento de la conductividad en las quebradas puede alcanzar niveles tan bajos como 19 µS/cm típico en aguas superficiales que tienen un movimiento continuo y en contacto con la superficie, lo contrario ocurre en los piezómetros y humedales donde las conductividades son más altas entre 590 469 µS/cm respectivamente.

10.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO

A continuación, se incluye el desarrollo del modelo hidrogeológico (conceptual y numérico), a partir de las variables descritas en todo este acápite, que incluye el monitoreo de los piezómetros, la dirección de flujo, el componente fisicoquímico y calidad del agua. Se tendrá en cuenta además los parámetros hidráulicos de los acuíferos calculados a partir de resultados de ensayo de permeabilidad hechos a los piezómetros y un análisis del modelo hidrológico que caracteriza la zona.

10.5.1 INFORMACIÓN ANTECEDENTE DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO EN EL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN

Se presenta el resumen del MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO SUBSUPERFICIAL O SOMERO EN EL PERÍMETRO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL, Convenio de asociación No SDA-CV 20161264 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018).

En Colombia el agua subterránea representa una gran reserva de abastecimiento, no sólo para consumo humano, sino principalmente para uso agrícola e industrial, especialmente en aquellas zonas donde el recurso hídrico superficial es limitado, ya sea por calidad o por cantidad. En este sentido, la mayoría de los estudios de aguas subterráneas realizados en el país, han sido desarrollados en acuíferos regionales, donde el mayor porcentaje del área es rural. Estos estudios, por lo general, están enmarcados en políticas del manejo integrado de los recursos hídricos, y son fundamentales para llegar a una gestión conjunta del agua en el territorio, a fin de garantizar una explotación sostenible del recurso.

El acuífero de Bogotá D.C., en particular representa un acuífero urbano de gran complejidad, en el que, para llegar a un modelo conceptual adecuado, es requerido considerar los procesos particulares que suceden en acuíferos someros que se extienden bajo un área urbanizada. Estos procesos son afectados por las intervenciones que se realizan en el subsuelo, como la instalación de infraestructura de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía), la construcción de obras subterráneas, la extracción de agua subterránea en la construcción de sótanos, el cambio del material de los primeros metros para construcción de la malla vial.

Este modelo de la Secretaría representa entonces, uno de los primeros ejercicios de investigación desarrollados en el país, que busca contribuir al conocimiento y entendimiento de los procesos que tienen lugar en los acuíferos urbanos, en particular, en los acuíferos someros. Los resultados esperados en este proyecto son muy atractivos de cara a los retos que el país afronta en la urbanización de ciudades intermedias, y renovación urbanística de las ciudades principales. Siempre garantizando una mejor calidad de vida para sus habitantes.

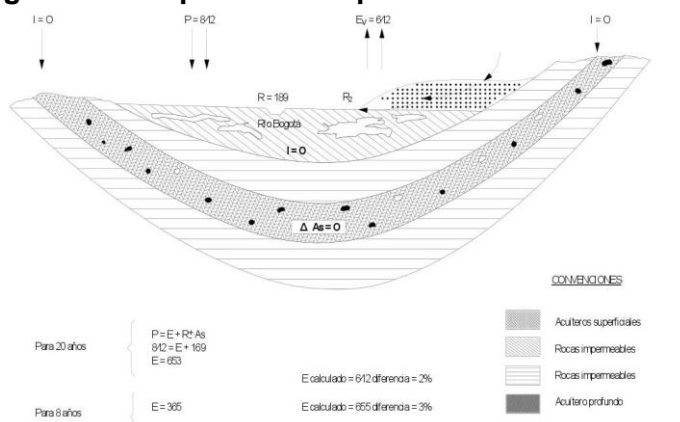
La sabana de Bogotá, que comprende la cuenca alta del río Bogotá y el área del Distrito Capital, es la región más industrializada y poblada de Colombia. Muchas de sus industrias y virtualmente todos los cultivos de flores están soportados por extracciones de agua subterránea. Algunos municipios hacen uso extensivo de este recurso para suministro potable. Desde los años 80-90, paralelamente al desarrollo agroindustrial, en los principales acuíferos de esta región se han registrado importantes descensos de los niveles

piezométricos, que han llevado varios expertos a concluir que se está utilizando más agua de las que se recarga y que, en algunos sectores, se deberían limitar futuros aprovechamientos de los acuíferos. Sin embargo, históricamente se han generado opiniones contrastantes sobre el tema de la recarga, cuyas estimaciones han variado por más de un orden de magnitud (desde aproximadamente 0 a 132 mm/año).

10.5.1.1 Antecedentes

De las primeras aproximaciones para la caracterización hidrogeológica fueron los estudios adelantados en datación del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá y Sus Implicaciones Hidrogeológicas. Geología Colombiana No. 15 (Rodríguez, 1986). Rodríguez parte del análisis del balance hídrico anual, que arroja un resultado de infiltración próxima a cero, para inferir que la cuenca de la sabana de Bogotá es una cuenca hidrogeológica cerrada, que no tiene ni entradas ni salidas de agua subterránea. Sin embargo, reconoce que los ríos y quebradas del área pueden recibir caudal base (ver Figura 222). Analizando los resultados de isótopos radioactivos (C-14 y Tritio) en muestras de aguas subterráneas tomadas de diferentes pozos de la sabana de Bogotá, se reportan edades del agua subterráneas de hasta varios miles de años (rango: agua moderna – 17,382 años basado en el método de Vogel). Los valores de infiltración, estimados mediante las edades del agua basadas en C-14, la profundidad de la muestra y la porosidad de la roca, resultan ser de unos pocos mm/año, excepto por dos pozos en las zonas de Madrid y Bojacá donde se reportan infiltraciones de 26 y 59 mm/año, respectivamente. Se observa que estos dos pozos se encuentran cerca de los cerros de Madrid y cerca de los cerros occidentales, potenciales zonas de recarga. Rodríguez afirma que las elevadas edades de algunos pozos que captan el Complejo Acuífero Guadalupe y ubicados cerca de la zona de recarga (i.e. pozo Madrid y Cartagena con edades de aproximadamente 8,000 y 17,000 años), indican que no hay recarga reciente debido a que no hay flujo en este acuífero y que se encuentra saturado desde hace miles de años. Adicionalmente, el autor reporta que todas las muestras de agua tomadas de la Formación Sabana (Cuaternario) presentan edades mayores a 5,000 años y sugiere que son sistemas acuíferos con recarga muy limitada. El reporte concluye que los acuíferos de la sabana de Bogotá están conformados por agua relativamente vieja y que la recarga a estos sistemas no es substancial.

Figura 222 Esquema conceptual del balance hídrico



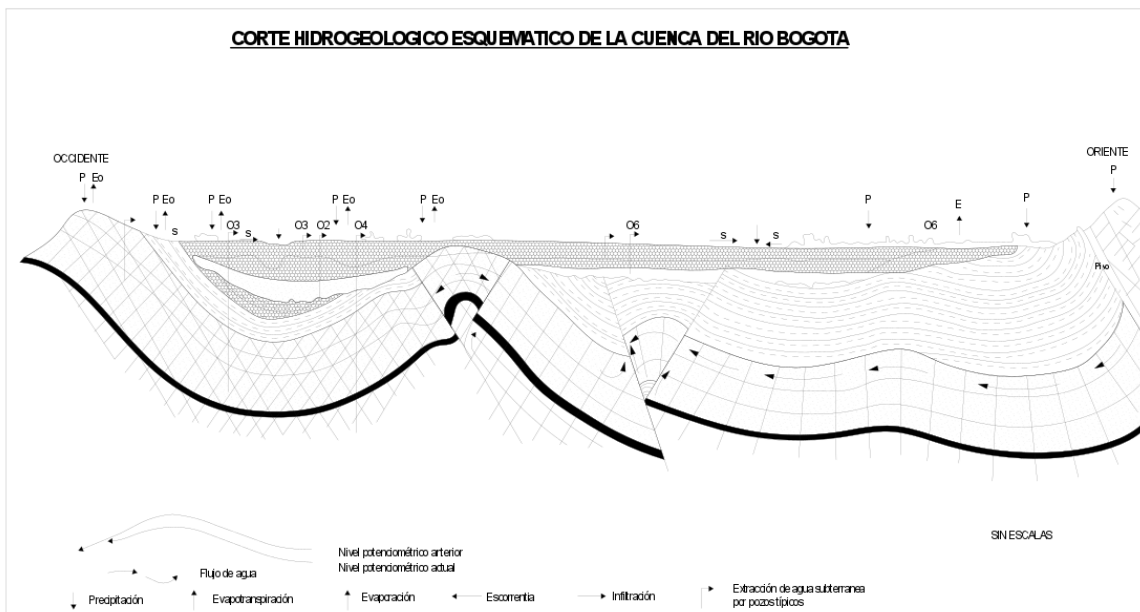
Fuente: Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá y Sus Implicaciones Hidrogeológicas. Geología Colombiana No. 15 (Rodríguez, 1986).

Otro estudio más reciente es el de Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Sociedad Colombiana de Geotecnia (Lobo-Guerrero Uscátegui, 1992). En este artículo Lobo-Guerrero resalta el problema de la sobreexplotación de los acuíferos, evidente en muchos sectores de la región que presentan descensos en los niveles piezométricos entre 3 y 5 m/año, causada por una tasa de bombeo total superior a la recarga del sistema acuífero. Estos fenómenos son observados no solamente en los depósitos no consolidados de la Formación Sabana sino también en el Acuífero Guadalupe. El autor no comparte el modelo conceptual de Rodríguez (1986), el cual asume que no hay recarga en los acuíferos de la sabana de Bogotá y que el acuífero Guadalupe sigue saturado de agua. El argumento contra Rodríguez sería que los niveles se están bajando rápidamente en ambos acuíferos y por lo tanto estos no siguen completamente saturados de agua. Adicionalmente, este descenso regional de los niveles estaría causando problemas de hundimiento de los suelos que afectan las construcciones y las vías.

En este trabajo Lobo-Guerrero presenta un corte hidrogeológico esquemático de la sabana de Bogotá (Figura 223), donde se observa que existen flujos ascendentes desde las formaciones cretácicas hacia la parte basal de los depósitos no consolidados o poco consolidados de las formaciones del Neógeno-Cuaternario. Se nota como el nivel piezométrico del período preindustrial haya disminuido como consecuencia de la extracción de las aguas subterráneas.

Las principales áreas de recarga de los depósitos cuaternarios eran [y potencialmente son] los abanicos aluviales presentes en las zonas de piedemonte, sin embargo, Lobo-Guerrero considera que con la progresiva urbanización e impermeabilización de la ciudad el rol de recarga de estas franjas ha venido disminuyendo.

Figura 223 Corte hidrogeológico esquemático de la sabana de Bogotá



Fuente: Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana (Lobo-Guerrero Uscátegui, 1992).

Seguido de este, tenemos como nuevo aporte la Elaboración del modelo hidrogeológico para los acuíferos de Santa Fe de Bogotá, D.C. Informe Final (PNUD-DAMA-Hidrogeocol, 1999). El objetivo de este estudio fue elaborar el modelo hidrogeológico conceptual y numérico del área de jurisdicción del DAMA (Distrito Capital), sin embargo, la firma consultora Hidrogeocol analizó una zona más grande (2184 km²) para tener en cuenta los aspectos hidrogeológicos regionales. El modelo geológico desarrollado por Hidrogeocol subdivide el área de estudio en 12 bloques tectónicos delimitados por fallas longitudinales y transversales, que pueden comportarse como barreras impermeables o facilitar el flujo de agua a través de ellas. El balance hídrico sugiere que en el área de Bogotá la recarga real y los bombeos de agua subterránea son similares, ambos del orden de 1m³/s, siendo la recarga potencial del orden de 2 m³/s. La calibración del modelo numérico en estado estacionario (antes de la explotación) se realizó asumiendo que la tabla de agua estuviera cerca de la superficie, mientras que la calibración en estado transitorio se apoyó en datos esporádicos de pozos, aparentemente debido a la falta de una red de monitoreo de agua subterránea. Hidrogeocol considera que los descensos pronunciados de niveles piezométricos que se observan en muchos pozos se pueden explicar con la recarga pequeña, las bajas a media permeabilidades de los acuíferos y su bajo coeficiente de almacenamiento. Las simulaciones numéricas sugieren que los tiempos de tránsito desde la zona de recarga hasta la ciudad son del orden de 10,000 años [lo cual sugiere que agua subterránea con miles de años no necesariamente implica que esta no se mueva, es decir que no haya flujo en el acuífero según el modelo de Rodríguez (1986)]. Hidrogeocol sugiere que para profundidades mayores a 600m (Acuífero Guadalupe) aún se podría bombear un caudal adicional de 0.5 m³/s, llegando a un total de extracción de 1.5 m³/s.

Posteriormente se presenta la Caracterización Geoquímica e Isotópica de los Acuíferos de la Cuenca Alta de la Sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2001). En este estudio se reportan los resultados de un convenio de cooperación entre INGEOMINAS (hoy en día Servicio Geológico Colombiano) y la CAR para analizar la hidrogeoquímica (iones mayoritarios) e isotopía (isotopos estables y radioisótopos) de diferentes componentes del ciclo hidrológico en la sabana de Bogotá. Se analizaron muestras tomadas de 95 pozos representativos de los diferentes acuíferos de la región, además se tomaron muestras de lluvia, manantiales, ríos y lagunas. En las zonas de recarga del acuífero Guadalupe, así como en los depósitos cuaternarios de piedemonte prevalecen las facies bicarbonatadas-cálcicas (Ca-HCO₃), mientras que en los pozos profundos del Guadalupe cubiertos por sedimentos cuaternarios y en los mismos sedimentos fluvio-lacustres predominan las facies bicarbonatadas-sódicas (Na-HCO₃). En algunos manantiales con flujos profundos se presentan aguas cloruradas-sódicas (Na-Cl), por ejemplo, en el manantial de Tabio que presenta además temperaturas mayores a 40oC, y cuya alimentación esta posiblemente relacionada con flujos salinos profundos procedentes de la Formación Chipaque (Cretácico Inferior) que aflora en los alrededores. A lo largo del flujo [sectores profundos del acuífero] predomina un ambiente reductor, con presencia de hierro disuelto, sulfatos y manganeso disuelto.

Las conductividades eléctricas (CE) de los sedimentos cuaternarios aumentan desde valores de 10uS/cm en los piedemontes hasta valores de 1,200 uS/cm en el centro de la cuenca de la Sabana de Bogotá, donde el espesor del Cuaternario es mayor. Aguas arriba en el valle de Subachoque se presentan conductividades de hasta 150 uS/cm mientras que aguas arriba del valle de Chicú se presenta una anomalía hidrogeoquímica con CE hasta de 1,500-2,000 uS/cm, las cuales son atribuidas a la influencia de fuentes similares a las

que generan los manantiales termales de Tabio. Los cloruros (Cl) aumentan desde los bordes hacia el centro de la Sabana, alcanzando concentraciones máximas de 95.7 mg/L. En algunos sectores se presentan valores considerablemente más altos, notoriamente cerca de Tabio (343.9 mg/L) y arriba de la población de Gachanzipá, en el valle de Bogotá (249,9 mg/L), que se consideran como anomalías hidrogeoquímicas. La presencia de material orgánico en los sedimentos del Neógeno-Cuaternario (turbas) enriquece este acuífero de Carbono Orgánico Disuelto (COD), el cual aumenta progresivamente hacia el centro de la cuenca Cuaternaria, donde se detecta la presencia de metano. El carbono de estos materiales orgánicos representaría la fuente para la formación del metano (CH₄).

Las características geoquímicas del acuífero Guadalupe están controladas por el grado de fracturación, y varía espacialmente. De acuerdo con INGEOMINAS, de forma general, el flujo en esta unidad procede desde las zonas de afloramiento (cerros) hacia las zonas más profundas del acuífero. Lo soportan las bajas CE (<200 uS/cm) en las zonas de piedemonte y en los afloramientos del sector Muña y Facativá, mientras que, en los sectores más profundos de la cuenca, la CE aparentemente aumenta hasta 600 uS/cm. [se trata de todas formas de valores relativamente bajos de conductividad hidráulica que estarían reflejando, la escasa reactividad de los minerales que componen el Complejo Guadalupe.

El análisis de isótopos estables del agua indica que el sistema de flujo (ríos principales, manantiales de menor altura, aljibes) tienen un rango de $\delta^{18}O$ entre -9.0 y -7.0 ‰, el cual está asociado con las precipitaciones de la zona plana. INGEOMINAS considera que este sistema podría estar hidráulicamente desconectado del sistema profundo, que presenta mayor variabilidad en los isótopos estables y es en general más empobrecido de -9.5 ‰ $\delta^{18}O$, indicando por lo tanto una recarga a mayor altura. El muestreo de isótopos estables del agua (Deuterio y O-18) se realizó también en los ríos y manantiales de la zona plana durante la estación seca. Los resultados fueron similares para estos dos tipos de cuerpos de agua, indicando que se tiene un componente de la recarga a cotas menores de 2,700m, y esta recarga es la que alimenta el flujo base de los ríos. [esta consideración es muy importante porque estaría soportando la presencia de flujos subterráneos subsuperficiales que forman el flujo base hacia los drenajes principales y estarían desconectados de los sistemas acuíferos más profundos.

Las edades del agua subterránea se calcularon con base en el análisis de C-14, por medio del método de Pearson et al. (1970) para la zona de recarga y del código NETPATH (Plummer et al., 1994) para corregir la determinación de las edades en los sectores con presencia de metano, debido a que el metano disuelto en el agua diluye la concentración de C-14 y produce un efecto de envejecimiento adicional. Las edades de las aguas subterráneas en el Guadalupe varían entre ciento de años en las zonas de recarga hasta más de 15,000 años en pozos del acuífero Guadalupe ubicados en las áreas de piedemonte. La aplicación del programa NETPATH en los sedimentos del Neógeno-Cuaternario en el valle de Subachoque produjo edades entre 7,400 y 25,500 años, con los primeros representativos de la parte media del valle y los segundos de sectores alejados de las zonas de recarga. En el Cuaternario por lo tanto el agua subterránea circula y se renueva muy lentamente. Según INGEOMINAS, estas consideraciones tienen implicaciones para la regulación del recurso hídrico subterráneo de la unidad cuaternaria que es la más explotada de la región.

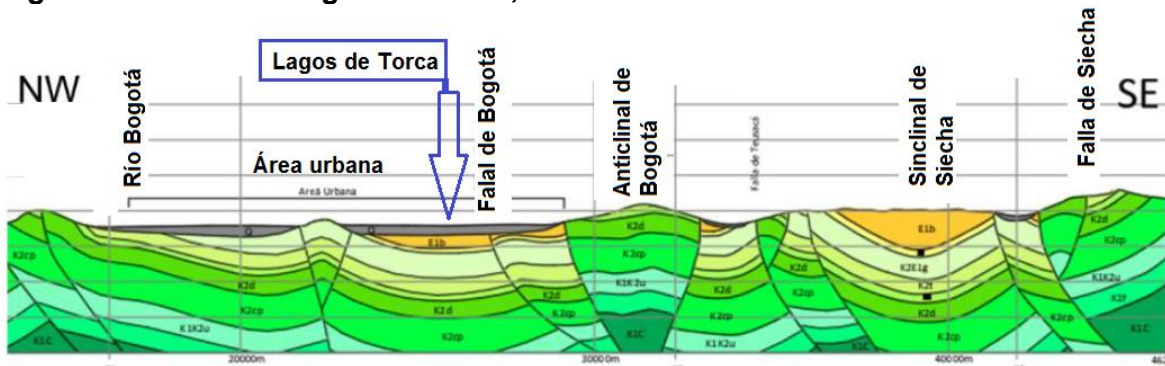
10.5.1.1.1 Modelo hidrogeológico conceptual general

Realizando un perfil NE-SW regional de la Sabana De Bogotá, se observa que el área de estudio Lagos de Torca se localiza sobre la Formación Sabana, suprayaciendo el sinclinal de Bogotá relacionado a unidades de edad Cretácico superior – Paleógeno, por otro lado, es evidente el acuñamiento de la Formación Sabana al E del área de estudio, coherente con lo reportado al espesor de la Formación Sabana para el área de Lagos de Torca (170 m) (Ver Figura 224).

La Formación Sabana está compuesta por intercalaciones de arcillas, arcillas limosas, arcillas arenosas, arenas, en general se trata de una unidad no consolidada de capas plano-paralelas. Según estudios de Geofísica realizados, se reporta un espesor de la formación de 170 m, sin embargo, al centro de la cuenca (Funza) reportan espesores de 320 m.

La Formación Sabana conforma un acuífero multicapa que caracteriza la zona de estudio y está definido por valores de conductividad hidráulica que varían entre permeables a poco permeables encontrándose acuíferos libres a confinados. Esta formación es de extensión regional, está conformada por arcillas orgánicas, turbas, arcillas limo arenosas y arenas (arcillosas) intercaladas. El acuífero reporta un espesor máximo de 320 m, transmisividades (T) entre 30 y 204 m²/d y permeabilidades (K) de 1 a 4 m/d (Valores obtenidos de la base de datos de pozos. PUJ-SDA, 2018)

Figura 224 Perfil Geológico NW – SE,



Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018).

Las direcciones de flujo sugieren una dirección preferencial SE - NW con mayor componente al W, constituyendo el humedal de Torca una zona de descarga, se presentan facies hidrogeoquímicas Bicarbonatadas Sódicas (Na-HCO₃), seguidas por las Bicarbonatadas Cálccicas (Ca-Na-HCO₃) y unas pocas muestras Sulfatadas Sódicas (Na-SO₄), que sugieren un tiempo corto a moderado (pueden variar de días meses hasta años de residencia) conformando una zona de tránsito con dirección SE-NW como lo sugieren las direcciones de flujo.

El Acuífero de la Formación Sabana de extensión regional libre a semiconfinado (se sugiere realizar pruebas de bombeo 72 h y determinar parámetros hidráulicos que permitan establecer el tipo de acuífero en el área de estudio), se extiende a lo largo de la Sabana de Bogotá, es un acuífero multicapa de extensión regional, según estudios de Geofísica realizados, para se reporta un espesor de 170 m, sin embargo al centro de la cuenca

(Funza) reportan espesores de 320 m, está compuesto por intercalaciones de arcillas, arcillas limosas, arcillas arenosas, arenas, en general se trata de una unidad no consolidada de capas plano paralelas, las direcciones de flujo sugieren una dirección preferencial SE - NW con mayor componente al W, constituyendo el humedal de Torca una zona de descarga, se presentan facies hidrogeoquímicas Bicarbonatadas Sódicas (Na-HCO₃), seguidas por las Bicarbonatadas Cálcidas (Ca-Na-HCO₃) y unas pocas muestras Sulfatadas Sódicas (Na-SO₄), que sugieren un tiempo corto a moderado (pueden variar de días meses hasta años de residencia) conformando una zona de tránsito con dirección SE-NW como lo sugieren las direcciones de flujo, (*Secretaría Distrital de Ambiente, 2018*).

El producto del volumen de la zona no saturada y la porosidad efectiva, obedece al volumen de agua que puede ingresar al sistema antes de saturar el acuífero de la Formación Sabana, este volumen se estimó a partir del área del proyecto (18717500 m²) y el espesor promedio de la zona no saturada la cual corresponde al valor medio del nivel freático (1,52 m), la porosidad efectiva con la que se realizó este cálculo obedece a lo reportado por Sanders (Sanders L., 1998), y las observaciones realizadas de los registros de perforación realizados para la construcción de los piezómetros se tomó el menor valor para simular el escenario más crítico (porosidad efectiva de 0.1). Respecto a lo anterior el volumen libre en la zona no saturada corresponde a 2845060m³ (*Secretaría Distrital de Ambiente, 2018*).

10.5.1.1.2 Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2002).

En este reporte los autores reconocen que existen importantes diferencias sobre el modelo hidrogeológico de la región.

Rodríguez (1994) insiste que es una cuenca cerrada, mientras que Álvarez (1997) y Van der Hammen (1998) afirman que se está extrayendo más agua subterránea de la que se recarga naturalmente [i.e. la cuenca hidrogeológica no es cerrada]. Por lo tanto, este estudio sugiere la necesidad de ampliar el conocimiento hidrogeológico de la sabana de Bogotá a nivel regional, a partir del conocimiento de su tectónica y geología estructural.

Interpretaron imágenes Landsat a escala 1:100.000, en falso color, para definir el esquema tectónico de la región, y precisar los principales lineamientos tectónicos regionales. La geología estructural se revisó posteriormente con base en los datos del Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos de INGEOMINAS, sondeos eléctricos verticales y estudios de gravimetría realizados por INGEOMINAS y otras empresas consultoras.

Las fallas regionales cartografiadas en trabajos anteriores tienen esencialmente dirección NE (fallas longitudinales), sin embargo, en este estudio se identifican también algunas fallas regionales con rumbo NW (fallas transversales), que no necesariamente coinciden con las fallas propuestas previamente. Los dos sistemas de fallas forman un reticulado.

Las fallas longitudinales son fallas con mecanismos inversos (fallas de cabalgamiento y retrocabalgamiento) que bordean los cerros y que tienen transporte tectónico hacia NW o SE. El movimiento de estas fallas influyó la morfología que actualmente se observa en la Sabana de Bogotá. Sobre la existencia de las fallas transversales hay opiniones diferentes, sin embargo, el trabajo de INGEOMINAS se basa en las conjeturas de Gómez (1985 y 1991) y Reyes (1993), además de las observaciones de Velandia (1997), que resaltan la importancia de estas fallas en el esquema tectónico de la sabana de Bogotá.

Las fallas transversales son fallas de rumbo que estarían conformando un esquema de bloques tectónicos transversales, a su vez delimitados por fallas longitudinales.

Estos bloques tectónicos pueden estar controlando el comportamiento del agua subterránea, precisamente INGEOMINAS considera que las fallas con mecanismos inversos (de cabalgamiento) estarían actuando como barreras “impermeables”, aislando las zonas de recarga, mientras que las fallas transversales son consideradas generalmente de carácter distensivo o extensional, que las convierte en excelentes conductoras de agua y propicias para la recarga de acuíferos, especialmente en sectores intensamente fracturados. De acuerdo con este concepto, la Falla de Bogotá (longitudinal) estaría actuando como barrera para la recarga de los acuíferos de los depósitos cuaternarios, recarga que se concentraría a lo largo de las numerosas fallas transversales que afectan los cerros, particularmente las que tienen continuidad hacia NW. Lo demuestra el hecho que es posible encontrar termales asociados a estas fallas transversales [esta última observación está soportada por los perfiles geofísicos del Metro en la zona de piedemonte que muestra, además de la Falla de Bogotá, numerosas fallas transversales a esta.

Para entender mejor la hidrogeología de los depósitos cuaternarios es importante resumir la evolución de la sedimentación cuaternaria, basada en el estudio de INGEOMINAS. La laguna de la sabana de Bogotá se formó al finalizar el Plioceno Medio-Superior, como resultado del levantamiento final de la cordillera oriental, este episodio llevó a la sedimentación de la Formación Tiltatá (depósito fluvio-lacustre de canal). Durante el Pleistoceno, la alternancia de épocas frías, húmedas y secas, marcadas por la variación de precipitación anual y periodos glaciales e interglaciales (deshielo), causaron fluctuaciones importantes del nivel de la laguna, que llevo a la deposición de diferentes materiales (capas de turbas intercaladas con arcillas lagunares, sedimentos fluviales y fluvioglaciales). El aporte de las quebradas desde los cerros produjo la formación de depósitos de abanico aluvial (también conocidos como complejos de conos en los cerros orientales). En la última glaciación (40,000-28,000 años), desapareció completamente la laguna de la sabana de Bogotá y en el periodo post-glacial subsecuente, que se extiende hasta el Holoceno (10,000 años-actualidad), se originó un cambio de ambiente lacustre a ambiente fluvial con la depositación de sedimentos aluviales por parte de los principales drenajes.

El modelo hidrogeológico de INGEOMINAS identifica, a nivel regional, tres unidades hidroestratigráficas principales, que están limitadas lateralmente por la estructura de bloques tectónicos antes descrita:

- Complejo Acuífero de los Depósitos No Consolidados;
- Complejo Acuitardo del Paleógeno y
- Complejo Acuífero Guadalupe.

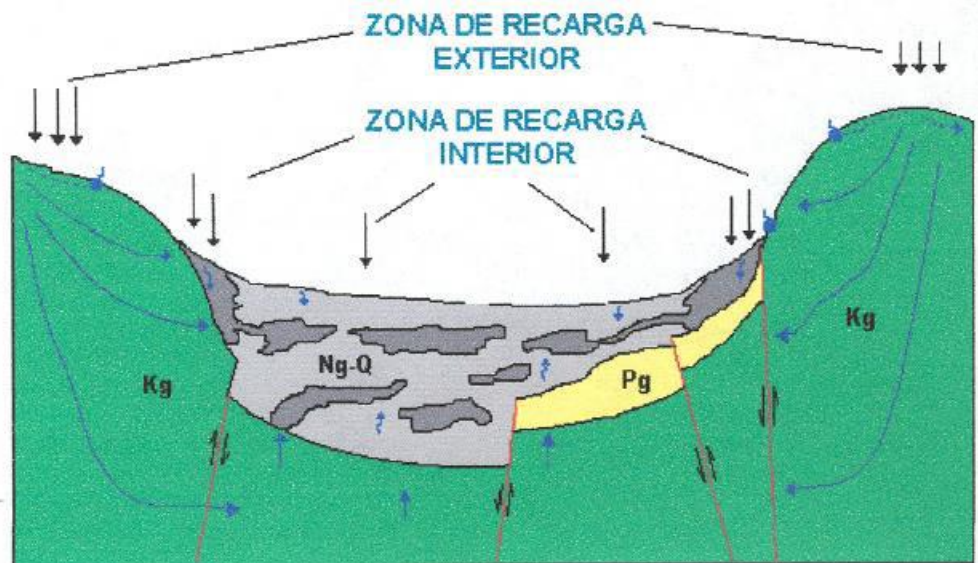
El espesor de los depósitos no consolidados, en la parte central de la cuenca, supera los 500m (sector Funza-Engativá), sin embargo, estos depósitos se caracterizan por cambios bruscos en la litología (variaciones de facies) por lo tanto forman acuíferos locales de extensión limitada y poca importancia hidrogeológica.

El Complejo Paleógeno se considera, a nivel regional, como relativamente impermeable, a pesar de la presencia de pequeños niveles de areniscas en las Formaciones Usme, Bogotá, Guaduas (inferior), siendo la única unidad acuífera la Formación Cacho, presente en el sector centro-oriental de la sabana. Debido a la estructura tectónica de la sabana de Bogotá, el Complejo Paleógeno está ausente en la parte central y occidental de la cuenca artesiana de la sabana de Bogotá.

El Complejo Acuífero Guadalupe aflora en los cerros presentes en los alrededores de la sabana de Bogotá y representa un acuífero de elevada importancia regional, que está confinado abajo por la Formación Chipaque [considerada como el basamento “impermeable” de la sabana de Bogotá] y registra espesores máximos de 950m.

Para la cuenca de la sabana de Bogotá, INGEOMINAS considera dos (2) zonas de recarga, una exterior y una interior (Figura 225).

Figura 225 Modelo hidrogeológico esquemático de la cuenca de la sabana de Bogotá



Fuente: Modelo hidrogeológico esquemático de la cuenca de la sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2002)

En la zona interior, la zona plana de la sabana, la recarga se genera por infiltración producto de las precipitaciones [recarga directa], y es mayor hacia las zonas de piedemonte donde la presencia de depósitos no consolidados de grano más grueso facilita la infiltración de la lluvia. INGEOMINAS considera también la recarga por infiltración de las fuentes superficiales (rio Bogotá y sus tributarios) que se concentra en la parte más cercana a los piedemontes por encima de la cota 2600 msnm, debido a que los cauces de la parte plana son pocos profundos y desconectados de los acuíferos principales.

El aporte de los embalses presentes en la sabana (superficie total de 62 km²) es considerado mínimo, porque estos suprayacen rocas sedimentarias del Paleógeno que son de baja permeabilidad. Los balances hídricos diarios realizados por la CAR en estos embalses soportarían estas consideraciones. INGEOMINAS reconoce también que, dentro la zona de recarga interior, las superficies irrigadas (425 km²) podrían aportar agua a los sistemas acuíferos, sin embargo, no se tenían datos al respecto para este estudio. La zona de recarga exterior (1000 km²) coincide con los afloramientos de las rocas del Complejo Acuífero Guadalupe, donde hay procesos de recarga directa por lluvia, infiltración de corrientes superficiales, y probablemente recarga por fenómenos de condensación del vapor de agua contenido en las fracturas de las rocas como han argumentado algunos autores (Trombe, 1988; Klimochkin, 1978).

Las diferencias altimétricas entre la planicie y las zonas de recarga exterior producen en el Complejo Acuífero Guadalupe sistemas confinados de alta presión, los cuales contribuyen a la alimentación de la parte inferior del sistema Neógeno-Cuaternario (flujos ascendentes), a través de las que INGEOMINAS denomina “ventanas hidrogeológicas”, por ejemplo, fallas, como lo demuestra la presencia de aguas termales en algunos lugares de la sabana de Bogotá. De acuerdo con la modelación numérica preliminar realizado por INGEOMINAS, en los depósitos cuaternarios se estarían generando dos tipos de flujos, ascendente desde el complejo Acuífero Guadalupe y descendente causado por infiltración de las lluvias y aguas superficiales, especialmente en las zonas de piedemonte. La descarga natural de los acuíferos se realizaría a través de manantiales y, secundariamente, a través de las corrientes superficiales en la zona de piedemonte.

10.5.1.1.3 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) – Agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA), 2003. Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá. Informe Final

Este estudio fue comisionado por la EAAB y realizado con el apoyo de los expertos de JICA. Este tuvo varios objetivos, a saber: (i) evaluar el potencial de los recursos hídricos subterráneos; (ii) investigar la situación del medio ambiente relacionada con estos recursos, (iii) formular el plan de desarrollo de las aguas subterráneas y, (iv) llevar a cabo la transferencia de tecnología al personal de la EAAB. El potencial de los acuíferos, JICA identifica los posibles mecanismos de recarga del complejo acuífero Cuaternario y del acuífero Guadalupe.

Se infiere que el primero se podría estar recargando de los ríos y los sedimentos de las zonas de piedemonte, mientras que el segundo de las montañas que rodean la sabana de Bogotá [aquí es oportuno resaltar que el estudio difiere de la conceptualización de algunos trabajos (Rodríguez, 1978, 1986) donde se considera la sabana de Bogotá como una cuenca hidrogeológica cerrada.

En este estudio el balance hídrico parte de la estimación de la precipitación y del coeficiente de escorrentía. Es importante anotar que JICA considera el aporte de la descarga de la red de alcantarillado al caudal del río Bogotá y resta este aporte de la escorrentía observada en el río Bogotá para poder estimar el caudal real sin aportes.

La recarga estimada por JICA se basa en una ecuación de balance hídrico que contempla la estimación de la precipitación, evapotranspiración real (estimada a través del balance hídrico del suelo) y la escorrentía total (suma de la escorrentía directa de la cuenca y del caudal base). Cabe anotar que el balance hídrico del suelo se alimentó con datos de precipitación y evaporación total diaria (aproximadamente 8 años de datos). Los resultados sugieren una recarga promedio de 144 mm/año, equivalente al 18% de la precipitación promedio anual. El balance hídrico de JICA (Figura 226).

Figura 226 Balance hídrico a nivel anual de la sabana de Bogotá

Artículo	mm/año	m3/año	Tota l%	% de balance de aguas subterráneas
· Precipitación anual	802	108.5	100.0	-
· Evapo-transpiración anual	430	58.0	53.6	-
· Escorrentía superficial anual	228	31.0	28.4	-
· Recarga anual de agua subterráneas	144	19.5	18.0	100.0
- Uso anual de aguas subterráneas	27	3.7	3.4	18.8
- Ingreso anual de aguas subterráneas al Área de Estudio	8	1.1	1.0	5.6
- Salida anual de aguas subterráneas del Área de Estudio	125	16.9	15.6	86.8

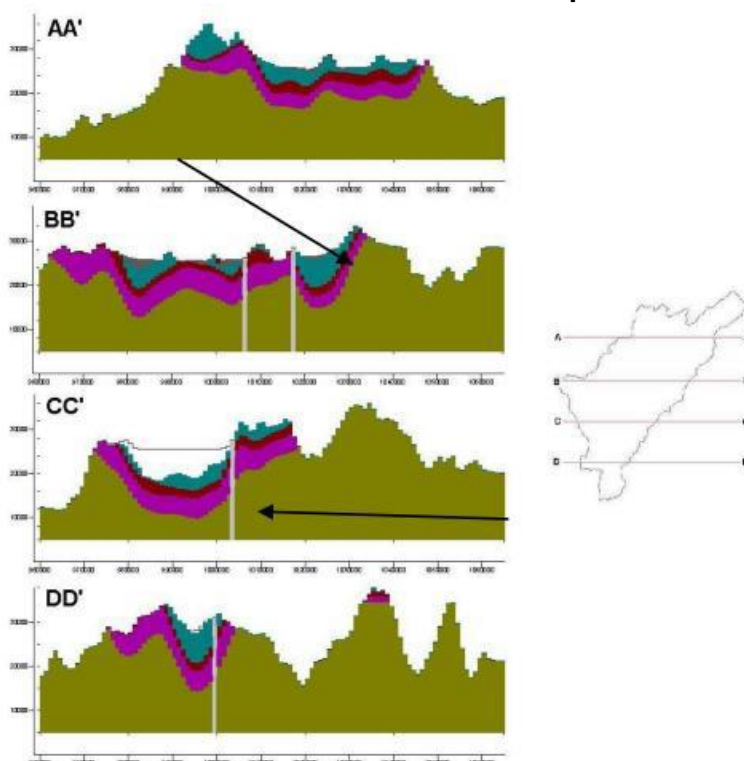
Fuente: EAAB-JICA (2003).

El JICA desarrolló también una simulación de aguas subterráneas con el código Modflow. Inicialmente se realizó una simulación a nivel regional (32,000 km²), abarcando un área del tamaño aproximado del departamento de Cundinamarca. Con esta simulación JICA identificó una salida de aguas subterráneas hacia el Valle del Magdalena. Sucesivamente realizó una simulación más detallada en el área de la sabana de Bogotá.

Los resultados de las simulaciones sugieren que:

- Antes del desarrollo, las aguas subterráneas de la sabana de Bogotá fluyen hacia el valle del Magdalena,
- Después de desarrollo de los acuíferos, se incrementó el flujo hacia los campos de pozos de bombeo,
- El flujo de agua subterránea no está limitado dentro del área de estudio en el sentido que, a medida que aumenta la extracción, la influencia del bombeo regional se extenderá afuera de los límites del área de estudio.

Figura 227 Estructura del modelo numérico construido por JICA



Fuente: EAAB-JICA (2003)

10.5.1.1.4 Estudio del Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes basado en el manejo Integrado de Recursos Hídricos en la República de Colombia. Informe Final

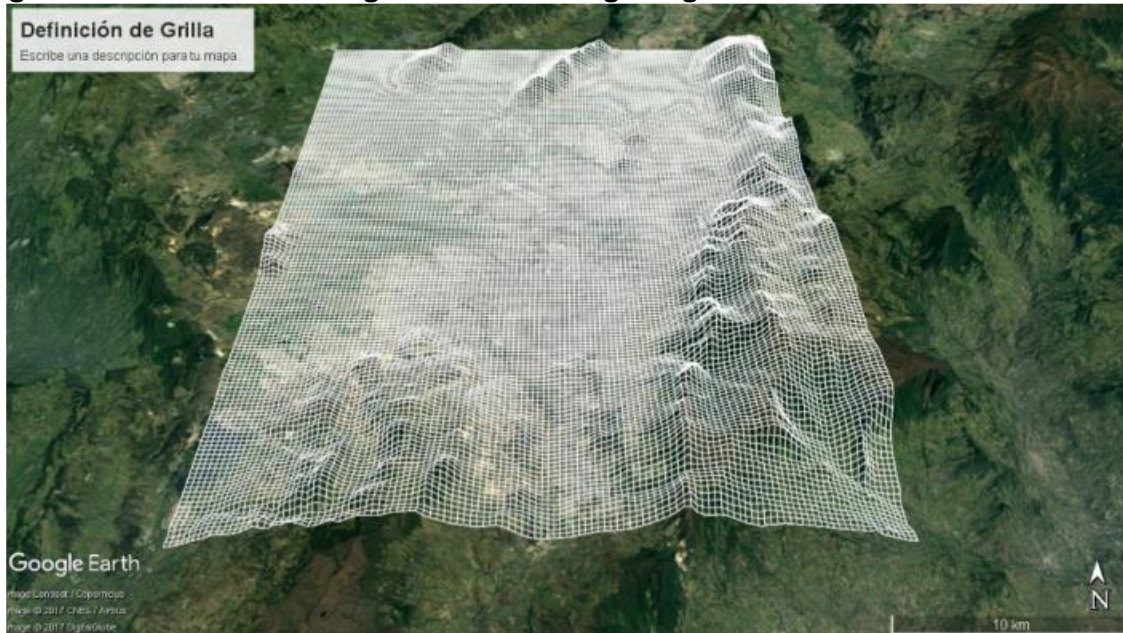
El objetivo principal consistió en desarrollar el Plan Maestro y el Estudio de Factibilidad (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) – Agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA), 2009) para el suministro de agua a la ciudad de Bogotá durante situaciones de emergencia, a través del uso del agua subterránea, con miras al año 2020 para su puesta en marcha. El estudio propuso la construcción de 66 pozos de agua subterránea en el acuífero Guadalupe, distribuidos a lo largo de los cerros orientales y del sur de Bogotá se entiende que, hasta la fecha, la EAAB no obtuvo los necesarios permisos ambientales para la fase exploratoria en los cerros orientales, zonas declaradas reservas forestales, y que logró realizar solo algunos pozos a cotas inferiores caracterizados por rendimientos hídricos inferiores a los esperados.

Específicamente este modelo se ajustó implementando un modelo geológico 3D con la herramienta RockWorks v17. El objetivo de este modelo es encontrar una representación espacial de las formaciones principales que representan la cuenca intramontana. Este modelo se encuentra guiado en superficie por la cartografía geológica propuesta por (SDA, 2013) a escala 1:25000. La disposición y continuidad de las diferentes unidades en profundidad se encuentran orientadas por la evolución geológica de la cuenca y columna estratigráfica esquemática propuesta por (Thomas van der Hammen & Hooghiemstra, 1997) y (K. Helmens, 1990), así mismo, por la interpretación litológica de los registros litológicos

recopilados para este trabajo. Sin embargo, temas de principal debate en la actualidad como conceptos relacionados a la extensión, continuidad y espesores de formaciones de principal interés hidrogeológico como la Formación Tilatá, autores como (A. S. Lobo-Guerrero, 1996), (Álvarez, 1998) y (Torres et al., 2005) fueron de gran importancia para determinar estos temas en el modelo.

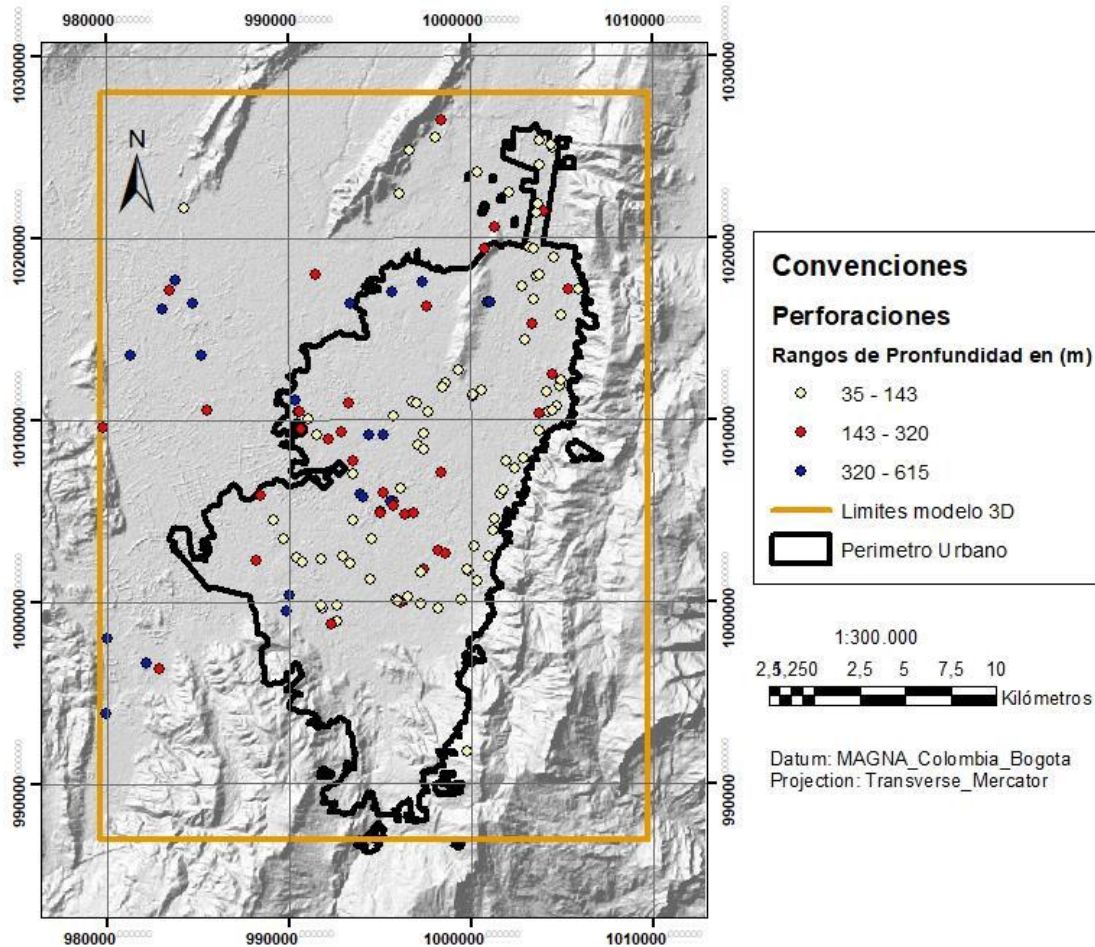
El modelo corresponde inicialmente al cubo delimitado por las coordenadas Xmin: 979650, Ymin: 986927, Xmax: 1009713, Ymax: 1027899 Datum MAGNA Colombia Bogotá. Este presenta un área en superficie de 1247,8 Km², con definición de grilla de 250m en el eje X, 250m en el eje Y y 5m en el eje Z; para un área por celda de 62500m² (Figura 228).

Figura 228 Definición de la grilla del modelo geológico 3D



Este modelo fue construido a partir de perforaciones seleccionadas previamente, filtradas por contenido de información del subsuelo detallada y confiable, todas estas tomadas de los antecedentes (CAR, SDA, UNAL, METRO DE BOGOTÁ). Se integró un total de 152 perforaciones con rangos de profundidades que van desde 32m hasta 615m (Figura 229).

Figura 229 Distribución en superficie de las perforaciones usadas para la construcción del modelo 3D



En la definición del sistema de flujo del acuífero de Bogotá, es necesario considerar, por una parte, las interacciones del acuífero con la superficie, que incluyen para un acuífero urbano como el de Bogotá no solo la recarga natural sino también la recarga inducida por las pérdidas asociadas a los sistemas de acueducto y alcantarillado. Por otra parte, es indispensable analizar las conexiones del acuífero de estudio en el contexto regional para lo que se usa, como se describió previamente, el modelo analítico regional.

La metodología para la estimación de recarga del sistema acuífero somero del área urbana del distrito capital se dividió en dos etapas: (1) la implementación de modelos- lluvia escorrentía que permitan estimar la recarga debida a la infiltración en las cuencas naturales (recarga natural), y (2) la implementación de ecuaciones del cálculo de fugas y exfiltraciones de las redes de acueducto y alcantarillado.

Para el cálculo de la recarga natural, se realiza el análisis de las precipitaciones sobre las cuencas del distrito capital y los procesos hidrológicos de interceptión, escorrentía y finalmente el cálculo de la infiltración que forma parte de la recarga potencial del sistema acuífero somero.

El mapa hidrogeológico que se construyó en este estudio se realizó a partir de la interpretación hidrogeológica dada a las diferentes formaciones geológicas. La representación está en función de la leyenda internacional para mapas hidrogeológicos propuesta por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH 1995). Esta representación agrupa las diferentes formaciones de acuerdo a su facilidad de movilizar y almacenar agua con el objetivo de obtener las unidades hidroestratigráficas que conforman el mapa hidrogeológico.

- Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular

A este primer grupo pertenecen los acuíferos que están conformados por sedimentos poco a medianamente consolidados, con porosidad primaria. Está representado por:

- Restos de meteorización de areniscas del Grupo Guadalupe (Trm).
- Formación San Miguel (Qsm).
- Depósitos de pendiente (Qdp).
- Formación Tilatá (Tma).
- Formación Río Tunjuelito (Qrtsa).
- Formación Sabana (Qsa2).

- Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

Se incluyen en este segundo grupo a las rocas sedimentarias consolidadas que constituyen acuíferos donde el agua subterránea esta almacenada en poros, fracturas y diaclasas. Está representado por:

- Formación Cacho (Tic).
- Formación Labor y Tierna (Ksglt).
- Formación Plaeners (Ksgp).
- Formación Guaduas conjunto Inferior, medio y superior (Tkgi, Tkgm, Tkgs).
- Formación Arenisca Dura (Ksdg).
- Formación Regadera

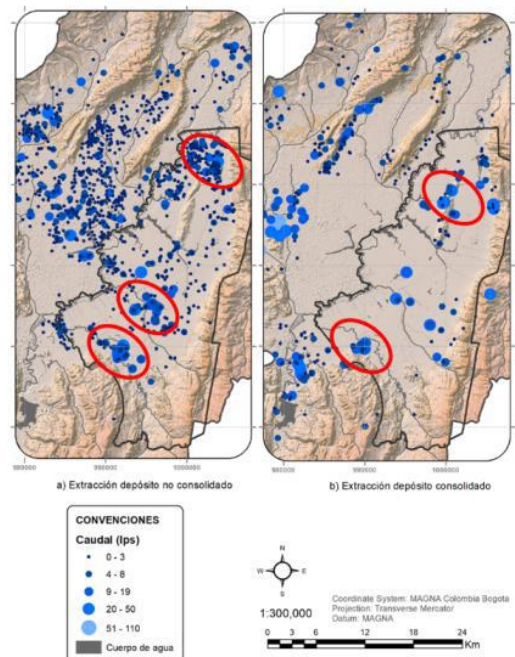
- Sedimentos y rocas con limitado o ningún recurso de agua subterránea

En este último grupo se encuentran aquellas rocas que, por su composición litológica de granulometría fina a muy fina, carecen de capacidad para almacenar y transportar agua subterránea en cantidad importante, de tal manera que pueda ser utilizada a través de una explotación. En el área de estudio están representados por:

- Formación Usme (Tiu).
- Formación Sabana (Qsa1).
- Formación Chía (Qch1, Qch2, Qch3)
- Formación Bogotá (Tib).
- Formación Chipaque.

Zonas de Recarga, Tránsito, Descarga, en la Figura 230 presenta la distribución espacial de los caudales de extracción en la zona de estudio (delimitada con línea negra) y en la sabana de Bogotá. Con un óvalo rojo se circunscribe las zonas de máxima explotación. La extracción en la zona no consolidada, las máximas extracciones se concentran en 3 grupos. El primer grupo en el norte de la ciudad a la altura de la calle 230 con autopista y concretamente donde se encuentran los pozos del Colegio San Viator, Compensar, Andino, El Jardín. Un segundo grupo se encuentra localizado en la zona industrial entorno a la avenida Boyaca y Avenida 68. Algunos pozos de esta zona son, el pozo manufacturas Eliot, Asitex, Hilacol, Carulla. El tercer grupo está localizado al sur de la ciudad en Bosa. Algunos pozos de esta zona son Hilat, Apogeo, frigorífico Guadalupe. Para los pozos localizados en la zona no consolidada, se tiene dos grupos principales que coinciden con los pozos de la zona norte y sur de Bogotá. El grupo 1 y grupo 2 de la zona no consolidada coincide con las formaciones más permeables como la Tilata. Mientras que el grupo 1 de la zona consolidada tiene una alta permeabilidad debido a que por esta zona pasa la falla Bojaca, que, si bien es una falla de rumbo, limita la cuenca intramontana

Figura 230 Representación espacial de los caudales de explotación en la zona de estudio.



Para realizar el análisis de los niveles del acuífero somero se usaron los datos de los siguientes reportes: (SDA 2013) (EAAB-JICA 2009), (EAAB-JICA 2003) (SIAM 2006) (UNAL 2005) (INGEOMINAS 2002a).

Con estos datos se realizó un análisis espacio temporal del comportamiento de los niveles en la zona de estudio. Si bien, el análisis se realizó con los niveles estáticos reportados, es de aclarar que estos pueden estar siendo subestimados conduciéndonos a interpretaciones erróneas. Normalmente, para obtener la medida de los niveles estáticos, se realiza un cese del bombeo por 24 horas luego de las cuales se procede a realizar la medida (se considera que las 24 horas son suficientes para que el nivel regrese a suposición en estado estacionario). Al tener un medio tan heterogéneo en el cual prevalecen las zonas de baja permeabilidad, esas 24 horas puede que no sean suficientes para su recuperación total. Por este motivo se iniciará a evaluar en magnitud el comportamiento de estos para luego si desarrollar la interpolación de los niveles.

El comportamiento temporal y el análisis espacial de los niveles en el acuífero permite identificar tendencias, afectaciones, zonas deprimidas, conexiones, sobre explotaciones, etc. En el área de estudio, los niveles tienen cambios debidos principalmente a las extracciones las cuales son reguladas por la SDA.

Para realizar el análisis espacio temporal de los niveles del acuífero somero se usaron los datos de los siguientes reportes: (SDA, 2013) (EAAB-JICA, 2009), (EAAB-JICA, 2003) (SIAM, 2006) (UNAL, 2005) (INGEOMINAS, 2002a). Si bien, el análisis se realizó con los niveles estáticos reportados, es de aclarar que estos pueden estar siendo subestimados conduciéndonos a interpretaciones erróneas. Normalmente, para obtener la medida de los niveles estáticos, se realiza un cese del bombeo por 24 horas luego de las cuales se procede a realizar la medida (las 24 horas pueden que no sean suficientes para que el nivel se estabilice). Al tener un medio tan heterogéneo en el cual prevalecen las zonas de baja permeabilidad, esas 24 horas puede que no sean suficientes para su recuperación total.

Se graficaron los datos disponibles para los estudios mencionados anteriormente. Por un lado, los datos de (EAAB-JICA, 2009) y (EAAB-JICA, 2003) no permiten obtener ninguna conclusión por la ausencia de datos. (SIAM, 2006) e (INGEOMINAS, 2002a) tienen datos, pero concentrados al noreste de la zona de estudio. Por la cantidad y por la distribución espacial de los datos, las campañas de (SDA, 2013) y (UNAL, 2006) permitieron realizar un análisis espacio -temporal teniendo en cuenta los 8 años que separan estas dos campañas.

La evolución temporal de los niveles, en función de la densidad de los pozos realizó una sectorización la cual nos da 4 grupos (ver Figura 231). Para los pozos de cada grupo se graficó la evolución temporal del nivel con el objetivo de comparar tendencias y magnitudes.

Para el caso de este estudio, en el modelo de la secretaría presentan los resultados para el grupo 3 (la Figura 232 presenta para el grupo 3, A). la localización y el valor puntual entre la diferencia de nivel medido entre la más reciente a la más antigua, B). presenta la evolución temporal de los niveles. El máximo abatimiento se presenta en el pozo Flores Astro con un valor de 17.52m (1999-2012). Junto a este pozo se tiene el pozo El Jardín el cual también tiene un descenso de 1.6m para el mismo periodo de tiempo que además muestra de un cono de abatimiento en esta zona. La mayor recuperación de nivel se tiene en el pozo Arizona con 18.91 m (2010-2012). En general se puede decir que se tiene una recuperación de los niveles hacia el norte de la ciudad.

Figura 231 Sectorización de los niveles en función de los abatimientos. Esto se hace para realizar el análisis de la evolución temporal del nivel.

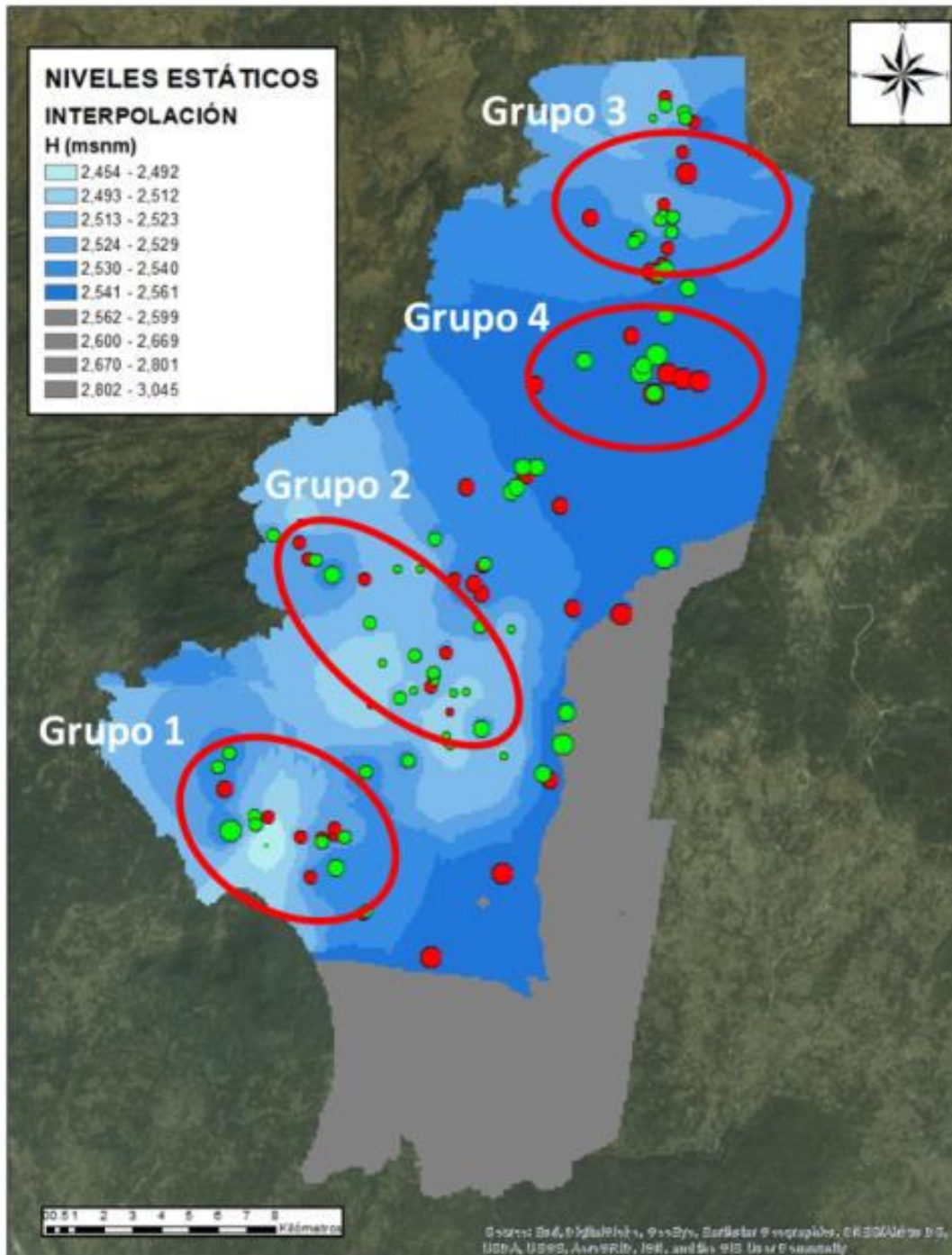


Figura 232 Localización y evolución temporal de los pozos localizados en el grupo 3. Izquierda: Localización y el valor puntual entre la diferencia de nivel medido entre la más reciente a la más antigua, derecha: Evolución temporal de los niveles

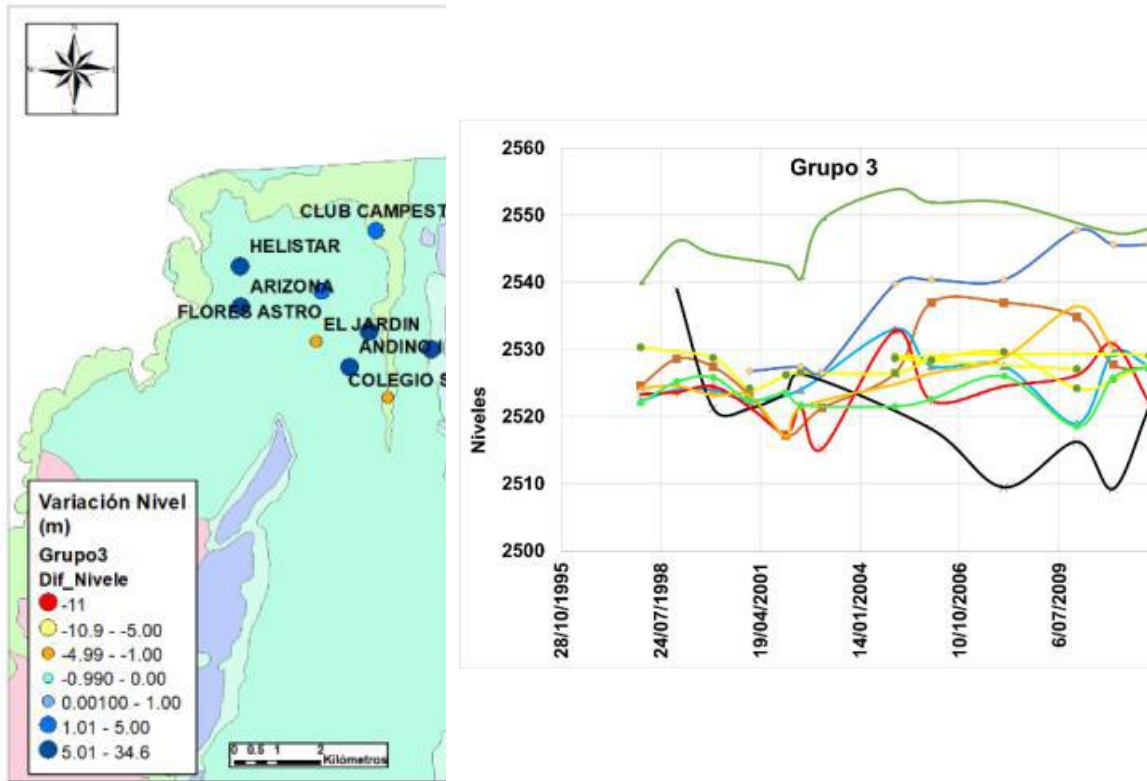
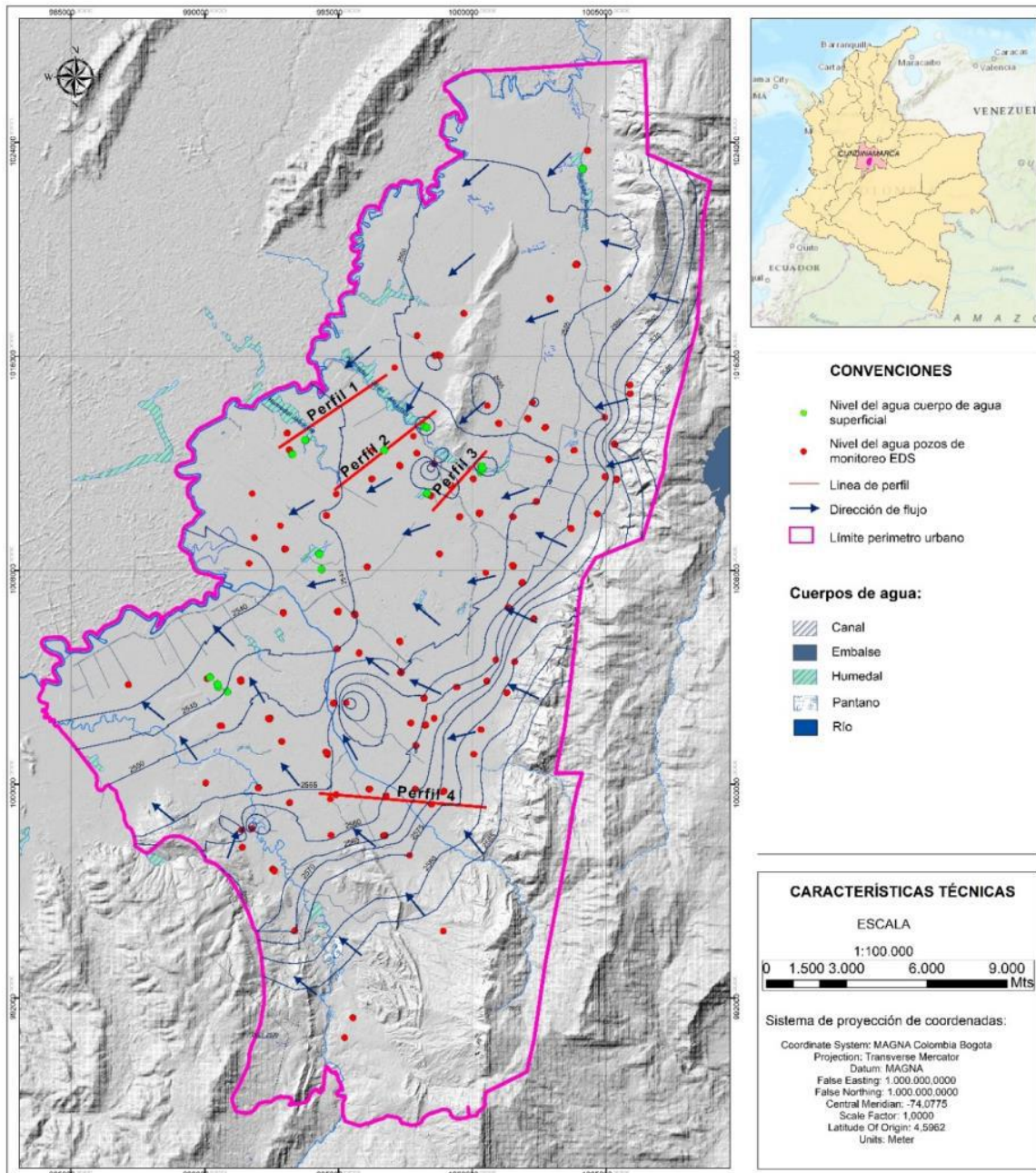


Figura 233 Mapa de Isopiezas Subsuperficiales en el Distrito Capital



A partir del mapa de isopiezas subsuperficiales, se observa un flujo regional en dirección E-W, con tendencia hacia el centro de la cuenca en dirección al Río Bogotá. Este mapa sigue la tendencia de la dirección regional del acuífero de los depósitos Neógenos-Cuaternarios, presentado en el mapa hidrogeológico del Acuífero de Bogotá D.C, producto de este convenio.

El presente modelo 3D fue concebido como una aproximación de la “realidad” o hidrogeología teniendo en cuenta que incluyó las perforaciones con información del

subsuelo existente, por tanto se recomienda la incorporación de mayor cantidad de pozos que permitan tener mayor detalle del contacto con roca a lo largo del distrito y de esta manera definir con mayor precisión el espesor de estos depósitos, y los registros litológicos para monitorear las correlaciones obtenidas.

Se desconoce en gran parte el papel de las fallas geológicas sobre estos depósitos, por tanto, se sugiere estudios concretos de neotectónica que permitan precisar hasta qué punto estas fallas podrían interferir en la continuidad de las unidades más inferiores y también la interacción de los diferentes cuerpos de agua producto de esta actividad.

El sistema hidrogeológico del distrito de Bogotá es complejo debido a su arquitectura geológica, la presencia de fallas y su régimen hidrológico. Las diferentes disposiciones de material, generaron una anisotropía muy marcada en el sentido vertical y esto se ve reflejado en la presencia de los diferentes estratos. Los cuales presentan variaciones en permeabilidades de varios órdenes de magnitud.

Con el análisis de la geología a escala regional (para los primeros 100m) se podría inferir que la recarga en el sistema es poco probable, debido a que esta sugiere una ausencia de conectividad lateral con las zonas de piedemonte. Pero, al analizar los perfiles del metro de Bogotá se evidencia lo contrario. Se encuentra una continuidad lateral que se desarrolla hasta los límites del distrito y que finalmente permite concluir que se tiene una presencia de lentes acuíferos.

Las entradas al sistema vienen condicionadas por el régimen de precipitación y por el tipo de formación geológica presente. Las zonas que más permiten la recarga son los afloramientos de las formaciones Labor – Tierna y la formación Arenisca dura, esto, debido a su nivel de fracturamiento. La formación Sabana permite una recarga en sus afloramientos y es la que permite un mayor tránsito del agua sin dejar de tener presente que lo hacen con unas velocidades de Darcy bajas.

10.5.1.1.5 El análisis y limitantes del modelo actual

El modelo hidrogeológico conceptual de Bogotá D.C. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018), recoge toda la información secundaria disponible, y propone un esquema conceptual innovador y propositivo que incluye consideraciones de acuíferos localizados en áreas urbanas. Para lo mismo, fue fundamental construir un modelo geológico 3D del acuífero de Bogotá, que incorpora e integra información técnica que permite facilitar el análisis de las interacciones entre los elementos del contexto urbano, con las capas acuíferas someras y a su vez con cuerpos de agua estratégicos del distrito capital.

Se tienen limitaciones en cuanto a la incertidumbre asociada a la información recopilada en la base de datos de pozos en la Sabana y en el Distrito, especialmente en los atributos de profundidad de extracción (par aun mismo pozo se reportaban dos o más profundidades), caudales de extracción (gran parte reportados como el caudal concesionado), clasificación de pozos activos y no activos y ubicación de los filtros. Otro factor que agrega incertidumbre trata de la nomenclatura de los pozos ya que para varios puntos de agua no fue posible encontrar el respectivo código.

En relación con lo dicho, se tiene incertidumbre en la estimación de la demanda. A la fecha no se tiene un inventario actualizado, que registre los pozos que se encuentran inactivos, de reportar los nuevos, y medir el caudal extraído en los pozos activos.

Se tiene incertidumbre en la medición de los niveles estáticos, generalmente, las entidades requieren interrumpir el bombeo 24 horas antes de la medición del nivel en el pozo. En algunos casos, sin embargo, la recuperación del nivel en el pozo es lejos del 90% o 95% generalmente requerido para el registro del nivel estático y para realizar nuevas pruebas de bombeo. Por lo tanto, cuando se reporta este nivel como estático y se utiliza para realizar mapas de isopiezas, se está considerando, erróneamente, la condición pseudoestática como representativa del estado del recurso a nivel regional.

La incertidumbre del nivel estático, también se asocia a diseño de los pozos. En el área de estudio los pozos de bombeo suelen tener grandes longitudes de la zona de respuesta, por ejemplo, en pozos de bombeo para fines productivos, que tienen como objetivo principal maximizar el caudal a extraer en el pozo, por lo que se dejan empaques de grava a lo largo de toda la longitud del pozo.

Es importante mencionar que para este estudio no se llevó a cabo el inventario de puntos de agua subterránea, los análisis se enfocaron en el inventario de piezómetros. Esto teniendo en cuenta que en las especificaciones técnicas el requerimiento estaba basado en los datos recopilados de exclusivamente de piezómetros. Los pozos y manantiales y demás puntos hidrogeológicos mencionados en este acápite hacen parte de información secundaria, evaluada, como contexto regional.

10.5.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

10.5.2.1 Caracterización de cuencas hidrográficas

Se realiza en primer lugar a partir del procesamiento en ArcGIS del MDT, mediante el módulo Arc Hydro Tools, que permite definir áreas y corrientes de los sistemas de drenaje en cuencas hidrográficas, a través del análisis de la dirección y acumulación de flujo por diferencia de elevaciones. Esta primera delimitación de cuencas se refinó a partir de la interpretación cartográfica y de imágenes satelitales disponibles a través de la identificación de límites de cuencas urbanas representados por vías, canales y colectores de la red de alcantarillado pluvial de Bogotá, esta última obtenida del Servicio Web geográfico Alcantarillado Pluvial de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB). En el Producto 4, Capítulo 4.3.2 se encuentra la definición espacial de la delimitación de cuencas del proyecto.

Mediante el uso de esta información se obtuvo la clasificación ordinal de las cuencas y subcuencas, longitud del cauce principal, rectángulo equivalente, altitud media de la cuenca, curva hipsométrica y de distribución de frecuencias, pendiente media de la cuenca, pendiente media, densidad de drenaje, coeficiente de compacidad o índice de gravelius, factor de forma y el coeficiente de pasividad.

10.5.2.2 Precipitación

En la que se presenta a continuación se presentan las estaciones pluviográficas cercanas al área de estudio, a partir de las cuales se obtuvo la información de precipitación a escala horaria, para el análisis espacial de precipitación. De estas estaciones, se seleccionaron las tormentas más representativas correspondientes al periodo 2012 a 2017, junto con la información disponible de la base de datos del informe de Ingetec 2015, que contiene datos de tormentas desde el año 2004 hasta el 2012. En la Figura 3 se presenta la localización de estas estaciones con respecto al área de estudio.

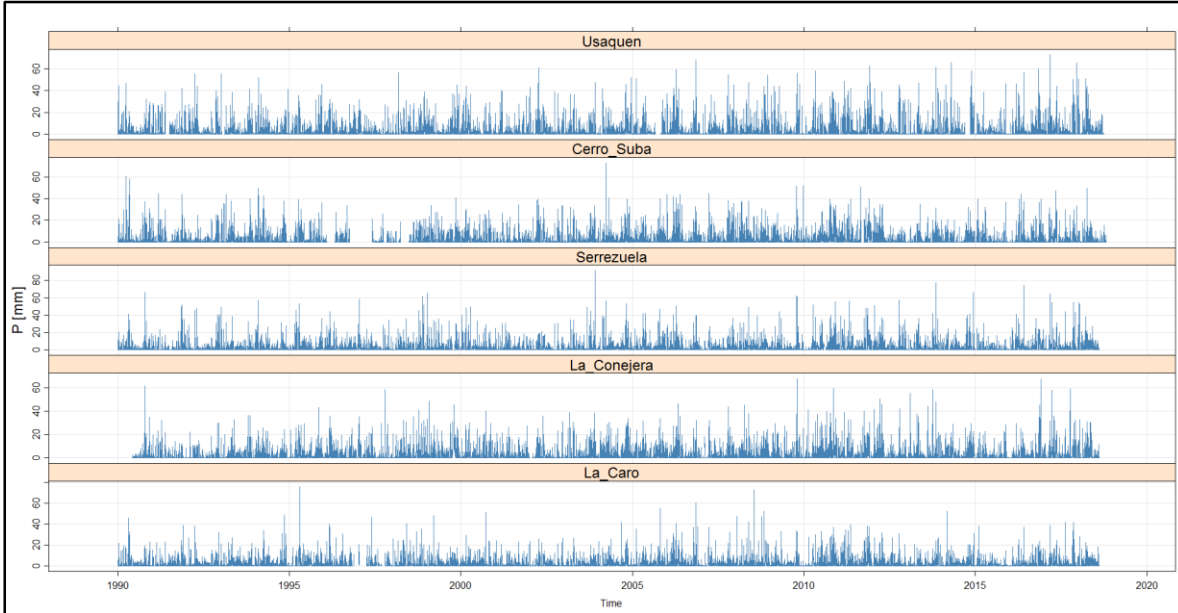
Tabla 71 Estaciones pluviográficas área de estudio

CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	ENTIDAD	TIPO	FECHA INICIO	FECHA FIN	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)
2120031	CERRO DE SUBA	EAB	PVG	01/04/1946	21/10/2018	2691
2120111	USAQUÉN SANTA ANA	EAB	PVG	01/03/1929	25/09/2018	2647
2120202	SERREZUELA	EAB	PVG	01/01/1990	13/08/2018	2800
2120208	LA CONEJERA	EAB	PVG	30/05/1990	10/08/2018	2500
2120531	LA CARO	EAB	PVG	01/01/1990	08/08/2018	2560

Fuente: EAB, 2019.

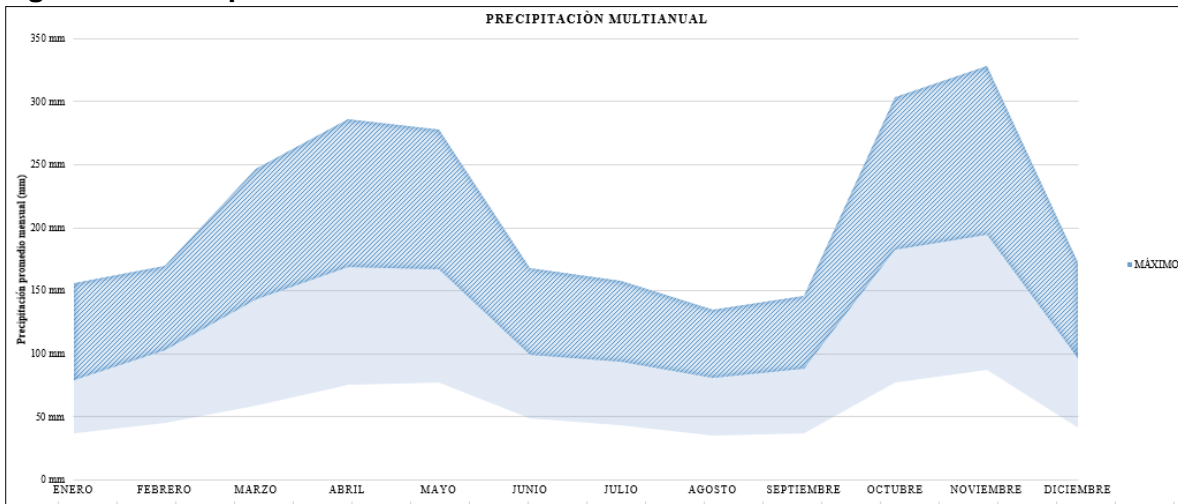
Con el objeto de evaluar eventos hidrológicos extremos ocurridos recientemente en la cuenca de análisis, en este aparte se hace un análisis comparativo de los registros de precipitación ocurrida en la zona de estudio y establecer la incidencia en el comportamiento de los niveles de inundación del sistema hídrico Torca – Guaymaral. Para analizar los eventos extremos de precipitación en el área de estudio, se realizó el análisis del fenómeno de la niña ocurrido en el periodo 2010-2011, analizando la precipitación diaria de este periodo en comparación con otros años. En la Figura 234 se presentan las series de precipitación diaria de las estaciones analizadas que tienen influencia sobre el área de estudio. La precipitación máxima diaria registrada en la estación Usaquén es de 121.2 mm, para la estación Cerro Suba es de 73.2 mm, para la estación Serrezuela de 91 mm, para la estación La Conejera de 67.7 mm y para la estación La Caro 76.0 mm.

Figura 234 Precipitación diaria estaciones analizadas



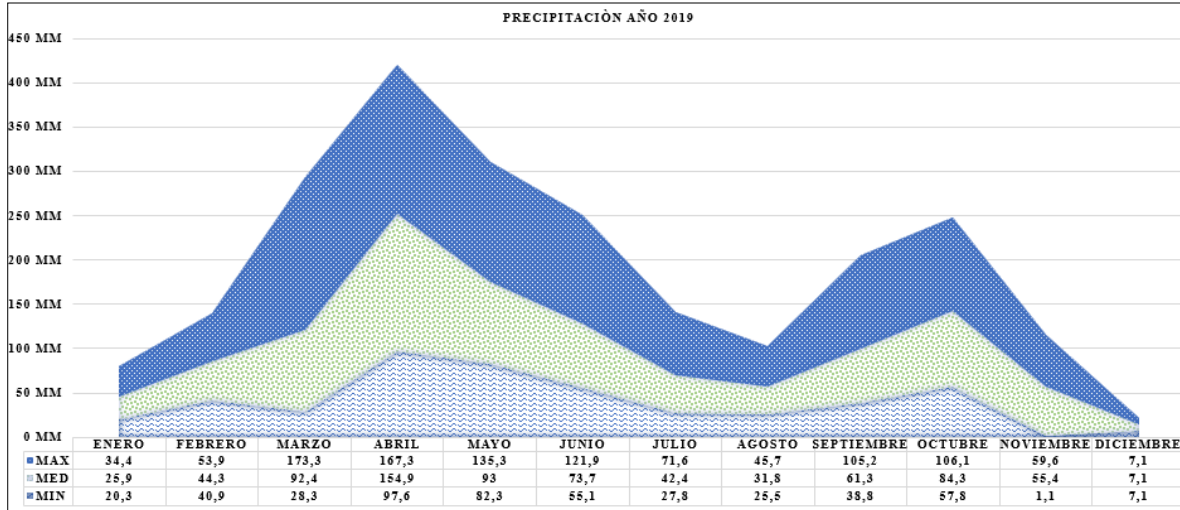
Fuente: WSP a partir de datos EAB, 2019.

Figura 235 Precipitación datos mensuales multianuales.



Fuente: WSP 2020

Figura 236 Precipitación datos mensuales 2019



Fuente: WSP 2020

10.5.2.3 Estimación de la recarga espacial

A partir de cruces de capas temáticas y asignando valores a cada unidad de cada capa temática es posible determinar la recarga potencial en un área determinada, por otro lado, es posible calcular la recarga potencial a partir de la ecuación de balance hídrico esta se denomina recarga neta, a continuación, se define la recarga potencial y la recarga neta en el área de estudio Lagos de Torca.

10.5.2.3.1 Recarga potencial

Se han identificado en el área de estudio como principales mecanismos de recarga, la infiltración de agua de escorrentía y precipitación, en este sentido toda el área de estudio corresponde a una zona de recarga por tratarse de sedimentos no consolidados.

Es importante destacar que también se identifican zonas de recarga cerca a los cerros orientales, por otro lado, se plantean como principales zonas de descarga los pozos de captación de agua subterránea, por otro lado, y en época de máximas precipitaciones las direcciones de flujo convergen a las quebradas afluentes del Río Bogotá, al Río Bogotá y los sistemas de humedales.

Para determinar las zonas de recarga potencial en el área de influencia se aplicó el método Matus, (Matus, 2007) que involucra ponderaciones de 1 a 5 para los siguientes parámetros: Pendiente (Pend), Tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal permanente (Cve) y se evaluó el uso del suelo (Us); con base en estas ponderaciones se obtuvo el mapa de zonas de recarga potenciales para el área de influencia (Tabla 72).

Tabla 72 Variables y evaluación de zonas de recarga

Pendiente (Pend)			
Descripción	%	Ponderación	Posibilidad de recarga
Planos a casi planos	0-6	5	Muy Alta
Moderadamente ondulados	6-15.	4	Alta

Pendiente (Pend)			
Ondulados/cóncavos	15-45	3	Moderada
Escarpados	45-65	2	Baja
Fuertemente escarpados	>65	1	Muy Baja
Tipo de Suelo (Ts)			
Textura	Ponderación	Posibilidad de recarga	
Suelos franco-arenosos a arenosos.	5	Muy Alta	
Suelos francos	4	Alta	
Suelos franco-limosos	3	Moderada	
Suelos Franco arcillosos	2	Baja	
Suelos arcillosos	1	Muy Baja	
Tipo de roca (Tr)			
Textura	Ponderación	Posibilidad de recarga	
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados	5	Muy Alta	
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre sí, ej arenas finas.	4	Alta	
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si	3	Moderada	
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si	2	Baja	
Rocas impermeables	1	Muy Baja	
Cobertura vegetal permanente (Cve)			
Porcentaje	Ponderación	Posibilidad de recarga	
>80%	5	Muy Alta	
70-80%	4	Alta	
50-70%	3	Moderada	
30-50%	2	Baja	
<30%	1	Muy Baja	
Uso de suelo (Us)			
Uso de suelo	Ponderación	Posibilidad de recarga	
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas	5	Muy Alta	
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	4	Alta	
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	3	Moderada	
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	2	Baja	
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	1	Muy Baja	

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

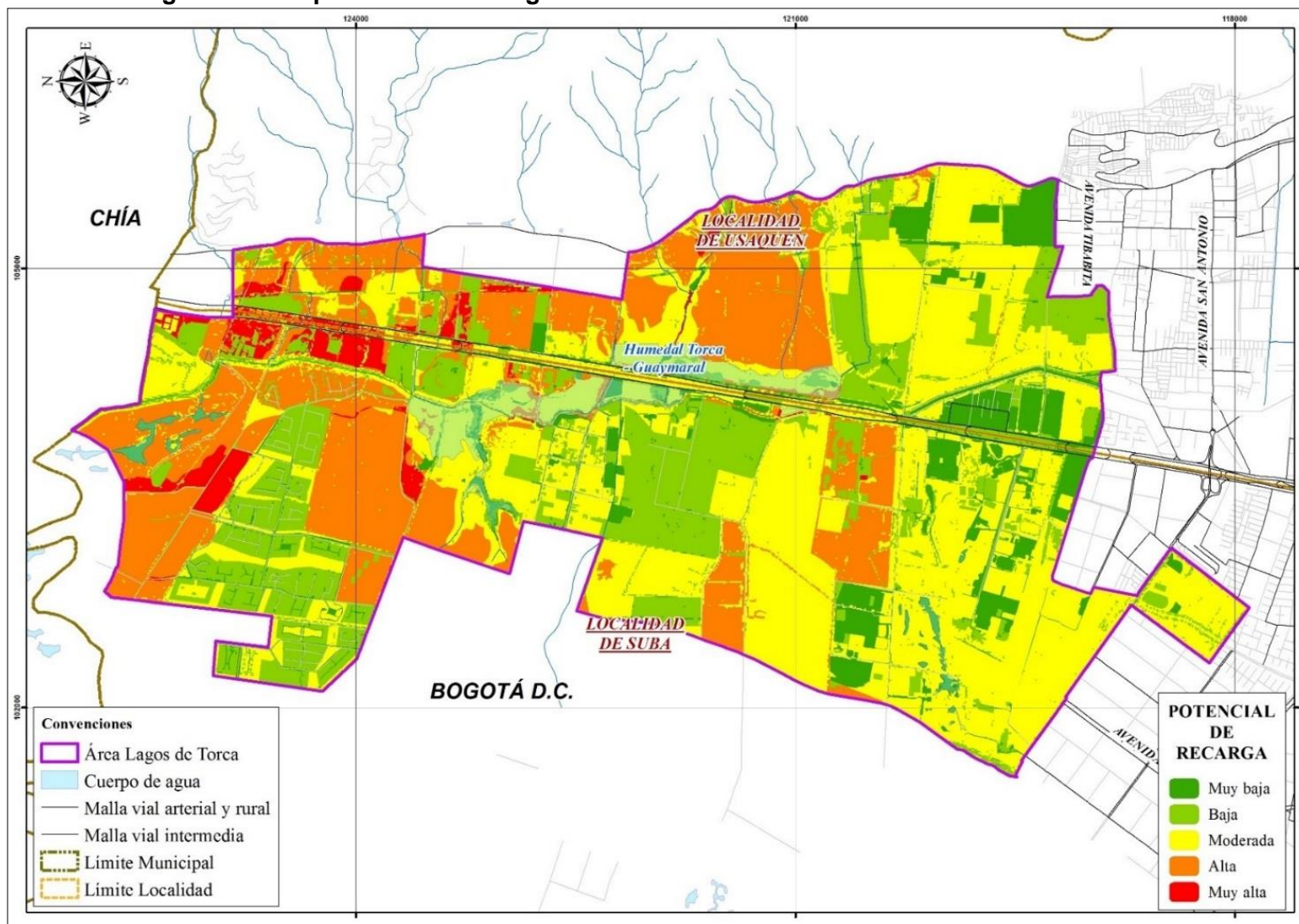
$$ZR = (0.27*Pend) + (0.23*TS) + (0.12*Tr) + (0.25*Cve) + (0.13*Us)$$

Teniendo en cuenta los valores asignados para cada variable, como resultado final se obtuvo una recarga potencial ponderada para el área de estudio, de lo anterior esta recarga potencial se representa en la Figura 237.

En la Figura 237 se logra evidenciar que, la mayoría del área de Lagos de Torca obedece a una recarga potencial de moderada a alta, posibilitando la infiltración del recurso hídrico al sistema hídrico subterráneo.

Es importante mencionar que cada variable de cada unidad temática es la calificación otorgada en términos de posibilitar o no la infiltración del recurso hídrico, en la Tabla 72, se presenta el resumen de estas calificaciones en una escala de 1 a 5.

Figura 237 Recarga Potencial para el Área de Lagos de Torca



Fuente: WSP., 2019

10.5.2.4 Estimación de la recarga

La recarga se define como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas, esta entrada puede darse de dos maneras, por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Balek, 1988). La recarga a un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997). Esto puede resumirse de la siguiente manera:

- Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.
- Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.
- Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos.
- Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución.
- Recarga Urbana, producto de fugas de redes de abastecimiento y alcantarillado.

La recarga natural de los acuíferos es un término básico del balance hídrico. Su conocimiento y evaluación constituye un problema extremadamente complejo que requiere identificar los mecanismos a través de los cuales tiene lugar dicho proceso, así como el tipo y distribución espacial de las diferentes fuentes de agua que intervienen en cada evento de recarga (Custodio, 1977).

10.5.2.4.1 Balance hídrico

El balance hídrico se define como el cálculo de los valores relativos de entrada y salida de aguas, flujo y el volumen de agua. (FAO, 2000). El sistema tendrá entradas que corresponden a la precipitación que logra llegar hasta el suelo y salidas como la escorrentía superficial, la evapotranspiración de las plantas y el agua que percola hasta los acuíferos. Se podrá definir una ecuación simplificada para el balance hídrico del suelo:

$$P = ETP + ESC + S$$

Para conocer la cantidad de agua que recarga al acuífero primero se ha de conocer qué tanta agua es retenida por la vegetación para así saber cuánta es aquella que logra llegar hasta la superficie del suelo. Seguidamente ha de saberse cuánta de esta agua que logra llegar al suelo se logra infiltrar en el terreno. Una vez conocido esto ha de calcularse un balance de suelos para determinar cuánta agua es retenida en los poros del suelo, cuánta es evapotranspirada por las plantas y cuánta resta para que se infiltre a zonas más profundas del subsuelo y recargue los acuíferos.

Se plantea como metodología para encontrar el balance hídrico del agua en un volumen de suelo la planteada por Gunther Schosinsky (2006) en “Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos” que considera la intercepción superficial, la infiltración, la evapotranspiración lluvia neta que se infiltra como variables para determinar la recarga potencial en el acuífero.

10.5.2.4.1.1 Retención mensual por el follaje (Ret) [mm/mes]

La retención superficial se refiere a la cantidad de agua retenida por el follaje de las plantas en una determinada zona y está condicionada por la densidad y tipo de cobertura vegetal del suelo. Schosinsky y Losilla (2000) sugieren que en una zona con una cierta cobertura vegetal cualquier precipitación inferior a 5 mm/mes es totalmente retenida por la vegetación y no se genera infiltración. Además, se considera que la retención de la lluvia en follajes es de alrededor del 12% y para bosques de un 20%, esto siempre y cuando se tenga una cantidad de precipitación mayor a los 5 mm/mes (Butler, 1957). La retención mensual por el follaje se puede expresar como:

$$\begin{aligned} Ret &= P * C_{fo} \\ \text{Si } (P)(C_{fo}) &\geq 5 \text{ mm/mes entonces } Ret = P * C_{fo} \\ \text{En tanto que si } P &\leq 5 \text{ mm/mes entonces } Ret = P \\ \text{Pero si } P < 5 \text{ mm/mes y } (P)(C_{fo}) &< 5 \text{ entonces } Ret = 5 \end{aligned}$$

Donde:

Ret [mm/mes] = Retención mensual a causa del follaje.

P [mm/mes] = Precipitación mensual bruta.

(C_{fo}) [0,01%]=Coeficiente de follaje

El coeficiente de follaje (C_{fo})

este valor Corresponde al porcentaje mensual de la lluvia que es retenida en la vegetación. Se expresa en tanto por uno y es una variable adimensional; en la metodología se considera que presenta un valor de 0,20 para bosques espesos y 0,12 para otro tipo de cobertura vegetal (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006).

$$\begin{aligned} C_{fo} &= 0,20 \text{ para bosques espesos} \\ C_{fo} &= 0,12 \text{ para otros tipos de follaje} \end{aligned}$$

Debido a las condiciones de la cobertura vegetal de la zona, se optó por un valor de C_{fo} de 0,12 puesto que la gran mayoría del follaje que cubre las zonas no urbanizadas del terreno corresponde a pastizales.

El valor agua retenida por la vegetación anualmente para Lagos de Torca, (Ret) fue de 96,3 mm/año.

10.5.2.4.1.2 Infiltración pluvial mensual (P_i) [mm/mes]

Sólo una porción de la precipitación que llega a la superficie del suelo tiene la capacidad de infiltrarse en el terreno, otra parte del agua de precipitación es captada por la vegetación, mientras que otra fracción de esta agua-lluvia se escurre y otra fracción más pequeña se acumula en charcos en donde se infiltra o se evapora (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

La infiltración pluvial efectiva corresponde a la precipitación que mensualmente logra infiltrarse en el subsuelo. Involucra los factores del coeficiente de infiltración (C_i), la precipitación mensual bruta (P) y la retención de lluvia mensual por parte de la vegetación (Ret) (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006)

$$P_i = C_i(P - Ret)$$

Donde:

P_i [mm/mes] = Infiltración pluvial mensual.

C_i [Tanto por uno, 0,01%] = Coeficiente de infiltración.

P [mm/mes] = Precipitación mensual bruta.

Ret [mm/mes] = Retención mensual a causa del follaje.

Para el área de estudio el valor anual de precipitación infiltrada anualmente (P_i) fue de 481.53 mm/año.

Precipitación mensual bruta (P) [mm/mes]

Medida meteorológica. Medida de la cantidad mensual de pluviosidad en milímetros de agua lluvia en un mes. En el presente estudio los datos de pluviosidad fueron extraídos del capítulo de hidrología del presente estudio y encuentran adjuntos en el Anexo O Información meteorológica además, nestos datos resumidos se aprecian en la Tabla 73.

Tabla 73. Precipitación mensual acumulada del año 2019 en las estaciones meterológicas del estudio.

Estaciones de estudio /Mes	Valores Totales Mensuales 2019 [mm/mes]											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Caro	22,5	44,3	100	97,6	93	72,2	42,4	36,2	38,8	57,8	59,6	7,1
Conejera	31,2	53,9	92,4	154,9	90,8	55,1	30,7	25,5	84,4	106,1	Anómalo	S.I.
Serrezuela	20,3	44,5	47,6	162,9	130,7	73,7	71,6	31,8	61,3	73,4	Anómalo	S.I.
Cerro de Suba	25,9	43,8	28,3	137,3	135,3	89,5	27,8	30	47,8	97,1	58,9	S.I.
Usaquen Santa Ana	34,4	40,9	173,3	167,3	82,3	121,9	43,1	45,7	105,2	84,3	55,4	S.I.
Promedio	26,86	45,48	88,32	144	106,42	82,48	43,12	33,84	67,5	83,74	57,97	7,1

Fuente: Adaptado por (WSP, 2020)

Coeficiente de infiltración (C_i) [0.01%]

El coeficiente aparente de infiltración constituye la fracción del agua de la precipitación que se infiltra en el subsuelo, su cálculo corresponde a la sumatoria de los coeficientes de infiltración por cobertura vegetal (K_v), efecto de: pendiente del terreno (K_p) y textura del suelo (K_{fc}); esta forma de calcularlo se expone en la metodología expuesta en (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000). Se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc}$$

En donde:

C_i [Tanto por uno, 0.01%]. = Coeficiente de infiltración.

C_i siendo siempre un valor decimal inferior a 1.

K_v [Tanto por uno, 0.01%] = Coeficiente de cobertura vegetal.

K_p [Tanto por uno, 0.01%] = Coeficiente de pendiente.

K_{fc} [Tanto por uno, 0.01%] = Coeficiente de capacidad de infiltración.

Coeficiente de cobertura vegetal (K_v) [0.01%]

Corresponde a la fracción de la precipitación que se infiltra en el terreno por efecto de la cobertura vegetal. Áreas cubiertas por bosques o con más del 75% de área de césped tienen altos coeficientes de infiltración, en tanto que zonas impermeables o con terreno de cultivo tienen coeficientes relativamente bajos. Constituye una de las variables para el cálculo de la infiltración aparente; de acuerdo con las características de la cobertura de la zona de estudio (Ver Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología, Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo Numérico) el valor de esta variable K_v fue de 0,180 indicando coberturas de pastizal; este valor fue tomado de la Tabla 74 la cual ha sido adoptada de la metodología de (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Coeficiente de pendiente (K_p) [0.01%]

Representa a la fracción de la lluvia que se infiltra en el subsuelo por efecto de la pendiente del terreno. Terrenos con alta pendiente presentan un bajo coeficiente de infiltración, mientras que en terrenos llanos el agua tiende a infiltrarse de manera más sencilla. Constituye una de las variables para el cálculo de la infiltración aparente; de acuerdo con el mapa de pendientes de la zona de estudio (Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología, Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo Numérico) el 98% del área presenta una pendiente de 0 a 6%, por lo que se determinó una variable de K_p 0,188, valor que es el promedio del rango de valores de zonas muy planas a promedio; esta variable fue tomado de la Tabla 74 la cual ha sido adoptada de la metodología de (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Tabla 74. Componentes del coeficiente de infiltración según la metodología de Schosinsky & Losilla, 2000.

COMPONENTES DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN		
Coeficiente por cobertura vegetal (Kv)		
Tipo de cobertura		Kv
Cobertura con césped* menos del 50%		0,09
Terrenos cultivados		0,10
Cobertura con pastizal		0,18
Bosques		0,20
Cobertura con césped* más del 75%		0,21
* Originalmente "zacate"		
Coeficiente por pendiente (Kp)		
Pendiente		Kp
Muy plana	0,02%-0,06%	0,30
Plana	0,3%-0,4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06

Fuente: Adaptado de (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Coeficiente de capacidad de infiltración (Kfc) [0.01%]

Es la fracción de agua lluvia que se infiltra en el terreno facilitada por la textura del suelo, esta textura viene definida por la granulometría del suelo y si está o no compactado. Terrenos arcillosos y compactos presentaran un coeficiente de infiltración bajo a diferencia de suelos arenosos y poco consolidados en los cuales la infiltración del agua es más viable. Constituye una de las variables para el cálculo de la infiltración aparente; sus valores son calculados como sigue:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(f'_c) - 0.000154(f'_c) - 0.723$$

Donde:

K_{fc} [Tanto por uno, 0.01%] = Coeficiente de capacidad de infiltración.

f'_c [m/d] = Capacidad de infiltración (ensayo).

Ecuación de la metodología expuesta en (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Capacidad de infiltración (f'c) [mm/d]

Medida hidrológica, es una cualidad intrínseca a los suelos, corresponde a la velocidad máxima con la cual el agua penetra en el suelo dada en milímetros sobre día. Su magnitud depende de la textura, la granulometría, permeabilidad y porosidad del terreno. Constituye un insumo para el cálculo del coeficiente de infiltración capacidad de infiltración (K_{fc}) que a su vez es una variable del coeficiente de infiltración (C_i) (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006).

La capacidad de infiltración (f_c) es un concepto análogo a la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) por lo que en el presente estudio se empelarán datos de K_{sat} para el cálculo del coeficiente de la capacidad de infiltración (K_{fc}).

El valor de la conductividad hidráulica promedio en la zona de estudio fue calculado a partir del mapa de cobertura de suelos hallado en el presente estudio en el Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología, Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo Numérico Para conocer la conductividad hidráulica de cada uno de estos tipos de suelos se recurrió a la bibliografía hallada en (Rawls, Brakensiek, & Saxton, 1981) en donde se le da un valor de conductividad hidráulica a cada tipo de textura de suelo (ver Tabla 75).

Tabla 75. Conductividad hidráulica de suelo saturado de acuerdo con la clasificación textural del suelo.

Clase de textura de suelo (USDA)	Conductividad hidráulica K [mm/día]
Arena	2827
Arenoso franco	718
Franco arenoso	262
Franco	82
Franco limoso	156
Franco arcillo arenoso	36
Franco arcilloso	24
Franco arcillo limoso	24
Arcillo arenoso	14
Arcillo limoso	12
Arcilla	7

Fuente: Adaptado por (WSP, 2020) de (Rawls, Brakensiek, & Saxton, 1981).

De antemano se consideró que para efectos prácticos las zonas urbanizadas y la infraestructura vial son impermeables teniendo un valor de 0 mm/día de conductividad hidráulica. Posteriormente, para asociar la clasificación de los suelos del área de estudio con su respectiva clasificación textural se utilizó como referencia el libro “*Claves para la Taxonomía de Suelos*” (USDA, 2014) (ver Tabla 76).

Tabla 76. Valores de conductividad hidráulica específicos y promedio ponderado con respecto al área total de estudio.

Símbolo	Clasificación de suelos ANEXO N	Clasificación*	K_i^{**} [mm/día]	Porción área por cobertura de suelo (ha)
AUTON	Autopista Norte	Impermeable	0	21,71
CA	Cuerpos de agua	Fuera	N/A	25,43

Símbolo	Clasificación de suelos ANEXO N	Clasificación*	K_i^{**} [mm/día]	Porción área por cobertura de suelo (ha)
McM01	Consociación: Lithic Dystrustepts, familia franca fina, isoméscica; Typic Ustorthents, familia esqueletal, isoméscica	Franco	82	9,88
MsL04	Consociación: Typic Hapludands, familia medial, isoméscica; Typic Udorthents, familia franca gruesa, isoméscica	Arenoso franco	718	1,89
MsL08	Consociación: Pachic Melanudands, familia medial, isoméscica; Typic Udorthents, familia esqueletal, isoméscica; Afloramientos Rocosos	Arenoso franco	718	1,05
MxL01	Consociación: Acrudoxic Melanudands, familia medial, isoméscica; Thaptic Hapludands, familia medial, isoméscica	Franco arenoso	262	30,14
MxL01	Consociación: Acrudoxic Melanudands, familia medial, isoméscica; Thaptic Hapludands, familia medial, isoméscica	Franco arenoso	262	17,39
MxL09	Complejo: Typic Placudands, familia medial, isoméscica; Typic Hapludands, familia medial sobre fragmental, isoméscica	Franco arenoso	262	25,70
RzL08	Consociación: Andic Humudepts, familia fina, isoméscica; Typic Hapludands, familia medial, isoméscica; Typic Humudepts, familia franca fina, isoméscica	Arenoso franco	718	74,45
RzL35	Consociación: Fluventic Humudepts, familia franca gruesa, isoméscica; Typic Durudepts, familia arcillosa fina, isoméscica; Typic Dystrudepts, familia franca fina, isoméscica	Franco arenoso	262	12,00
RzL37	Consociación: Vertic Endoaquepts, familia fina, isoméscica; Vertic Endoaquepts, familia muy fina, isoméscica	Arcilloso	7	33,17
RzM07	Consociación: Humic Haplustands, familia medial, isoméscica; Typic Haplustands, familia medial, isoméscica	Franco arcilloso	24	1,51

Símbolo	Clasificación de suelos ANEXO N	Clasificación*	K_i^{**} [mm/día]	Porción área por cobertura de suelo (ha)
RzM11	Consociación: Andic Humustepts, familia arcillosa sobre franca, isométrica; Cumulic Humustepts, familia franca fina sobre arcillosa, isométrica; Andic Humustepts, familia franca gruesa sobre arcillosa, isométrica; Typic Haplustands, familia medial, isom	Franco arcilloso	24	489,28
RzM12	Consociación: Typic Haplustolls, familia franca fina sobre arcillosa, isométrica; Fluventic Haplustolls, familia franca fina sobre arcillosa, isométrica; Ultic Haplustalfs, familia franca fina, isométrica	Franco arcilloso	24	79,99
RzM13	Consociación: Fluvaquentic Endoaquepts, familia muy fina, isométrica; Typic Endoaquepts, familia fina, isométrica	Arcilloso	7	30,14
RzM17	Complejo: Typic Sulfaquepts, familia muy fina, isométrica; Vertic Endoaquepts, familia muy fina, isométrica; Fluvaquentic Endoaquepts, familia franca fina, isométrica; Fluvaquentic Humaquepts, familia muy fina, isométrica	Franco arcilloso	24	22,78
ZR	Zona de Relleno	Franco arcilloso	24	20,00
ZU	Zona urbana	Impermeable	0	896,31
Área total [ha]				1.792,82
Área neta excluyendo cuerpos de agua [ha]				1.767,39
Promedio ponderado de conductividad hidráulica (K_p) [mm/día]				53,12
* Apoyado en USDA, 2014				
** Valores de Rawls, Brakensiek, & Saxton, 1981.				

Fuente: (WSP, 2020)

Para realizar el cálculo de un valor promedio de conductividad hidráulica para el área de estudio, se calculó un promedio ponderado involucrando el área de cada una de las coberturas de suelo con respecto al área total de la zona; esto se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n K_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{K_1 A_1 + K_2 A_2 + \dots + K_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Donde:

K_p [mm/día] = Conductividad hidráulica promedio para los suelos del área de estudio.

K_i [mm/día] = Conductividad hidráulica para un determinado suelo.

A_i [ha] = Área de cobertura de un suelo determinado.

Se estableció un área total de 1.792,82 ha de las cuales se restaron 25,43 ha pertenecientes a superficies de cuerpos de agua para un área de trabajo de 1.767,39 ha (Ver Tabla 76). De esta manera se calculó un valor promedio de conductividad **hidráulica de 53,12 mm/día** para la zona de estudio (Ver Tabla 76), se determinó que predominan los suelos con textura franco-arcillosa.

Escorrentía superficial (ESC) [mm/mes]:

La teoría de infiltración plantea a la escorrentía como el exceso de volumen agua una vez sucedido el proceso de retención por parte de la vegetación e infiltración (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006). Por lo tanto, la escorrentía se puede establecer como:

$$Esc = P - Ret - P_i$$

Donde:

Esc [mm/mes] = escorrentía superficial.

P [mm/mes] = Precipitación mensual bruta.

Ret [mm/mes] = Retención mensual a causa del follaje.

P_i [mm/mes] = Infiltración pluvial mensual.

Para el área de estudio se calculó un valor de escorrentía superficial (ESC) de 201,92 mm/año.

10.5.2.4.1.3 Evapotranspiración:

Es un proceso mixto entre la evaporación y la transpiración. La evaporación se define como el proceso físico en el cual el agua pasa de líquido a vapor, esto desde el agua de la superficie de las plantas, superficies de agua o desde capas muy superficiales del terreno; la transpiración es un proceso biológico en el cual las plantas ceden agua a la atmósfera a través de sus estomas, las plantas toman agua a través de sus raíces una parte se aprovecha para el metabolismo y otra es expulsada (Sánchez J. , 2009).

Evapotranspiración potencial real (ETPR) [mm/día]

La evapotranspiración se define como la transpiración de la planta cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La evapotranspiración de una planta depende de diferentes variables: temperatura ambiental (T), la humedad del suelo, radiación solar, velocidad del viento, tipo y estado de desarrollo de la planta.

$$ETPR = (HS - PM) * (ET)/(CC - PM)$$

Donde:

ETPR [mm/día] = Evapotranspiración potencial real.

HS [%] = Humedad del suelo.

ET [mm/día] = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo.

CC [%] = Capacidad de campo.

PM [%] = Punto de marchitez.

ET [mm/día]:

Evapotranspiración de una planta determinada estando el suelo a la capacidad de campo.

Humedad del suelo HS [%]

Medida en valor porcentual que indica la cantidad de agua por volumen de suelo que existe en determinado terreno.

Capacidad de campo (CC) [%]

La capacidad de campo corresponde a la cantidad de agua que contiene un suelo saturado después haber sido drenado durante un periodo de 1 a 2 días. El porcentaje de agua alojada en el suelo estando este en capacidad de campo es variable y depende de factores como la granulometría y textura del suelo; entre menor sea la granulometría de las partículas del suelo la proporción de agua almacenada en capacidad de campo será mayor (FAO, 2000), (García Petillo, Puppo, Hayashi, & Morales, 2012) Según la metodología se determinó un valor de CC de 31% adecuado para suelos con textura franco-arcillosa (Ver Tabla 77).

Para el cálculo de balance de suelos se toma la capacidad de campo como la humedad inicial del suelo (Hsi) que se encontraría al mes siguiente de una temporada de meses consecutivos en los cuales la precipitación que infiltra (Pi) supere a la evapotranspiración potencial (ETP) (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006), para la zona de estudio esto ocurre en diciembre un mes con tiempo seco el cual fue precedido por octubre y noviembre, meses de tiempo húmedo (Jaramillo & Chaves, 2000).

Punto de marchitez PM [%]

Es la cantidad mínima de agua que puede contener el suelo antes de que las plantas que en este crecen empiecen a morir. Al reducirse más de este punto el contenido de agua de las plantas no es capaces de succionar esta humedad residual pues esta se encuentra retenida por partículas arcillosas o de materia orgánica. Este punto de marchitez varía con respecto a la textura y granulometría del suelo; entre menor sea la granulometría de las partículas del suelo la proporción de agua almacenada en el punto de marchitez será mayor (FAO, 2000), (García Petillo, Puppo, Hayashi, & Morales, 2012) y (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006). Según la metodología se determinó un valor de PM de 15% adecuado para suelos con textura franco-arcillosa (Ver Tabla 77).

Tabla 77. Características del suelo según su clasificación textural.

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	Punto de Marchitez [%]	Capacidad de campo [%]	Densidad aparente [g/cm ³]
Arenoso	2 a 6	6 a 12	1,55 a 1,80
Franco-Arenoso	4 a 8	10 a 18	1,40 a 1,60
Franco-Arenoso	8 a 12	18 a 26	1,35 a 1,50
Franco-Arcilloso	11 a 15	23 a 31	1,30 a 1,40
Arcillo-Arenoso	13 a 17	27 a 31	1,25 a 1,35
Arcilloso	15 a 19	31 a 39	1,20 a 1,30

Fuente: (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Evapotranspiración potencial (ETP) [mm/mes]

Debido a la gran variedad de vegetación que puede existir en una cuenca es casi imposible poder determinar la evapotranspiración de la totalidad de las plantas de tal cuenca, por lo tanto, se debe de asumir una evapotranspiración promedio de la cuenca que será igual a la evaporación potencial (ETP). Para determinar este dato se optó por emplear el método expuesto en (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006) el cual a su vez es extraído de Blaney & Cridle en (ONU, 1972). Esta ecuación involucra datos meteorológicos a los cuales se tiene acceso en las estaciones de la zona de estudio:

$$ETP (mm/mes) = (8.1 + 0.46T) * Ps$$

Donde:

(ETP) [mm/mes] = Evapotranspiración potencial.

T [°C] = Temperatura media mensual (dato meteorológico).

Ps [%] = Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (dato meteorológico). Para la latitud de Bogotá D.C., la cantidad de horas de luz solar posibles en el año es de 4425 aproximadamente.

Los datos meteorológicos de temperatura media mensual (T) y el porcentaje de horas de luz solar (Ps) es fue obtenido del registro de las estaciones del IDEAM mostradas en la Tabla 78, estas estaciones cubren el área de estudio; datos de (Ps) solo se encuentran registrados en la estación meteorológica de C.UNIV.AGROP-UDCA.

Para el área de estudio se calculó una evapotranspiración potencial (ETP) de 396,43 mm/año.

Tabla 78. Estaciones meteorológicas para datos de T y Ps.

Estación IDEAM	Coordenadas MAGNA SIRGAS Origen Bogota	
	Este (m)	Norte (m)
C.UNIV.AGROP-UDCA	1003082	1022386
Col. Miguel A. Caro	1005147	1023993
Nueva Generación AUT	998133	1020571
Suasunque	1012604	1024841

Fuente: (WSP, 2020).

Temperatura media mensual T [°C]:

Dato meteorológico, está definido por el promedio estadístico entre los valores máximos y mínimos de temperaturas en el mes. En el presente estudio los datos de temperatura fueron extraídos de los registros del IDEAM y se encuentran adjuntos en el Anexo O Información meteorológica (Ver Tabla 79).

Tabla 79. Registros de temperatura media mensual para el año 2019 en el área de estudio.

Estaciones IDEAM	Índice T	Valores Mensuales T octubre 2017 - septiembre 2018 [°C]											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
C.UNIV.AGROP-UDCA	MAX	24,0	22,0	S.I.	23,0	S.I.	24,0	22,0	22,0	20,0	20,0	20,0	22,0
	MEDIA	13,3	14,3	S.I.	14,9	S.I.	14,4	13,4	13,4	12,3	12,7	11,6	12,3
	MIN	2,6	6,6	S.I.	6,8	S.I.	4,8	4,8	4,8	4,6	5,4	3,2	2,6
Col. Miguel A. Caro	MAX	25,4	25,2	S.I.	24,9	25,0	25,0	23,4	23,8	22,2	23,4	22,2	23,2
	MEDIA	15,2	15,1	S.I.	15,1	15,0	16,4	15,6	14,9	14,1	14,7	14,1	15,2
	MIN	5,0	5,0	S.I.	5,2	5,0	7,8	7,8	6,0	6,0	6,0	6,0	7,2
Nueva Generación AUT	MAX	24,2	23,2	23,8	23,4	24,0	24,4	23,0	22,2	22,8	21,6	21,6	23,6
	MEDIA	15,0	14,5	13,8	13,7	14,4	14,2	15,3	15,0	14,8	14,0	12,7	14,8
	MIN	5,8	5,8	3,8	4,0	4,8	4,0	7,6	7,8	6,8	6,4	3,8	6,0
Suasunque	MAX	23,8	22,4	23,0	22,8	23,6	23,6	21,8	20,8	19,4	20,0	19,2	21,4
	MEDIA	11,9	11,2	13,9	13,1	13,5	13,5	12,6	11,7	10,6	12,3	9,8	10,9
	MIN	0,0	0,0	4,8	3,4	3,4	3,4	3,4	2,6	1,8	4,6	0,4	0,4
T [°C] Promedio	MAX	24,4	23,2	23,4	23,5	24,2	24,3	22,6	22,2	21,1	21,3	20,8	22,6
	MEDIA	13,9	13,8	13,9	14,2	14,3	14,6	14,2	13,8	13,0	13,4	12,1	13,3
	MIN	3,4	4,4	4,3	4,9	4,4	5,0	5,9	5,3	4,8	5,6	3,4	4,1

S.I. Sin información, hiato en el registro.

Fuente: (WSP, 2020) recopilado de IDEAM.

Porcentaje de horas de luz solar Ps [%]

Dato meteorológico, el porcentaje de horas de sol mensuales con respecto al año. En el presente estudio los datos de horas de luz solar fueron extraídos de los registros del IDEAM y se encuentran adjuntos en el Anexo O Información meteorológica (Ver Tabla 80).

Tabla 80. Registros de porcentaje de horas de sol con respecto al periodo entre 10-2017 y 09-2018 en el área de estudio.

C.UNIV.AGROP-UDCA												
Mes	Oct	Nov	Dic*	Ene*	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Horas de luz solar / mes	85,3	109	169	166	140	89,1	54	60,7	72,7	77,1	107	87,9
Ps [%] Con respecto a 4425 Hrs	1,93	2,45	3,81	3,75	3,17	2,01	1,22	1,37	1,64	1,74	2,41	1,99

Fuente: (WSP, 2020) recopilado de IDEAM.

10.5.2.4.1.4 Recarga al acuífero

El agua que recarga al acuífero es aquella que logra percolar a niveles más profundos del subsuelo luego de que han ocurrido los procesos de interceptación por parte de las plantas, escorrentía y evapotranspiración.

Consistencia entre unidades de las variables

Con el objetivo de mantener la consistencia entre las unidades de los diferentes parámetros que se emplearán a partir de este punto, las magnitudes actuales que se encuentran en porcentajes por peso de suelo seco (Ver Tabla 77) han de convertirse a milímetros sobre m². Se deben de convertir la humedad del suelo (Hsi), punto de marchitez (PM) y capacidad de campo (CC); inicialmente multiplicando la densidad aparente del suelo por la magnitud porcentual de entrada obteniéndose un porcentaje con respecto al volumen. (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006):

$$\%_{por\ Volumen} = (\%_{peso\ de\ suelo\ seco} * Densidad\ Aparente)$$

Densidad aparente (DS) [g/cm³]

Expresa la relación de densidad del suelo, masa de suelo seco en gramos dividida sobre centímetros cúbicos. Este valor fue extraído de la metodología de (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006) para suelos de textura franco-arcillosa se estima una densidad aparente de 1,2 g/cm³ (ver Tabla 77). Posteriormente el porcentaje por volumen se multiplica por la profundidad de las raíces en el terreno.

$$Variable\ [mm] = (\%_{por\ Volumen} * Profundidad\ de\ raíces)$$

Profundidad de raíces (PR) [mm]

Es en este horizonte en donde la planta podrá hacer uso del suelo y será esta agua la que está sujeta a ser evapotranspirada y afectará el balance de suelos (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006), según la metodología este dato depende del tipo de vegetación que cubre el área que en el caso de la zona de estudio, son pastizales y tienen una profundidad de raíces de 500 mm (ver Tabla 81).

Tabla 81. Profundidad de raíces según el tipo de vegetación.

Cultivo	Metros	Cultivo	Metros
Alfalfa	1 a 2	Cebolla	0,3 a 0,5
Algodón	1 a 1,7	Cítricos	1,20 a 2,0
Banano	0,5 a 0,8	Zacate	0,3 a 0,5
Caña de azúcar	1,20 a 2,0	Bosques	2,0 a 3,0
Frijol	0,5 a 0,7		

Fuente: (Schosinsky & Losilla, Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual, 2000).

Los resultados de las conversiones se encuentran en la Tabla 82.

Tabla 82. Conversión de variables de peso por porcentaje de suelo seco a milímetros.

Variable	%Peso Seco	% Volumen	[mm]
CC	31,0	37,2	186,0
PM	15,0	18,0	180,0
HSi	31,0	37,2	186,0

Fuente: (WSP, 2020).

Coeficientes de humedad (Ch)

Cuando llueve el agua que se infiltra se acumula en los poros del suelo y alcanza capacidad de campo, la cual es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Tras finalizar el aguacero ocurre la evapotranspiración cuando las raíces de las plantas absorben el agua entre los poros del suelo. Si la cantidad de agua infiltrada es más que suficiente para que el suelo alcance la capacidad de campo y supla la evapotranspiración, el agua sobrante será la que percole y recargue el acuífero. Para continuar con el proceso se han de conocer los coeficientes de humedad.

Llamado coeficiente de humedad (Ch) dado por la ecuación:

$$Ch = \frac{\text{humedad del suelo} - \text{punto de marchitez}}{\text{capacidad de campo} - \text{punto de marchitez}}$$

Se definirán dos coeficientes de humedad. Ambos a final de mes, pero en uno no ha ocurrido el fenómeno de evapotranspiración (ETP), (C1) y (C2), respectivamente.

C1

Al comienzo de un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiera una evapotranspiración inmediata, la precipitación infiltrada (Pi) aumentaría la humedad del suelo, favoreciendo una mayor evapotranspiración posterior. Para esta situación se tiene un coeficiente de humedad a final de mes llamado C1 definido como:

Dónde:

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC - PM)$$

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.
Hsi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].
PM = Punto de marchitez en [mm].
Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].
CC = Capacidad de campo en [mm].

C2

Pero si, por el contrario, se considera la ETP sucede una vez ocurrida la infiltración el coeficiente sería

$$C2 = (HSi - PM + Pi - ETR1) / (CC - PM)$$

En donde ETR1 = (C1)(ETP)

Dónde:

C2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.
ETR1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.
ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

El valor de C1 corresponde al coeficiente de humedad máximo pues considera la humedad al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia sin ocurrir la evapotranspiración. En cambio, el valor de C2 es el coeficiente de humedad mínimo pues está calculado con la humedad del suelo anterior al cual se le ha restado la evapotranspiración mensual. Por lo tanto, el coeficiente C2 se aproxima al coeficiente de humedad al final de mes (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006).

C promedio

Como la infiltración y la evapotranspiración ocurren simultáneamente durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes equivale al promedio entre C1 y C2:

$$C_{promedio} = \frac{C1 + C2}{2}$$

Lo cual quiere decir que la evapotranspiración potencial real en un mes estaría definida por:

$$ETPR (mm/mes) = ((C1 + C2)/2) ETP$$

Dónde:

ETPR= Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes]

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes]

Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso de que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0.

Humedad disponible (HD) [mm/mes]

Se define como la humedad que las raíces de las plantas pueden absorber para poder evapotranspirar. Está dada por la diferencia entre la suma de la humedad inicial del suelo, la precipitación infiltrada y el punto de marchitez (estando Hsi y el PM previamente convertidas a [mm]).

$$HD (mm/mes) = HSi + Pi - PM$$

Dónde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

Hsi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

La humedad disponible (HD) promedio del suelo para el área de estudio fue de 130,37 mm.

Evapotranspiración real (ETR) [mm/mes]

Se define a la evapotranspiración real como la evapotranspiración promedio de la zona dada en milímetros por mes (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006). El cálculo de la evapotranspiración real la depende de:

$$Si ((C1 + C2/2))ETP \leq HD, entonces ETR = ((C1 + C2/2))ETP$$

Pero cambio:

$$Si ((C1 + C2/2))ETP > HD, entonces ETR = HD$$

Dónde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

HD = Humedad disponible [mm/mes]

El valor de la evapotranspiración real (ETR) en la zona de estudio fue de un total de 371,04 mm/año.

Humedad inicial del suelo (Hsi) [mm]

Este valor corresponde a la capacidad de campo (CC) del primer mes de tiempo seco tras la ocurrencia de una temporada de tiempo húmedo en la cual la precipitación infiltrada (Pi) superó a la evaporación potencial (ETP). En este caso diciembre con un porcentaje de humedad por peso seco de 31,0% o 186 mm.

Humedad final del suelo (Hsf) [mm]

Con el fin de poder realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se ha de conocer la humedad del suelo al final del mes (Hsf), esta no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación la cual presenta ciertas condiciones:

$$\begin{aligned} \text{Si } (HD + PM - ETR)ETP < CC, \text{ entonces } Hsf &= HD + PM - ETR \\ \text{Si } (HD + PM - ETR)ETP \geq CC, \text{ entonces } Hsf &= CC \end{aligned}$$

Dónde:

Hsf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

La humedad final del suelo (Hsf) en ningún momento puede ser mayor a la capacidad de campo CC.

Y la para el cálculo de la humedad del suelo a inicio de mes (Hsi) dada por los siguientes parámetros:

Hsi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior [mm]

Hsi = Humedad del suelo inicial (inicio de mes) [mm].

Hsf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

En promedio la humedad del suelo al final del mes fue un promedio de 177,38 mm/mes en el área de estudio.

Recarga potencial al acuífero (Rp) [mm/mes]

La recarga al acuífero ocurre cuando el suelo se lleva a capacidad de campo y se satisface la evapotranspiración. El agua que sobra es la recarga al acuífero y se calcula con la siguiente ecuación (Schosinsky, Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, 2006):

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Dónde:

R_p = Recarga potencial mensual en mm/mes.

P_i = Precipitación que infiltra en mm/mes.

H_{sf} = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

Se calculó un valor de recarga potencial anual de 111,97 mm/año para la zona de estudio.

10.5.2.4.1.5 Resumen de variables y resultados

En la Tabla 83 se presentan las variables de entrada para el cálculo de balance de suelos.

Tabla 83. Variables de entrada para el balance hídrico de suelos.

VARIABLES DE ENTRADA		
Textura de suelo	Franco-arcilloso	
Cap. De Infiltración	f'c [mm/d]	53,12
Coef. Follaje	Cfo [0.01%]	0,12
Coef. Pendiente	Kp [0.01%]	0,19
Coef. Vegetación	Kv [0.01%]	0,18
Coef. Textura de suelo	Kfc [0.01%]	0,34
Coef. Infiltración	Ci [0.01%]	0,70
Densidad aparente.	DS [g/cm ³]	1,20
Profundidad radicular	PR [mm]	500,00
Capacidad de campo	CC [%S.Seco]	31,0%
	CC [%V.Total]	37,2%
	CC [mm]	186,00
Punto de marchitez	PM [%S.Seco]	15,0%
	PM [%V.Total]	18,0%
	PM [mm]	90,00
Humedad inicial del suelo	Hsi [%S.Seco]	31,0%
	Hsi [%V.Total]	37,2%
	Hsi [mm]	186,00
N° mes inicial	12	

Fuente: (WSP, 2020).

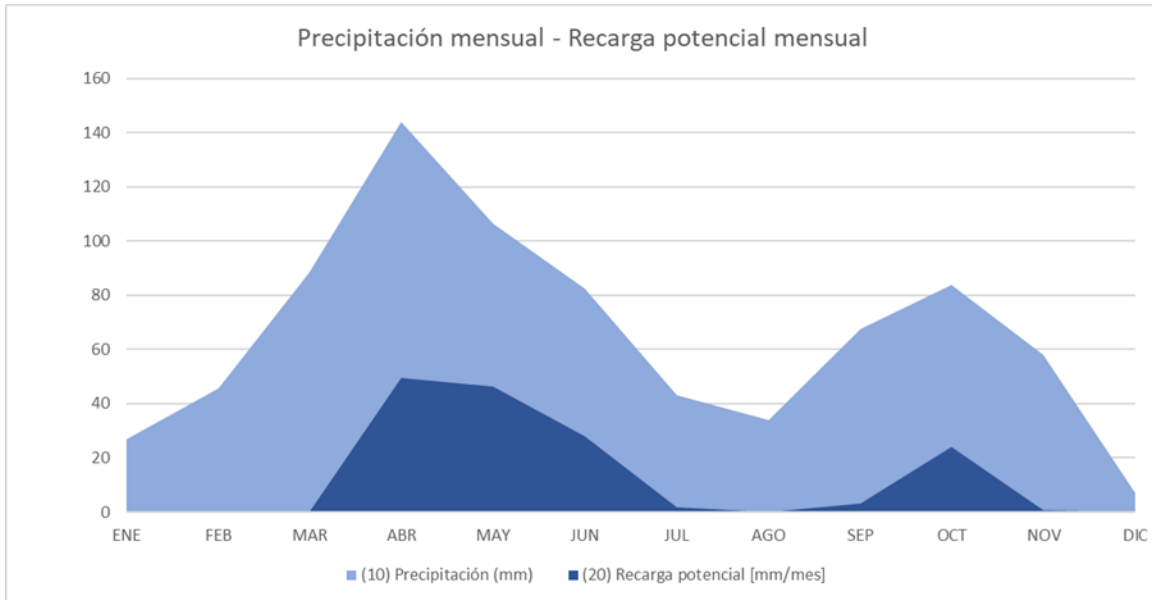
Como se mencionó anteriormente el valor de recarga potencial al acuífero durante el año es de 153,38 mm/año. La recarga al acuífero se da en los meses en los cuales la precipitación es más intensa, la radiación solar es más débil y la cantidad de agua que se infiltra es mayor que aquella que es evapotranspirada de nuevo a la atmósfera; estos meses de recarga tienen una distribución bimodal de abril a junio y luego de septiembre a noviembre; abril es el mes en donde se presentó más recarga al acuífero con 49,63 mm/mes (ver Tabla 84) y el patrón gráfico de esta distribución de la recarga se aprecia en la Figura 238. Los datos de entrada, variables y la hoja de cálculo se encuentran en los: Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología, Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo Numérico y Anexo O Información meteorológica.

Tabla 84. Variables calculadas y resultados del balance hídrico suelos.

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P [mm/mes]	26,86	45,48	88,32	144	106,4	82,48	43,12	33,84	67,5	83,74	57,97	7,1	786,8
Ret [mm/mes]	5	5,458	10,6	17,28	12,77	9,898	5,174	5	8,1	10,05	6,956	5	101,3
Pi [mm/mes]	15,4	28,2	54,76	89,28	65,98	51,14	26,73	20,32	41,85	51,92	35,94	1,48	483,0
ESC [mm/mes]	6,458	11,82	22,96	37,44	27,67	21,44	11,21	8,52	17,55	21,77	15,07	0,62	202,5
T [°C]	14,2	14,3	14,6	14,2	13,8	13	13,4	12,1	13,3	13,9	13,8	13,9	13,7
Ps [%]	3,75	3,17	2,01	1,22	1,37	1,64	1,74	2,41	1,99	1,93	2,45	3,81	2,3
ETP [mm/mes]	54,87	46,53	29,78	17,85	19,79	23,09	24,82	32,94	28,29	27,97	35,4	55,22	396,6
Hsi [mm/mes]	147,7	133,3	135,2	164,2	186	186	186	186	175,5	186	186	186	171,5
C1	0,762	0,744	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0
C2	0,326	0,384	0,731	1	1	1	1	0,869	1	1	1	0,44	0,8
ETPR [mm/mes]	29,85	26,24	25,78	17,85	19,79	23,09	24,82	30,77	28,29	27,97	35,4	39,76	329,6
HD [mm]	73,12	71,47	99,98	163,5	162	147,1	122,7	116,3	127,4	147,9	131,9	97,48	121,7
ETR [mm/mes]	29,85	26,24	25,78	17,85	19,79	23,09	24,82	30,77	28,29	27,97	35,4	39,76	329,6
HSf [mm/mes]	133,3	135,2	164,2	186	186	186	186	175,5	186	186	186	147,7	171,5
Rp [mm/mes]	0	0	0	49,63	46,19	28,05	1,916	0	3,106	23,95	0,545	0	153,4
<i>* Humedad de suelo inicial de diciembre = CC. El ciclo continúa en enero.</i>													

Fuente: (WSP, 2020).

Figura 238. Gráfica de la distribución de la recarga potencial al acuífero a lo largo del año.



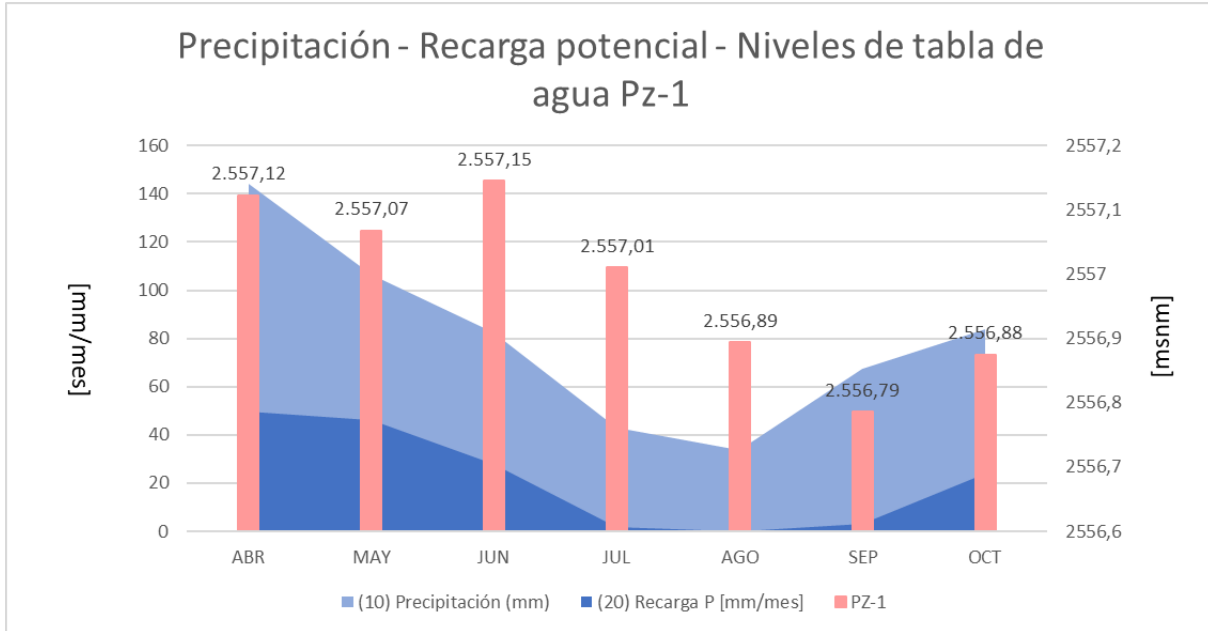
Fuente: (WSP, 2020).

Relación entre la recarga potencial y el nivel de la tabla de agua

En las Figura 239, Figura 240, Figura 241, Figura 242 y Figura 243 se grafica la relación entre la precipitación mensual [mm], la recarga potencial mensual [mm] y el nivel de la tabla de agua medido por los Divers en los piezómetros, primero en el caso de cada uno de los piezómetros PZ-1, PZ-2, PZ-3, PZ-4 y los valores promedio para los cuatro puntos. En todos los piezómetros se observa una correlación entre la precipitación, la recarga y el nivel de la tabla de agua.

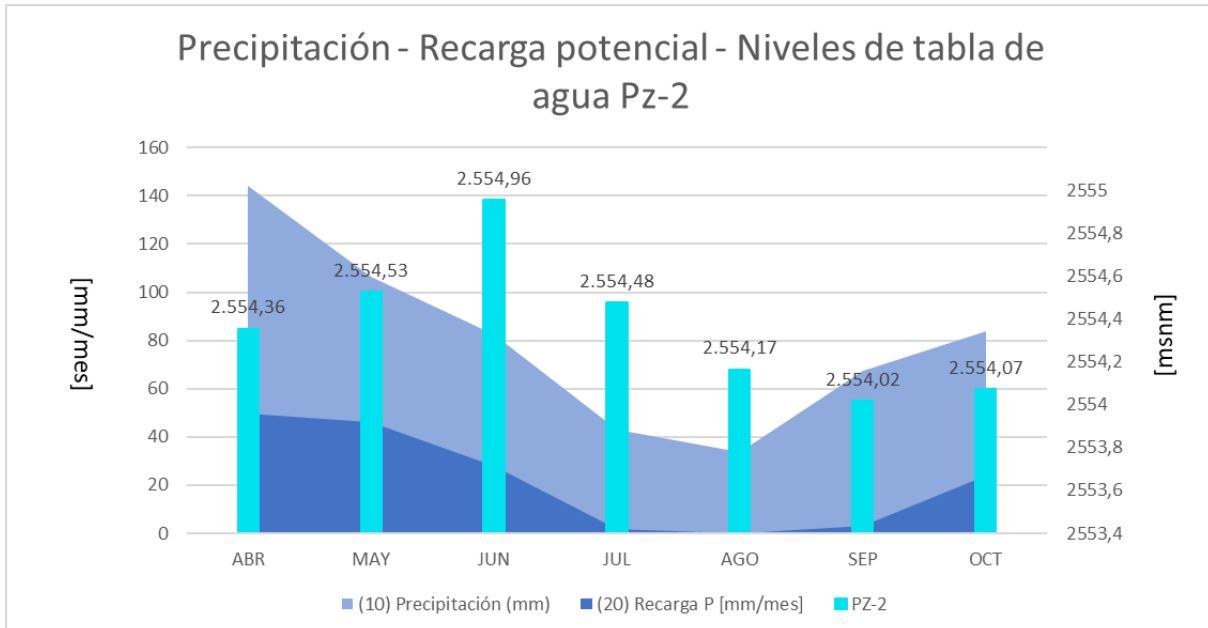
La oscilación de la cota de la tabla de agua es diferente en cada punto: en el PZ-2 FAC se presenta la mayor magnitud de la diferencia entre el máximo (junio) y el mínimo (septiembre) nivel de tabla de agua: 0,939 m. El otro extremo es el piezómetro PZ-1 Acueducto EAB en donde la oscilación fue de 0,359 m. Las oscilaciones se correlacionan con el comportamiento de la precipitación y la recarga de manera en que en los meses en donde se presentan menos precipitaciones, hay una menor recarga potencial al acuífero y a su vez el nivel de la tabla de agua registrada en los piezómetros desciende.

Figura 239 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-1 Acueducto EAB.



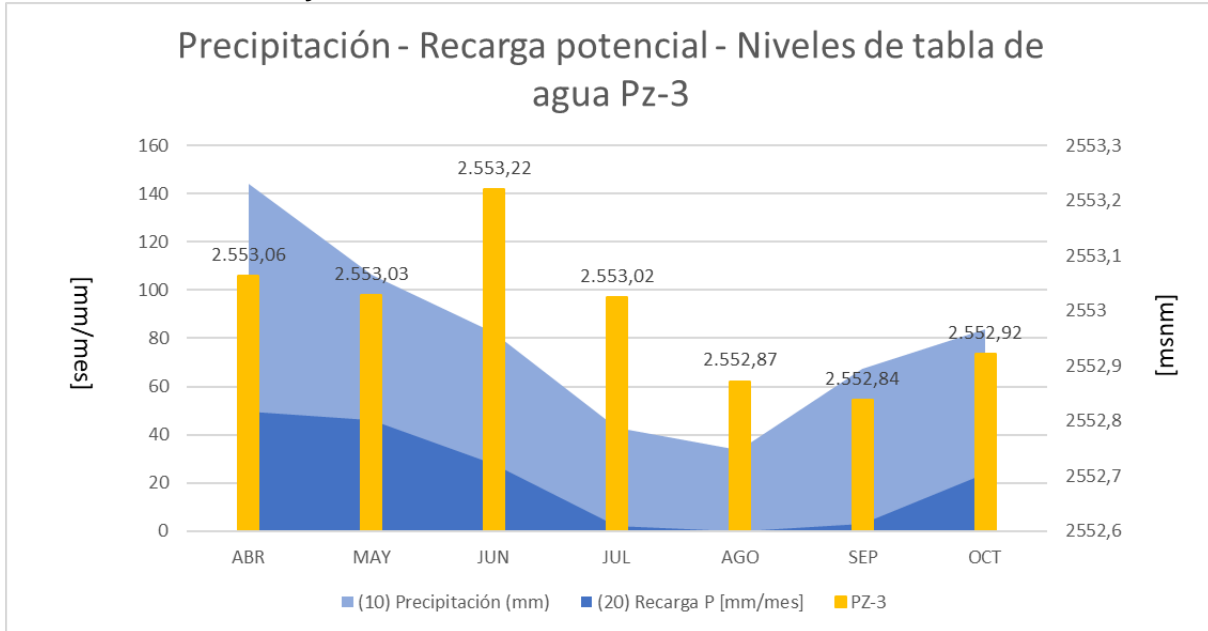
Fuente: (WSP, 2020).

Figura 240 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-2 FAC



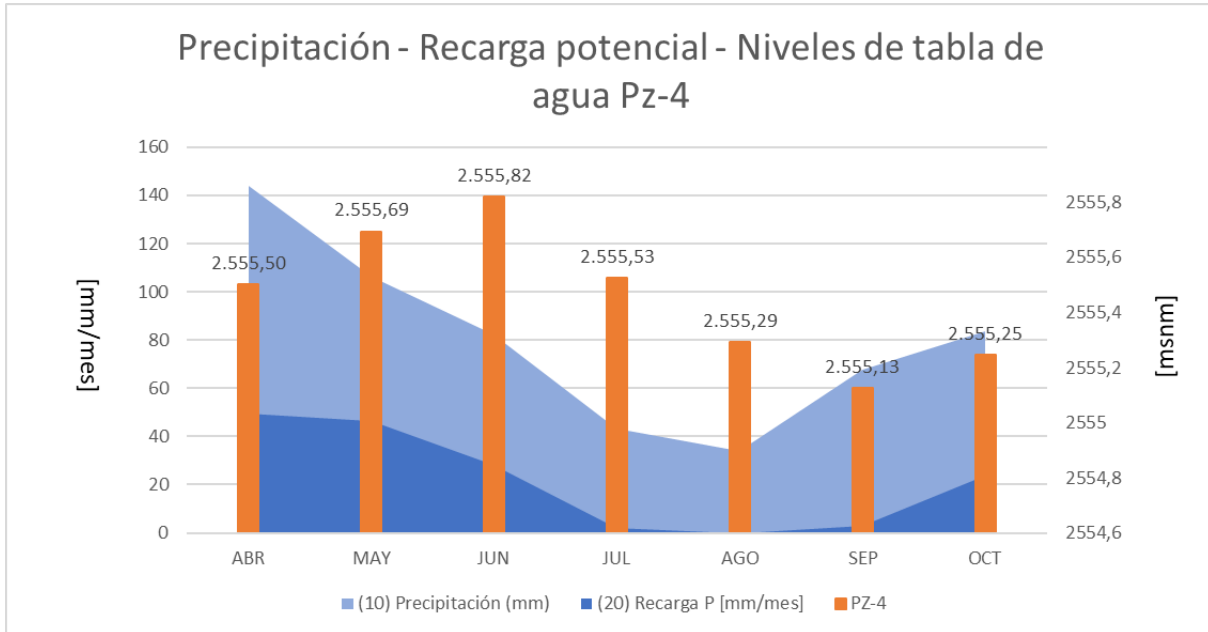
Fuente: (WSP, 2020).

Figura 241 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-3 Guaymaral.



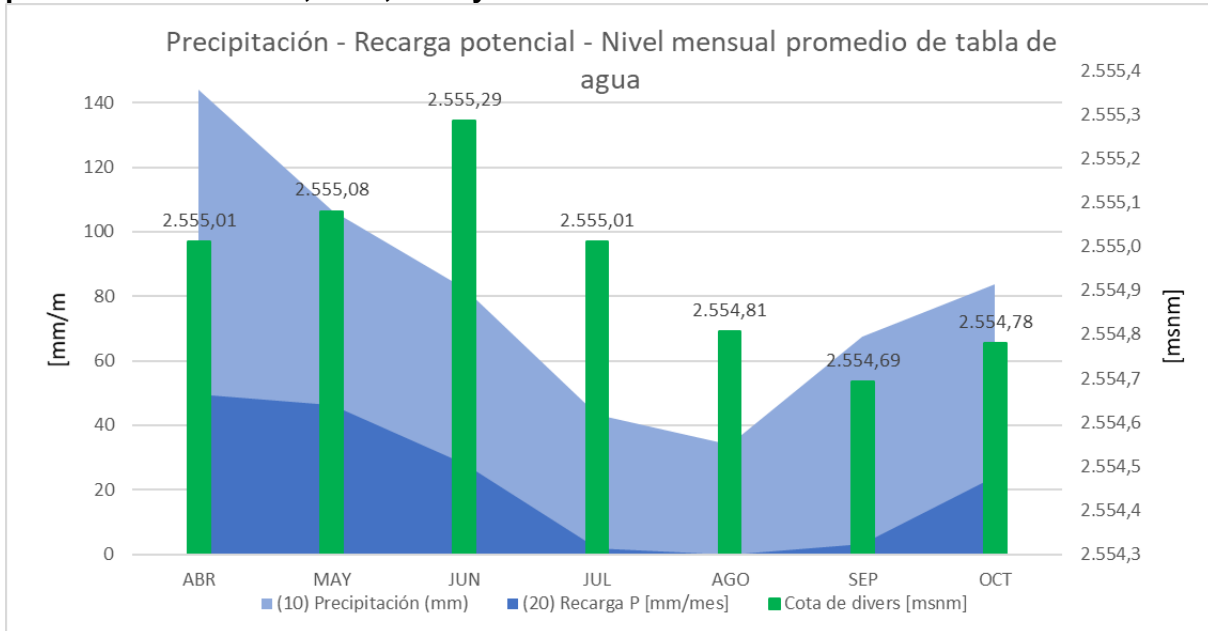
Fuente: (WSP, 2020).

Figura 242 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua mensual de PZ-4 Predio Valmaría.



Fuente: (WSP, 2020).

Figura 243 Relación de la precipitación, recarga potencial y nivel de la tabla de agua promedio de los PZ-1, PZ-2, PZ-3 y PZ-4.



Fuente: (WSP, 2020).

10.5.3 GEOFÍSICA

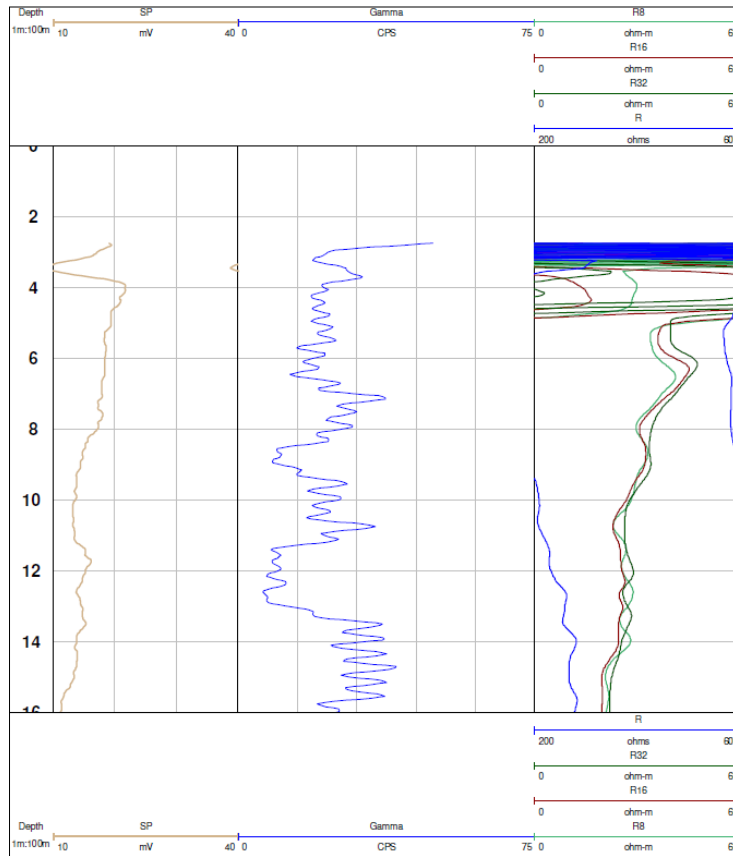
Dentro de la metodología para la elaboración del modelo hidrogeológico es necesario integrar la información geológica y geofísica con el fin de identificar la geometría del sistema acuífero que constituye el área de estudio de Lagos de Torca, a continuación, se describen las características geofísicas que inciden en la definición espacial de los sistemas hidrogeológicas.

10.5.3.1 Registro geofísico de piezómetros

Se realizó la instalación de cuatro piezómetros para la realización del monitoreo del nivel piezométrico que permitiera establecer la variación del nivel piezométrico con el régimen de precipitación en el área de estudio, dentro de esta actividad se corrieron registros eléctricos en los cuatro piezómetros los cuales periten correlacionar los resultados con las características litológicas.

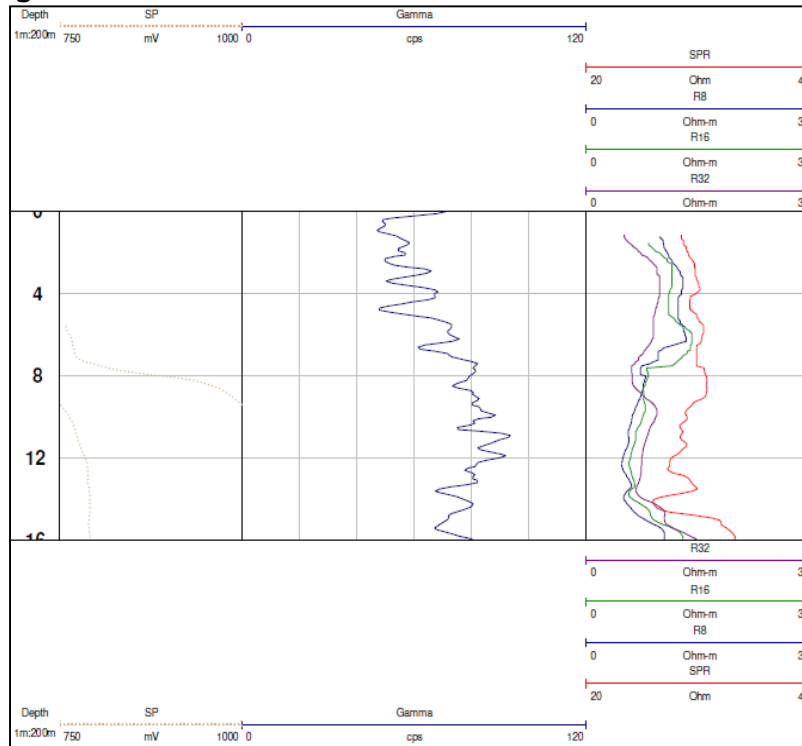
Una vez alcanzada la profundidad programada de los cuatro piezómetros (15 metros), estos se sometieron a una limpieza inyectando agua limpia, para asegurarse que estuviera libre de cualquier material que obstruyera la bajada de las sondas para correr los registros eléctricos con los parámetros de Gamma Ray, Resistividades y SP En la Figura 244 a Figura 247.

Figura 244 Registro eléctrico PZ-WSP-1-Predio EAB



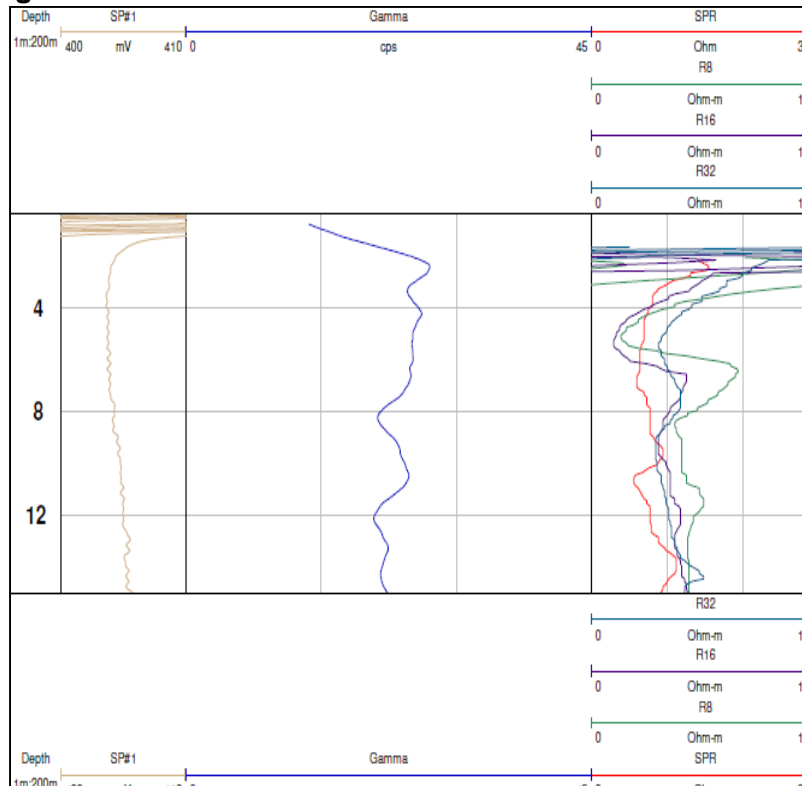
Fuente: WSP, 2019

Figura 245 Registro eléctrico PZ-WSP-2-Predio FAC



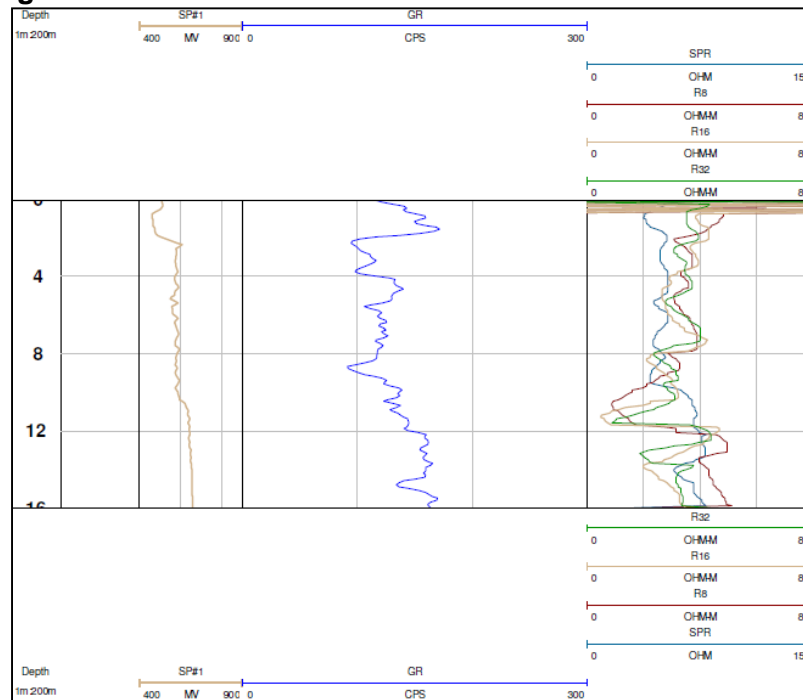
Fuente: WSP, 2019

Figura 246 Registro eléctrico PZ-WSP-3-Predio EL MIMBRE



Fuente: WSP, 2019

Figura 247 Registro eléctrico PZ-WSP-4-Predio VALMARIA



Fuente: WSP, 2019

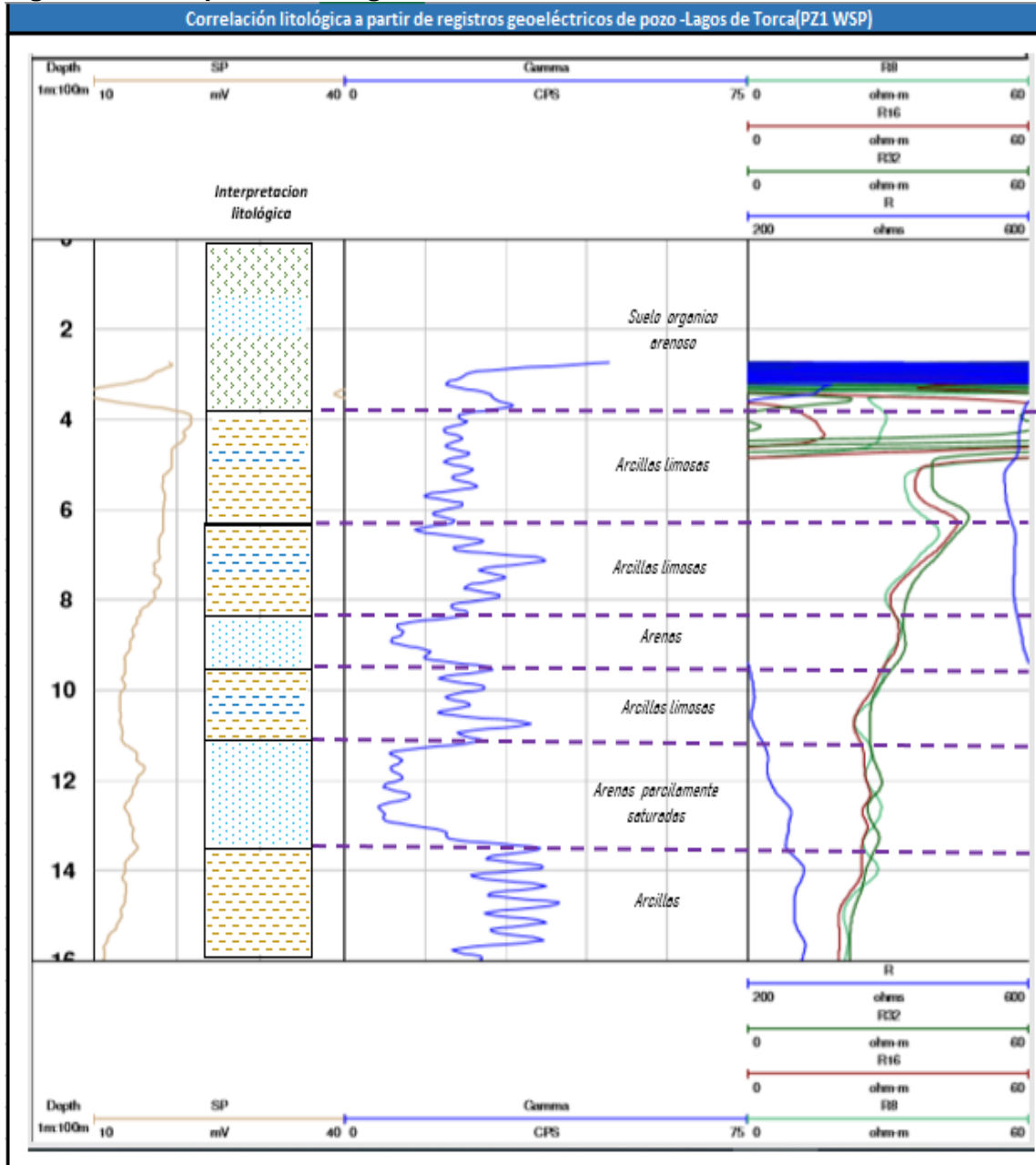
Estos registros eléctricos se correlacionan a arcillas limosas, y arcillas limo arenosas correspondientes a la Formación Sabana NgQ, en promedio los primeros 80 a 100 cm se asocian a arcillas limosas con alto contenido de materia orgánica, los espesores y la correlación entre piezómetros sugieren una distribución planoparalela de las capas que constituyen esta unidad, el espesor de la Formación sabana es de 320 m, sin embargo en cercanías a los cerros orientales este espesor es mucho menor, estudios de ruido sísmico ambiental realizados para la sabana de Bogotá sugieren un espesor de la sabana de Bogotá para el área de Lagos de Torca de 170,7 m (Urrego & Vargas, 2016).

La configuración geológica, las campañas geofísicas y los registros de perforación de los piezómetros sugieren una configuración de capas planoparalelas de textura arcillo limo arenoso, en este sentido el modelo hidrogeológico conceptual representará la dinámica hídrica subterránea del acuífero relacionado a la Formación Sabana de 170 m de espesor, con datos representativos de los primeros 15 m.

Los registros geofísicos realizados a los piezómetros se interpretan litológicamente, se evalúa el comportamiento y la tendencia de cada línea de registro teniendo en cuenta el comportamiento de las sondas de registro R Gamma, resistividades larga y corta, y Potencial espontáneo (SP), donde además se contrastan con los perfiles geológico-geotécnicos que se encuentran en el Anexo A y J. A nivel general y a partir de esta información, se obtienen seis tipos de capas, (para efectos de evaluación de la geometría del acuífero) que incluyen suelos residuales, limos arcillosos, lentes de arena y arcillas consolidadas.

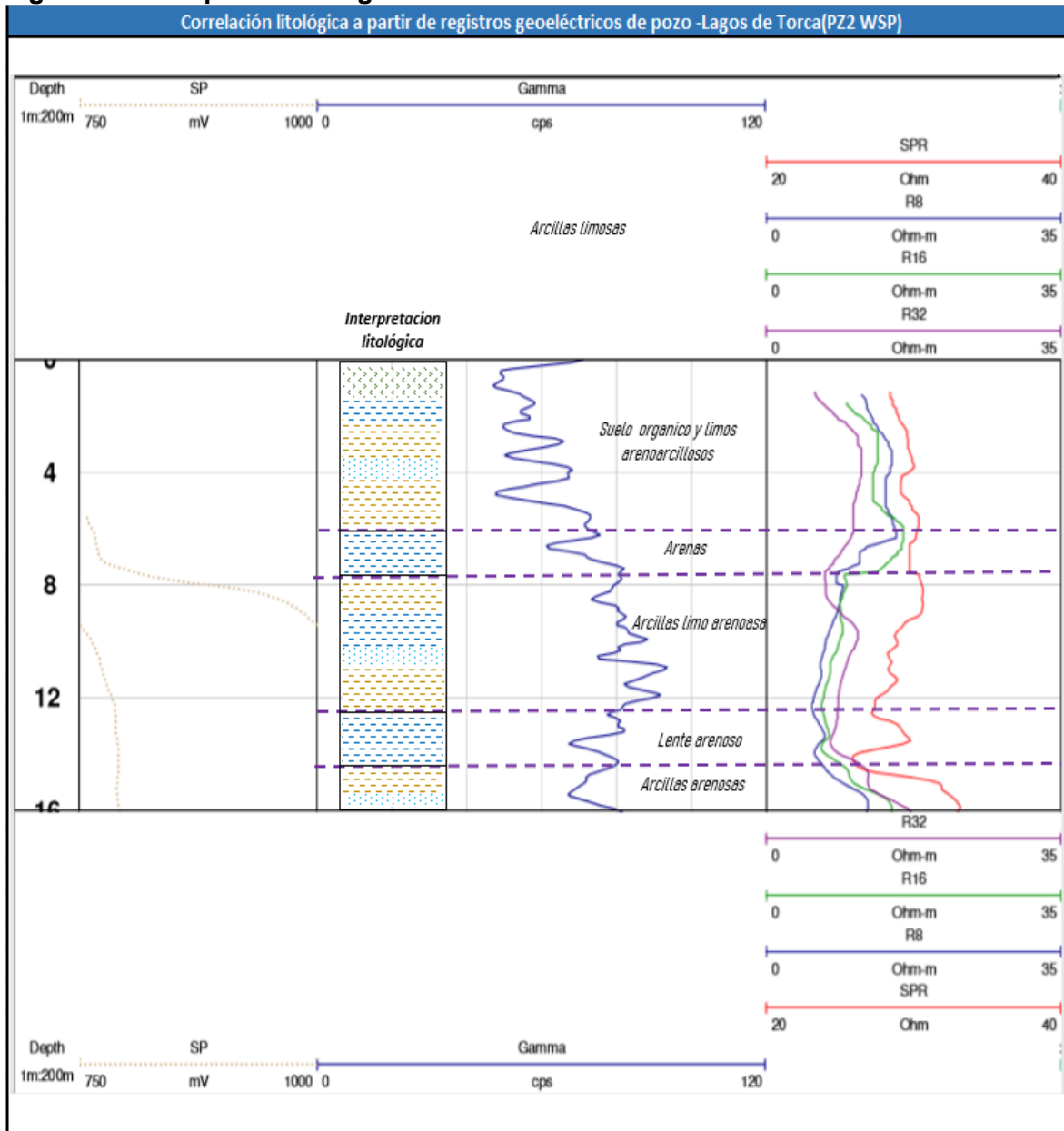
Las interpretaciones realizadas a cada piezómetro con los tres tipos de registros se observan en las **Figura 248** a las **Figura 251**.

Figura 248 Interpretación Registro eléctrico PZ-WSP-1-Predio EAB



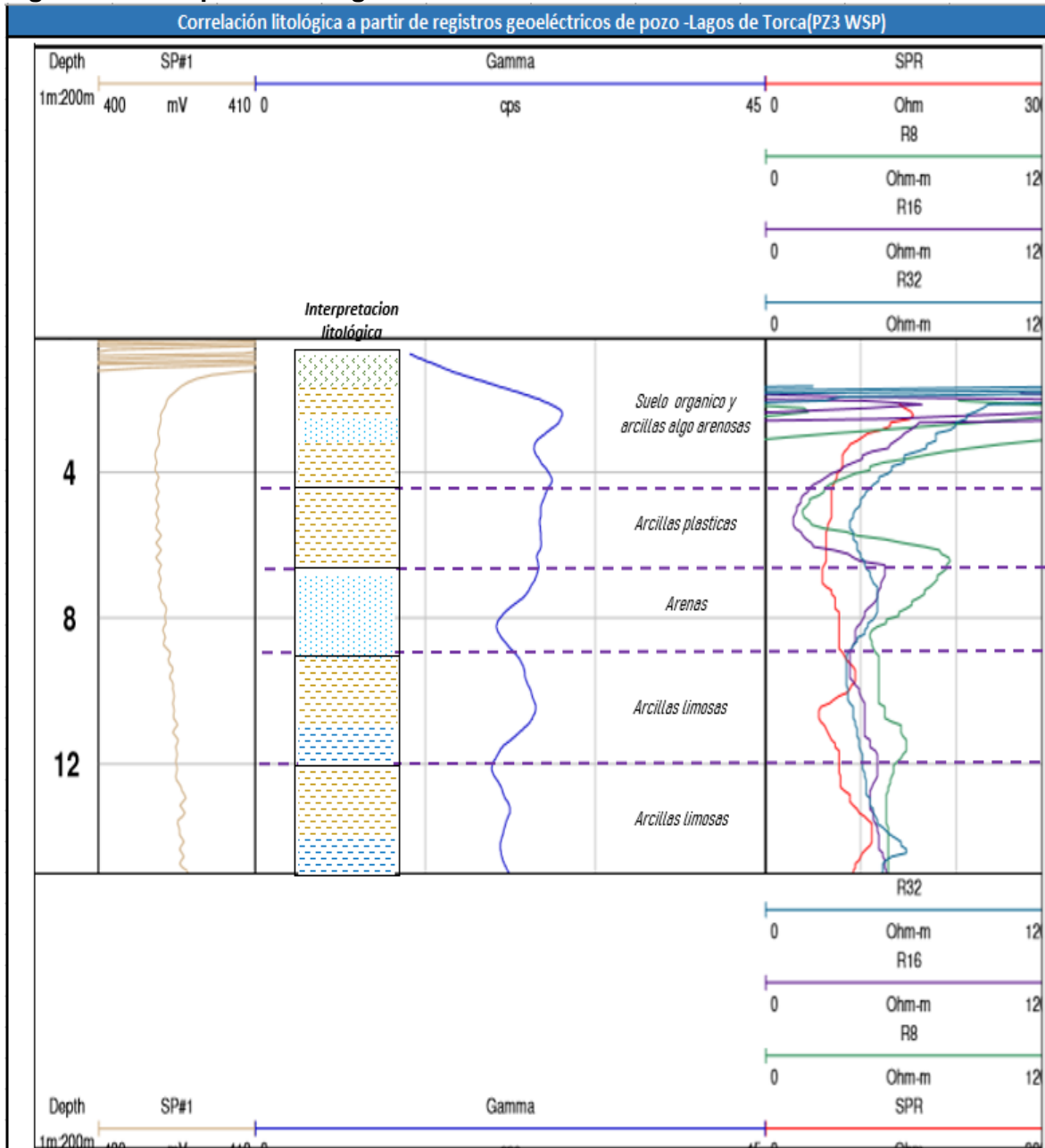
Fuente: WSP, 2020

Figura 249 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-2-Predio FAC



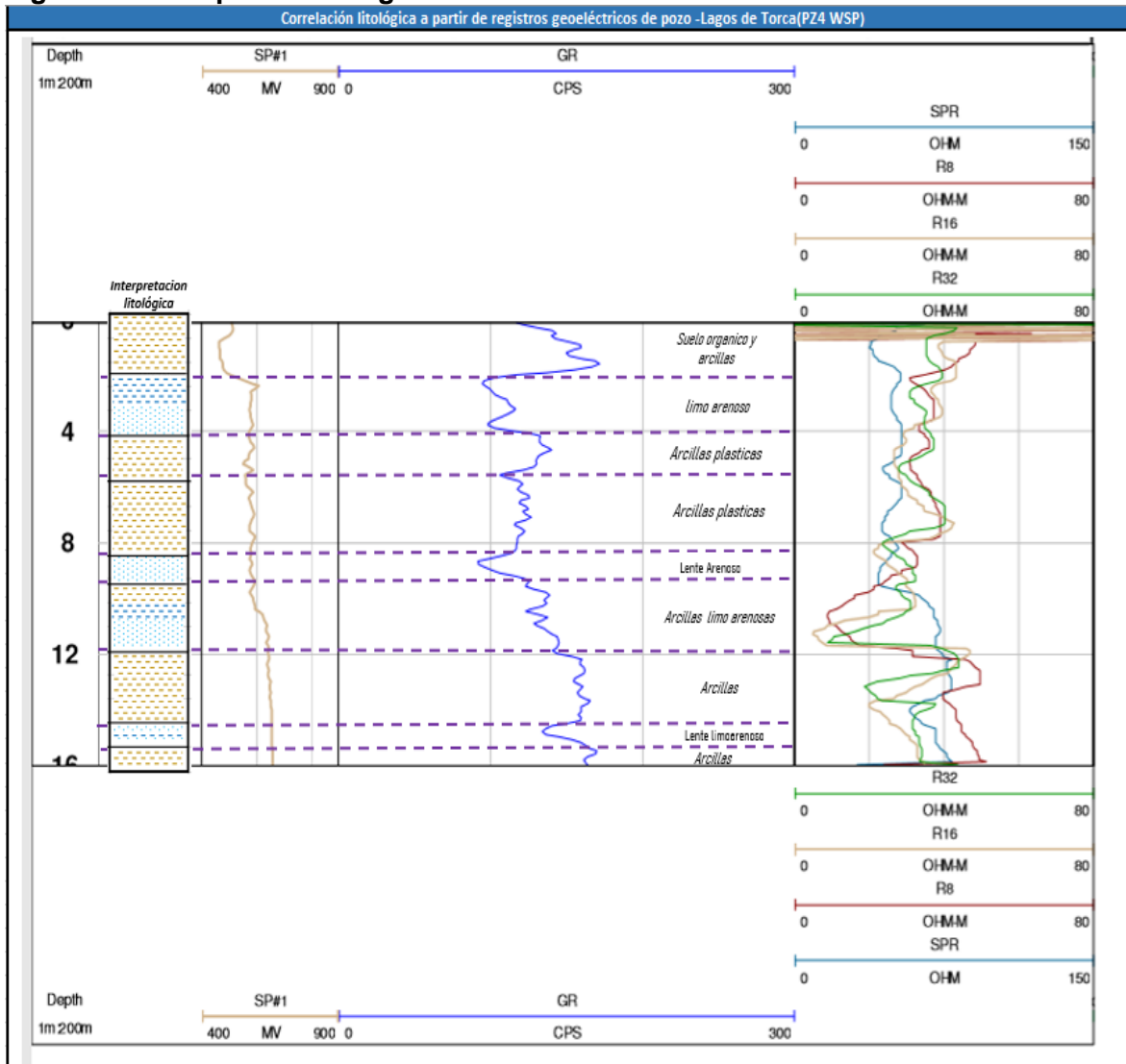
Fuente: WSP, 2020

Figura 250 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-3-Predio EL MIMBRE



Fuente: WSP, 2020

Figura 251 Interpretación registro eléctrico PZ-WSP-4-Predio VALMARIA



Fuente: WSP, 2020

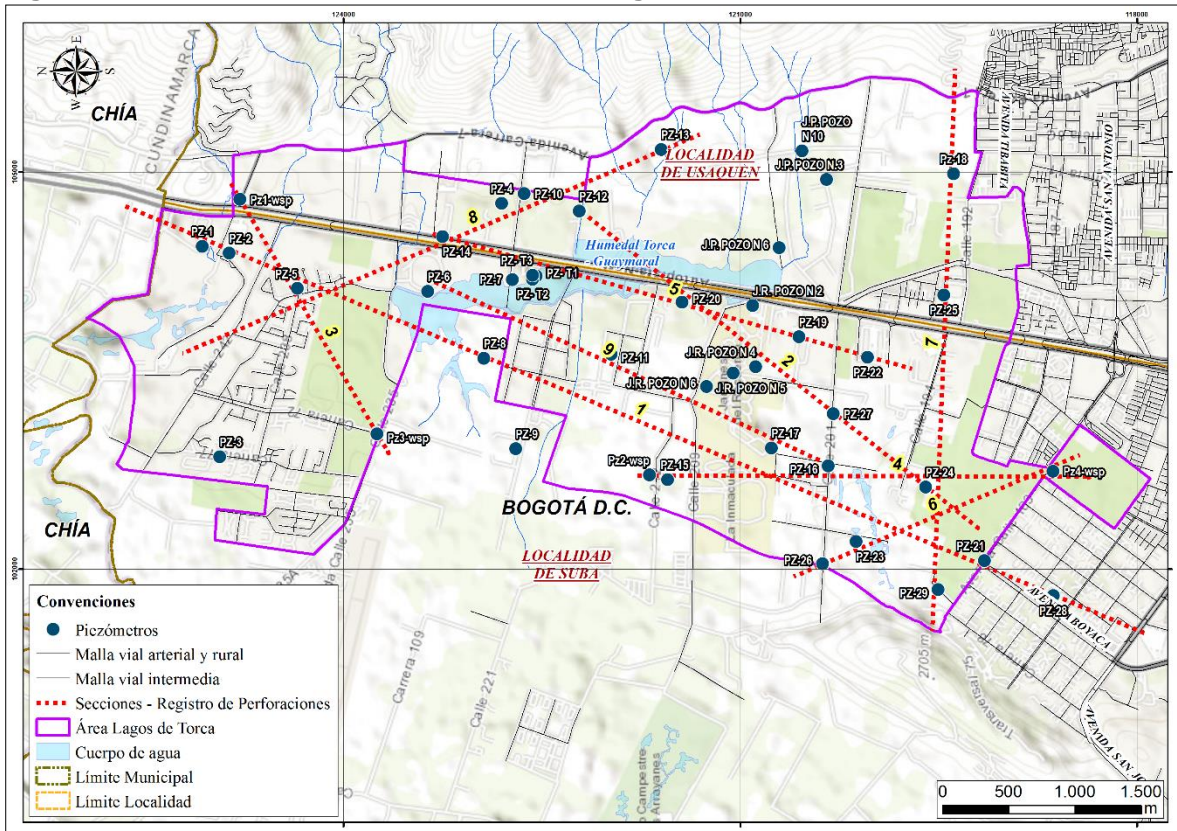
10.5.4 DEFINICION DE LA GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

Dentro de la información disponible para la realización del modelo geométrico del acuífero somero de Lagos de Torca, se contó con el registro geoelectrico de los 4 piezómetros perforados por WSP y los registros geológico-geotécnicos de las perforaciones realizadas para toda el área de estudio.

La definición de la geometría del acuífero consistió en ubicar espacialmente las perforaciones con su respectiva descripción geológica geotécnica y generar un modelo tridimensional, con el fin de verificar una correlación horizontal de la litología definida para cada perforación.

Para ello se trazaron diferentes perfiles en toda el área de estudio, con el fin de lograr un análisis más detallado y así tener en cuenta todos los piezómetros, existentes, ver Figura 252 .

Figura 252 Secciones de análisis del modelo geométrico



Fuente: WSP, 2020

Se tuvo en cuenta además la definición detallada e interpretación de los registros geoelectricos, y los registros de Rayos Gamma, donde una vez realizada la correlación de las resistividades, respecto a las condiciones litoestratigráficas y teniendo en cuenta la profundidad de exploración de hasta 15m se definieron seis capas de evaluación, como se muestra en la **Tabla 85 Figura 253**.

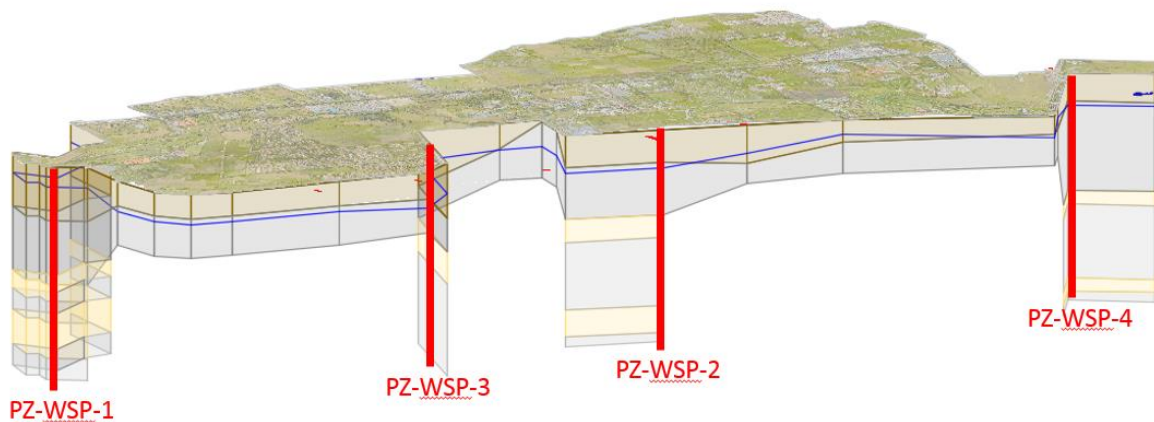
Inicialmente el modelo geométrico se genera en las dos exploraciones hechas a través de las perforaciones y piezómetros que inicialmente no superaban los 8 m, tras las cuatro perforaciones de las actualizaciones se exploró hasta los 15 m de profundidad. Razón por la cual en el modelo hidrogeológico se correlacionarán con el fin de generar un análisis horizontal de las capas que componen el área de estudio.

Tabla 85 Descripción de las capas del modelo geométrico del acuífero somero de Lagos de Torca.

CAPA	DESCRIPCIÓN	Espesor [m]	Profundidad (m)
CAPA 1 Techo	La capa más superficial del modelo comprende suelos orgánicos y material fino: arcillas y limos. Adicionalmente puede contener intercalaciones de lentes de arenas.	2 a 4	0-3,90
CAPA 2	Está conformada por material muy fino en forma de arcillas plásticas, arcillas y limos. En la capa se encuentran gradaciones laterales hacia limos arenosos.	4 a 6	3,90-6,0
CAPA 3	Capa arenosa que lateralmente puede gradar a limos. Capa acuífera.	1 a 2	6,0-8,50
CAPA 4	Capa heterogénea que consistente en intercalaciones de material arcilloso, limos y lentes de arena. Si bien contiene arena, no conforma una buena capa acuífera.	3	8,50-9,50
CAPA 5	Corresponde a un lente arenoso de espesor variable que conforma una de las capas acuíferas.	1 a 2	9,50-12,0
CAPA 6	La capa estratigráficamente más profunda del modelo. Consistente en material de grano fino, consistente en arcillas con algunas gradaciones laterales en las cuales las arcillas presentan una fracción de limos y arenas finas.	Indeterminado	12,0-15,0

Fuente: WSP, 2020

Figura 253 Modelo geométrico del acuífero somero de Lagos de Torca.



Fuente: WSP, 2020

10.5.5 DIRECCIONES DE FLUJO

La definición de las direcciones de flujo consiste en representar la dirección del agua a través de las zonas con mayor o menor permeabilidad. Para este análisis se realizaron mapas con direcciones de agua a partir de isopiezas, en donde la metodología de interpolación define vectores de dirección del flujo subterráneo.

La interpolación de líneas equipotenciales obtenidas de los niveles piezométricos genera líneas equipotenciales las cuales indican la dirección de flujo, se evalúan de manera perpendicular dichas líneas y para el caso corresponden a un análisis vectorial. Con el cual se conforma la red de flujo.

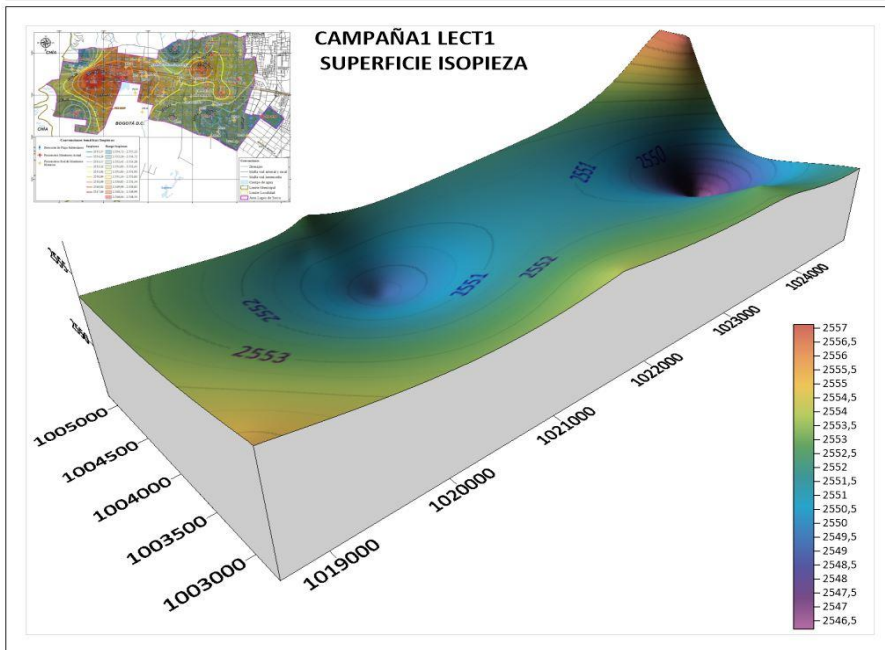
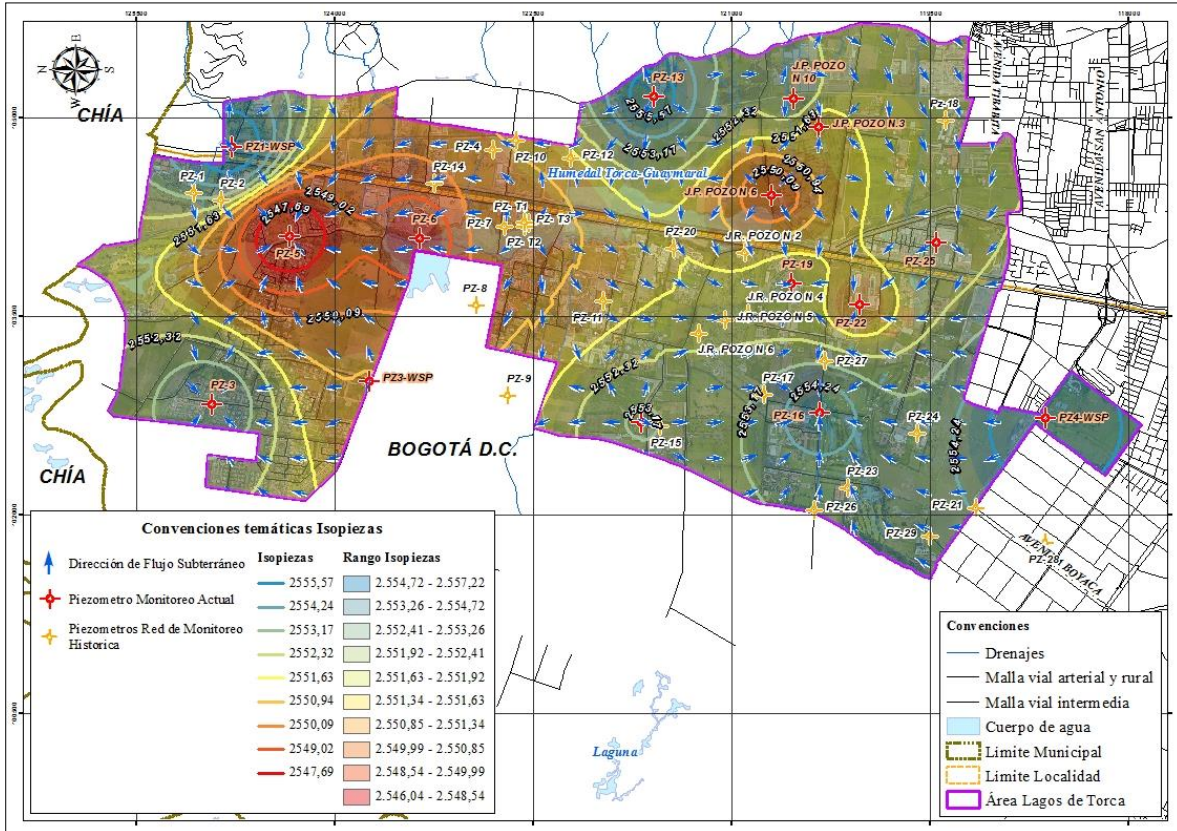
Para el área de estudio se calcularon las direcciones de flujo en cada una de las campañas y se representó sobre el mapa hidrogeológico, como se indica entre la Figura 254 a la Figura 260.

Con el fin de determinar las posibles variaciones del nivel piezométrico más somera, direcciones del flujo subsuperficial y establecer la relación con los cuerpos de agua superficial y su comportamiento con los cambios estacionales dentro del área de estudio, se generan evaluaciones de las direcciones de flujo subterráneo, en seis campañas de monitoreo. A continuación, se incluyen los resultados de análisis de direcciones de flujo en las diferentes campañas de monitoreo, como lo son: Campaña 1 de monitoreo, comprendida entre mediados de abril y mediados de mayo de 2019; Campaña 2 de monitoreo que se realizó los días 18 y 19 de junio de 2019; Campaña 3 realizada los días 17 y 18 de julio de 2019, Campaña 4 que se realizó los días 15 y 16 de agosto de 2019; Campaña 5 que se realizó los días 12 y 13 de septiembre y la Campaña 6 que se realizó los días 8 y 9 de octubre.

La dirección de flujo en el modelo conceptual se incorporó a través de las isopiezas las cuales fueron transformadas en vector para así georreferenciarlas y correlacionarlas en el bloque diagrama, en la vista de perfil. Las direcciones en planta corresponden al flujo superficial interpolado a partir de las curvas de nivel.

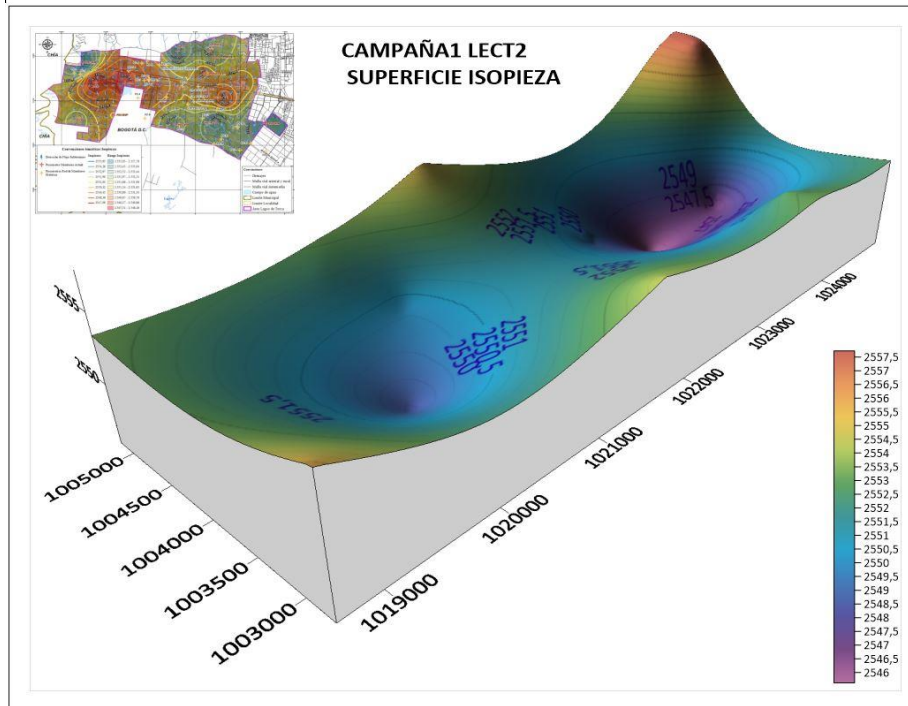
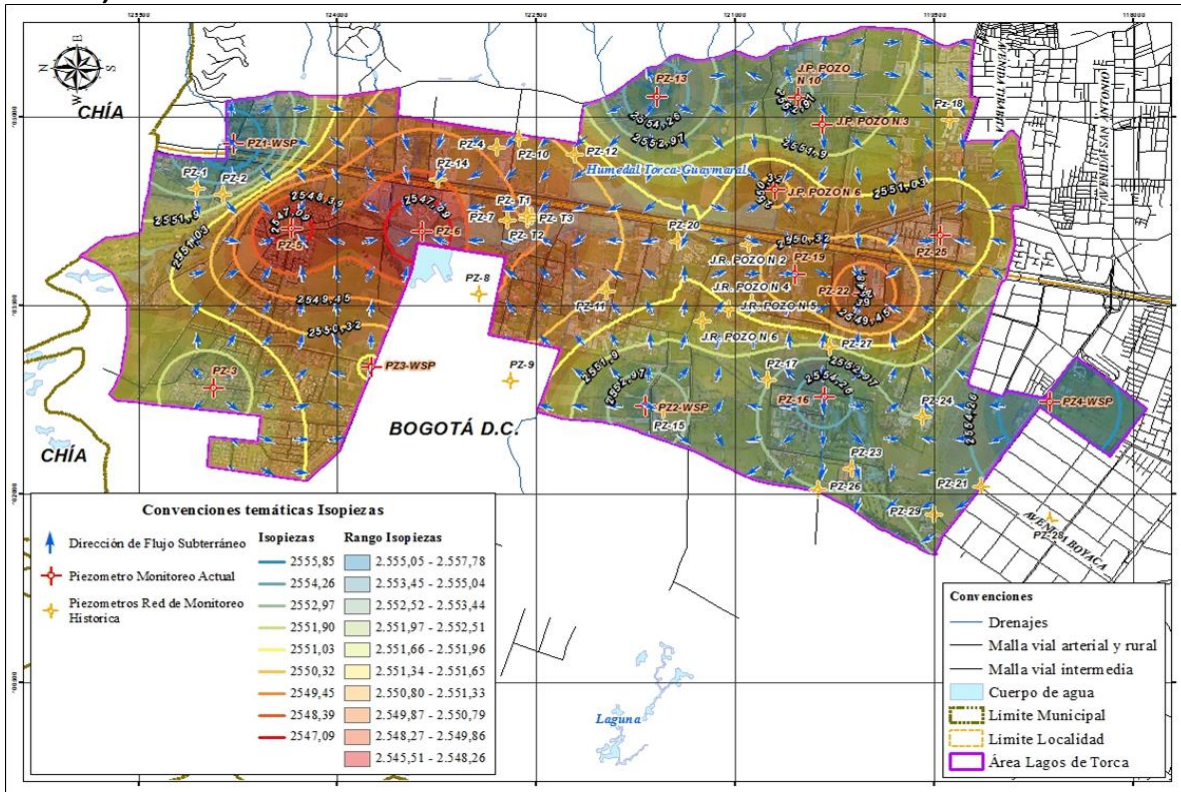
En cuanto a la incorporación dentro del modelo, el proceso se toma a partir de las coordenadas y el valor de cada isopieza los cuales se ingresan en el proceso denominado en el software FEFLOW como piezómetros multicapa.

Figura 254 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 1 (Primera lectura)



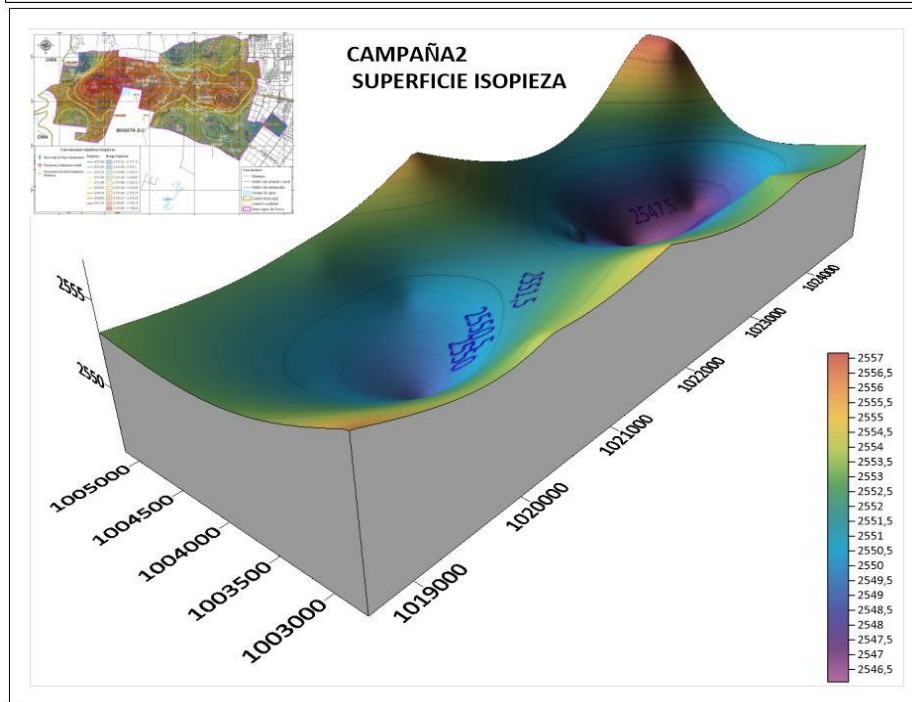
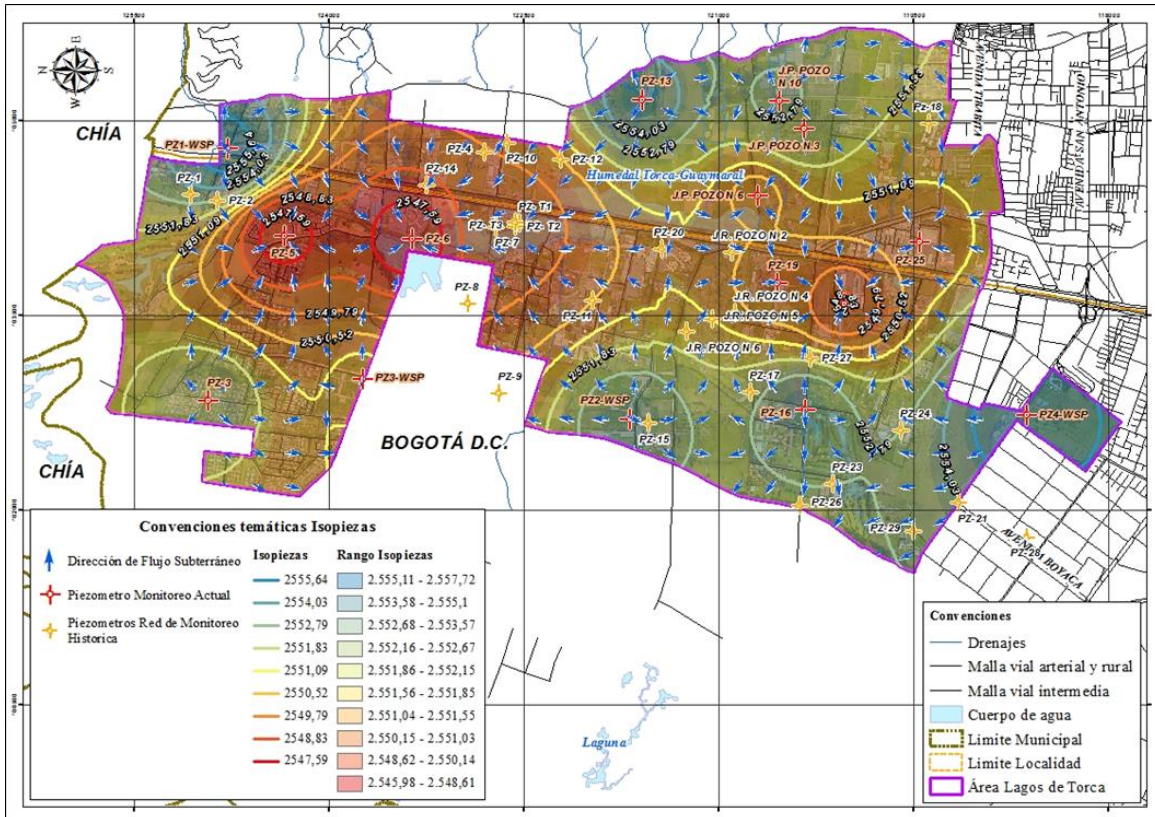
Fuente: WSP., 2020

Figura 255 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 1 (Segunda lectura)



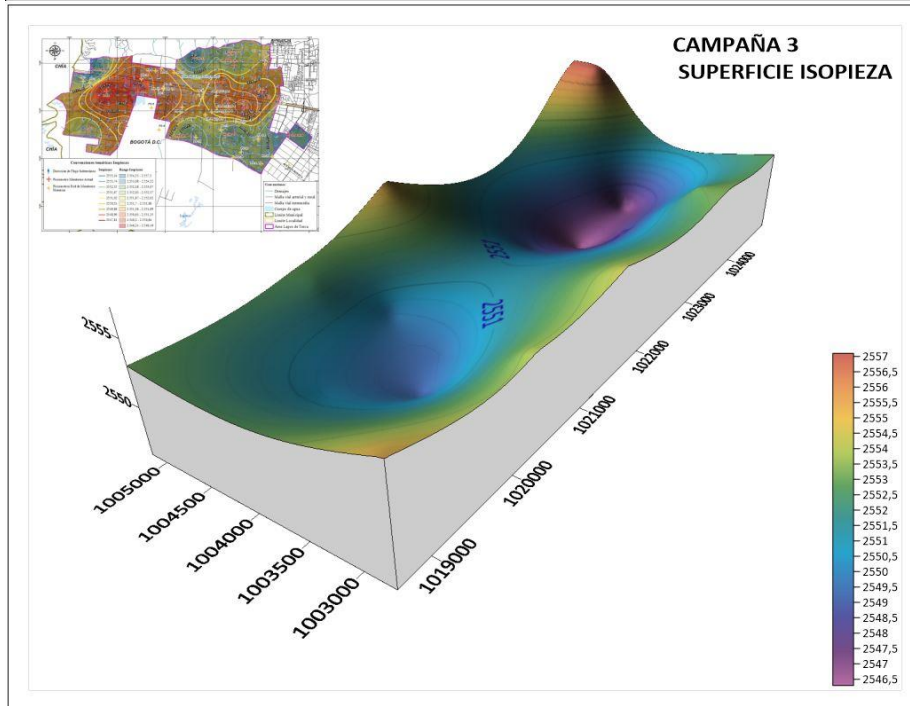
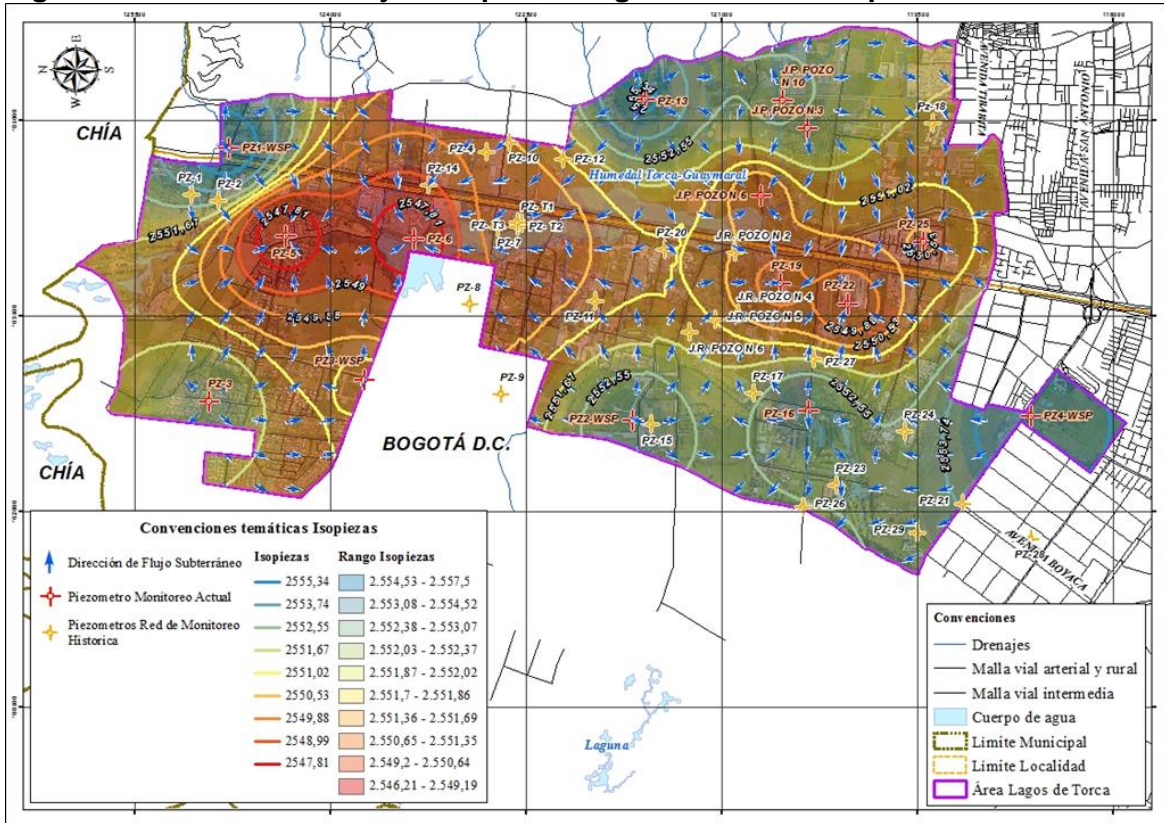
Fuente: WSP., 2020

Figura 256 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 2



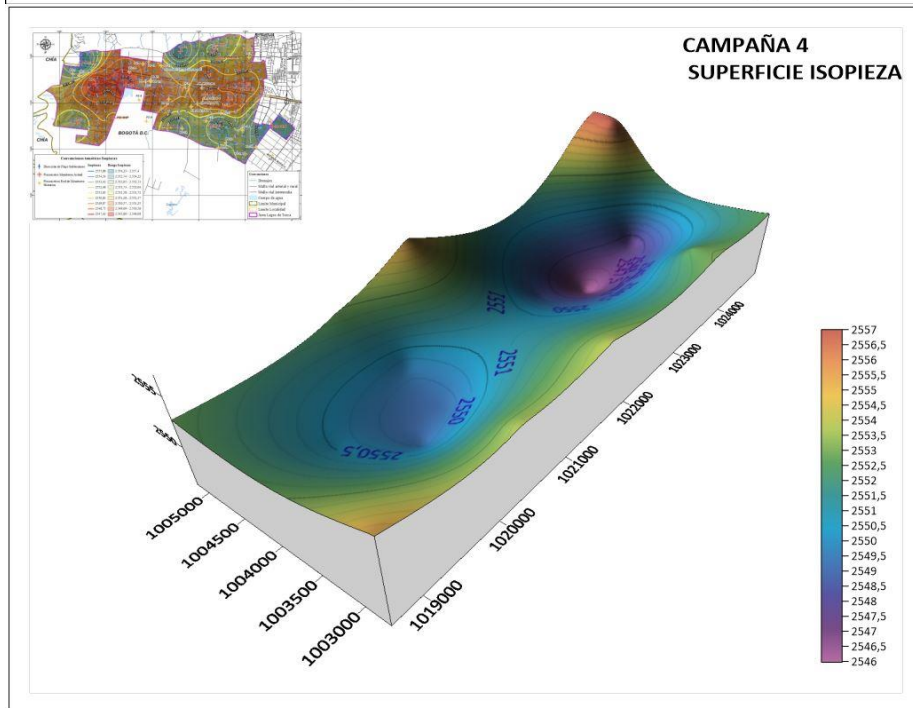
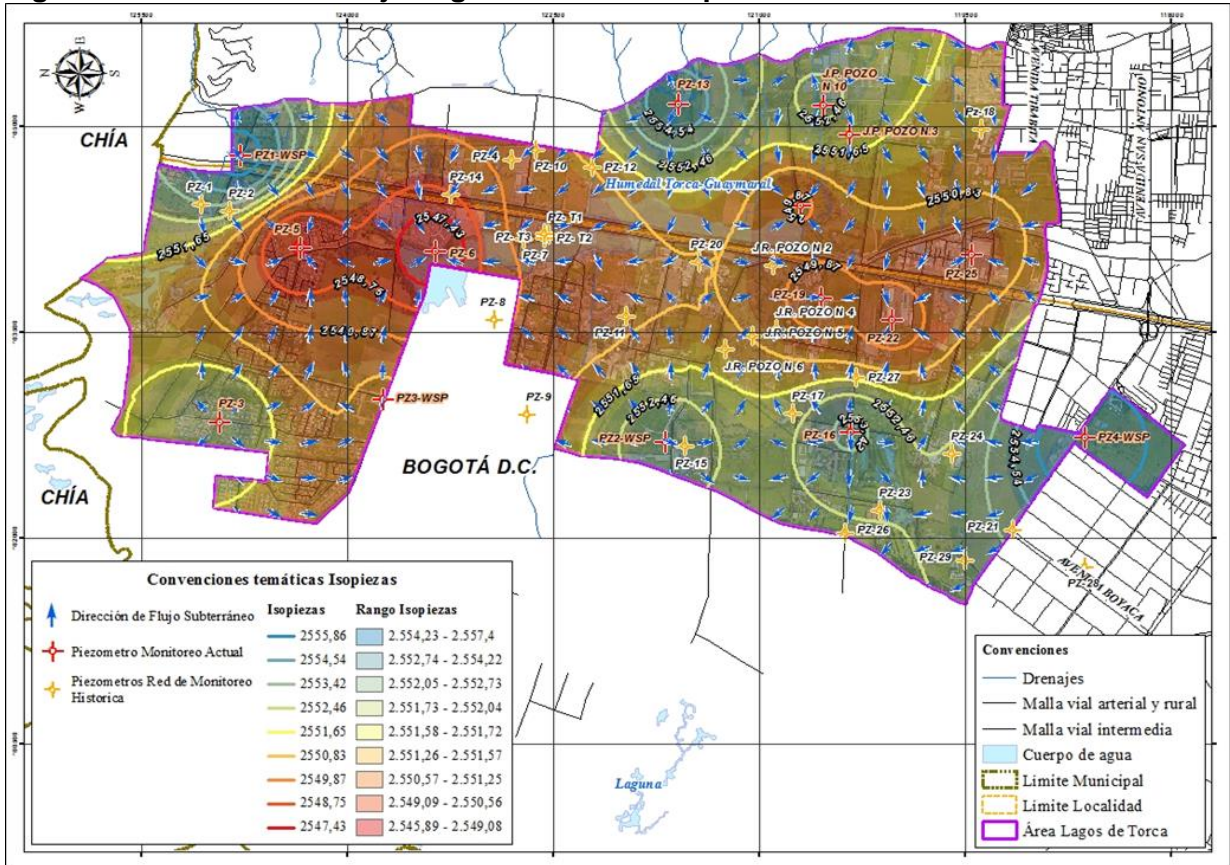
Fuente: WSP., 2020

Figura 257 Dirección de flujo e isopiezas Lagos de Torca Campaña 3



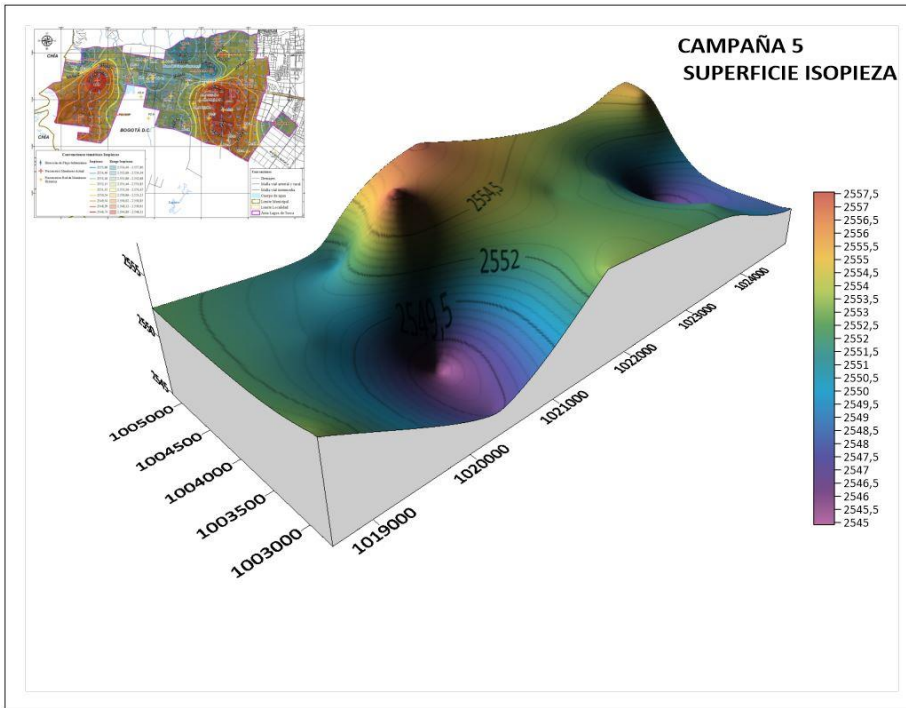
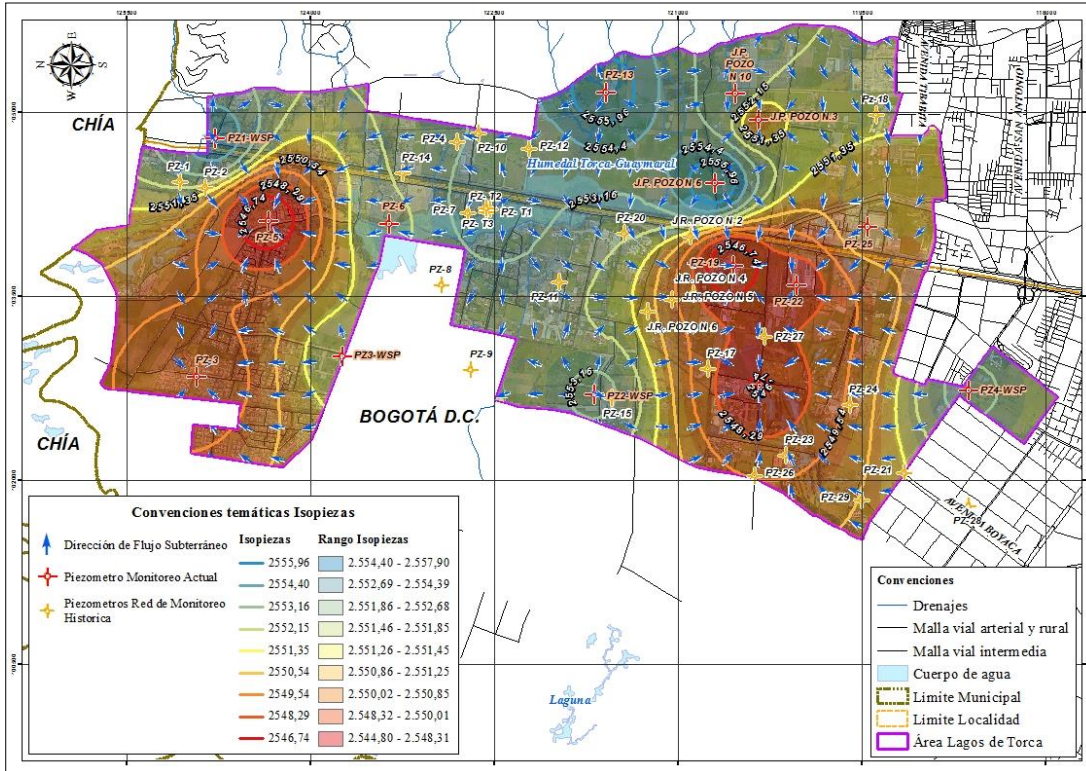
Fuente: WSP., 2020

Figura 258 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 4



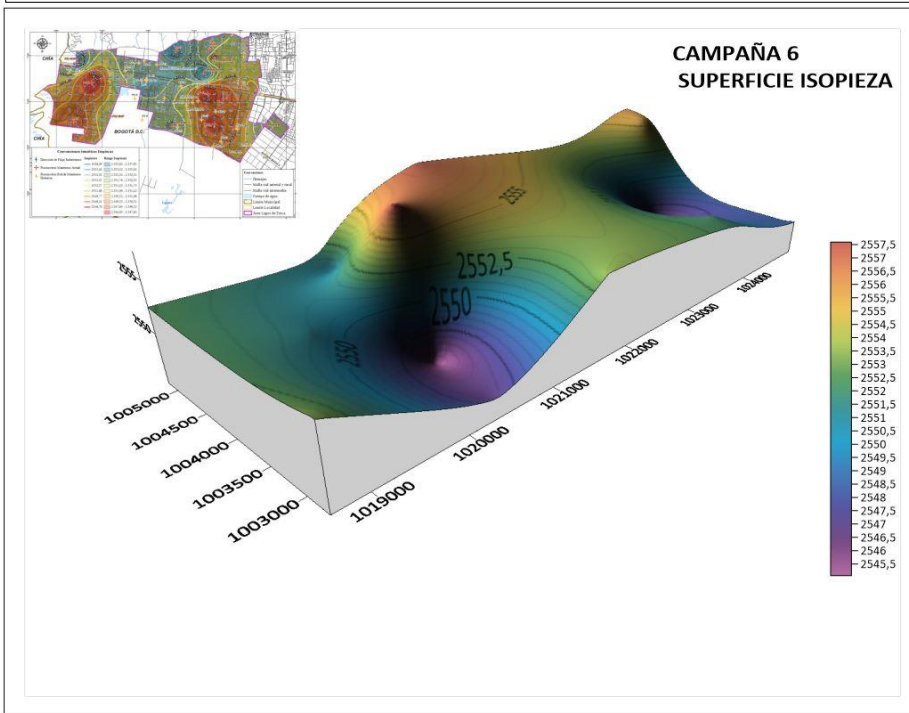
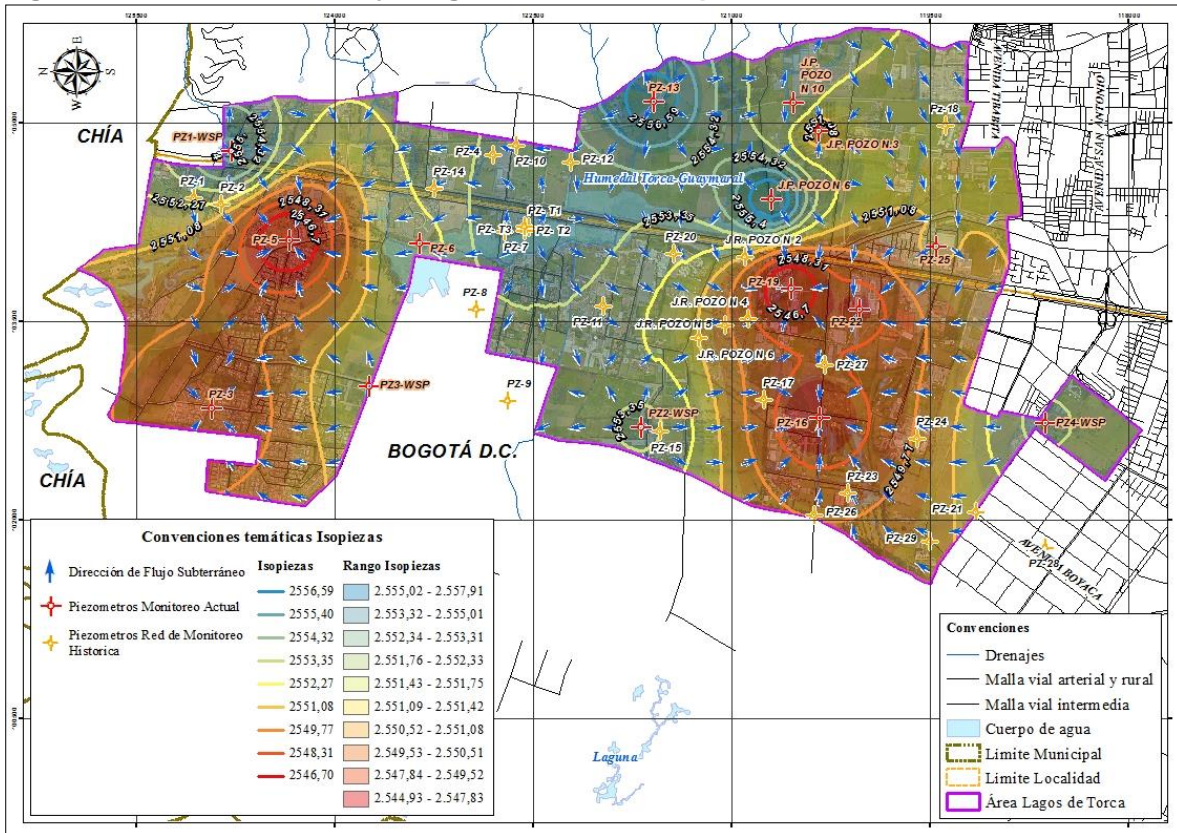
Fuente: WSP., 2020

Figura 259 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 5



Fuente: WSP., 2020

Figura 260 Dirección de flujo Lagos de Torca Campaña 6



Fuente: WSP., 2020

10.5.6 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO

Uno de los factores de mayor relevancia en el desarrollo de un modelo hidrogeológico, es el análisis de la permeabilidad, a partir del cual se evalúa la facilidad con la que el flujo de agua circunda a través de la roca. Con el fin de conocer esta información del subsuelo en el área de Lagos de Torca, primero se procedió a conocer el parámetro en veintisiete (27) piezómetros preexistentes en el área de estudio y, en segundo lugar, a realizar pruebas de carga hidráulica para conocer la permeabilidad en los cuatro (4) piezómetros perforados en el marco del presente estudio. Diferentes de sedimentos tendrán valores característicos de permeabilidad (Sanders, 1998) (Ver Tabla 86) que determinarán la clasificación hidrogeológica de los depósitos hallados en la zona (Custodio & Llamas, 1983) (Ver Tabla 87), es así que teniendo como soporte la literatura, los registros litológicos, geofísicos de pozo y los valores de permeabilidad, se determinó la clasificación hidrogeológica de los materiales estudiados. Adicionalmente, estos valores de permeabilidad son insumo para la elaboración del modelo hidrogeológico numérico.

Tabla 86 Valores de permeabilidad estimados para sedimentos.

		Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 10 ⁵	100 a 10 ⁶	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0,1 a 500	0,01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0,1a 50				
	Arena fina	0,02a 20			0,01 a 1	0,01 a 1
	Arena arcillosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	
	Silt, loess	10 ⁻⁴ a 2	10 ⁻⁴ a 1	10 ⁻⁴ a 1	0,001 a 0,1	10 ⁻⁴ a 1
	Arcilla	10 ⁻⁶ a 4x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
Arcilla marina inalterada	10 ⁻⁷ a 2x10 ⁻⁴		10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁷			

Fuente: (Sanders, 1998)

Tabla 87 Clasificación de sedimentos según su permeabilidad.

		PERMEABILIDAD EN (m / día)										
		10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA		GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS, O ARENAS GRUESAS		ARENAS FINAS O CON MEZCLA DE LIMOS		LIMOS O ARCILLAS ARENOSAS		ARCILLAS COMPACTAS			
CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA		BUEN ACUÍFERO			ACUÍFERO POBRE		ACUITARDO		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLE			

Fuente: (Custodio & Llamas, 1983)

10.5.6.1 Permeabilidad de los piezómetros de la EABB

Para tal fin se llevaron a cabo pruebas Slug, distribuidas en toda la zona de caracterización del proyecto, siendo estas un insumo robusto para dar alcance a la definición de este parámetro. En la Tabla 88, se relacionan los valores hallados.

El número de pruebas realizadas a lo largo de toda el área de influencia en cada uno de los piezómetros que a continuación se muestran, permite afirmar que es información robusta, puesto que alimenta más los cálculos y clasificaciones de la permeabilidad. Más adelante se mostrará además los cálculos definidos para los cuatro piezómetros instalados por WSP donde se llevaron a cabo ensayos hasta los 15m, alimentando más la base de datos para los futuros análisis.

Tabla 88 Valores de permeabilidad hallados en cada piezómetro de Lagos de Torca

ID POZO	UBICACIÓN	COORDENADAS (Origen Bogotá)		Litología predominante en el nivel saturado	Conductividad (m/día)
		NORTE	ESTE		
PZ-1	Club Colsubsidio	1.025.061	1.004.434	Arcilla gris clara, plástica, con moteamiento por meteorización	7,74 E-1
PZ-2	Bogotá Tennis Club	1.024.857	1.004.384	Limo arcilloso y arcillas limosas, baja plasticidad	3,38 E-1
PZ-3	Conjunto Residencial San Simón 1	1.024.930	1.002.845	Arcilla gris clara, plástica, y limos arcillosos	5,26 E-2
PZ-4	Lote EAAB	1.022.799	1.004.759	Arenas finas cuarzosas, arenas arcillosas y arcillas arenosas	1,25 E-2
PZ-5	Conjunto Residencial San Simón 2	1.024.343	1.004.116	Limos arcillosos medianamente plásticos y arcillas muy plásticas	1,5 E-1
PZ-6	Centro Comercial Bima	1.023.357	1.004.095	Arcilla limosa, plástica	4,3 E-4
PZ-7	Estación de Servicio Texaco	1.022.717	1.004.183	Arcilla gris claro, alta plasticidad	5,22 E-2
PZ-8	Colegio Nueva York	1.022.933	1.003.590	Arcilla gris, alta plasticidad	1,61 E-1
PZ-9	Inversiones Morcote Ltda	1.022.691	1.002.905	Arcilla gris, alta plasticidad	9,76 E-1
PZ-10	Sede Deportiva Club Los Millonarios	1.022.628	1.004.832	Limo arcilloso baja plasticidad,	6,37 E-1
PZ-11	Colegio Nueva Inglaterra	1.021.972	1.003.620	Arcilla gris clara, alta plasticidad	No interpretable
PZ-12	Finca Santa María	1.022.212	1.004.702	Arcilla gris clara, alta plasticidad	2,96 E-3
PZ-13	Colegio El Rosario Campestre	1.021.592	1.005.166	Arcilla gris clara, alta plasticidad	4,88 E-2
PZ-14	Multiparque	1.023.245	1.004.509	Limo y arcilla limosa con alta plasticidad	2,42 E-2
PZ-15	Universidad Santo Tomás	1.021.544	1.002.672	Arcilla gris clara, alta plasticidad	No interpretable
PZ-16	Colegio La Enseñanza	1.020.331	1.002.776	Arcilla gris clara, alta plasticidad	7 E-1
PZ-17	Cementerios Jardines de Paz	1.020.759	1.002.910	Arcilla gris clara, alta plasticidad	1,32 E-1
PZ-19	Escuela Colombiana de Ingeniería	1.020.552	1.003.751	Arcilla gris clara, alta plasticidad	1,17 E-1
PZ-22	Megaoutlet	1.020.034	1.003.596	Arcilla gris y arcilla limosa negra plástica	9,79 E-3
PZ-23	Club de profesores Universidad Nacional	1.020.119	1.002.204	Arcilla y arcilla limosa gris claro, con alta plasticidad	3,8 E-6
PZ-24	Colegio Vermont	1.019.595	1.002.617	Arcilla gris claro con alta plasticidad y limos marrones	1,29
PZ-25	Makro Autonorte	1.019.457	1.004.065	Arcilla gris clara, alta plasticidad	7,02 E-2
PZ-26	Gimnasio del Norte	1.020.375	1.002.037	Arcilla gris, alta plasticidad y arcilla limosa	1,07
PZ-27	Flores Ball Colombia	1.020.293	1.003.169	Arcilla gris clara, alta plasticidad	5,44 E-1
PZ-28	Seminario San Luis Beltrán	1.018.629	1.001.795	Arcilla marrón, plástica	6,74 E-1
PZ-29	Gimnasio Josefina Castro	1.019.501	1.001.842	Arcilla gris clara, alta plasticidad	No interpretable
PZ-30	Hacienda San Sebastian	1.024.541	1.002.466	Arcilla gris clara y arcilla limosa, alta plasticidad	2,50 E-1

Fuente: WSP., 2020

Teniendo en cuenta la información anterior, con los valores de permeabilidad calculados en los piezómetros (PZ1 - PZ30, ver Tabla 88) se realizó una clasificación de los valores hallados para el cálculo de la conductividad hidráulica (m/d), incluyendo rangos para su diferenciación (Ver Tabla 89).

Dicha clasificación tanto en el modelo conceptual como numérico se aplicó, para cada una de las capas definidas en la geometría del acuífero, considerando capas homogéneas e isotrópicas, esto con el fin de asignar el valor de (K) en tres direcciones, es decir manejando permeabilidades equivalentes, concepto válido para el modelo numérico, donde también se especifica esta condición.

Tabla 89 Rangos de permeabilidad hasta los 8 m de espesor

Rango K(m/d)	Sedimento	Grado de permeabilidad	Clasificación hidrogeológica
1.07 – 1.29 E+00	ARENA FINA	Permeabilidad alta	Buen acuífero
1.50 -9.76 E-01	ARENA LIMOSA	Permeabilidad moderadamente alta	Acuífero pobre
7.02 -1.25 E-02	ARCILLA ARENOSA LIMOSA	Permeabilidad moderada	Acuitardos
2.96 - 9.79 E-03	LIMOS	Permeabilidad baja	Acuitardos
4.30 E-04	ARCILLAS	Permeabilidad muy baja	Acuitardos
3.80 E-06	ARCILLAS	Impermeable	Acuicludo

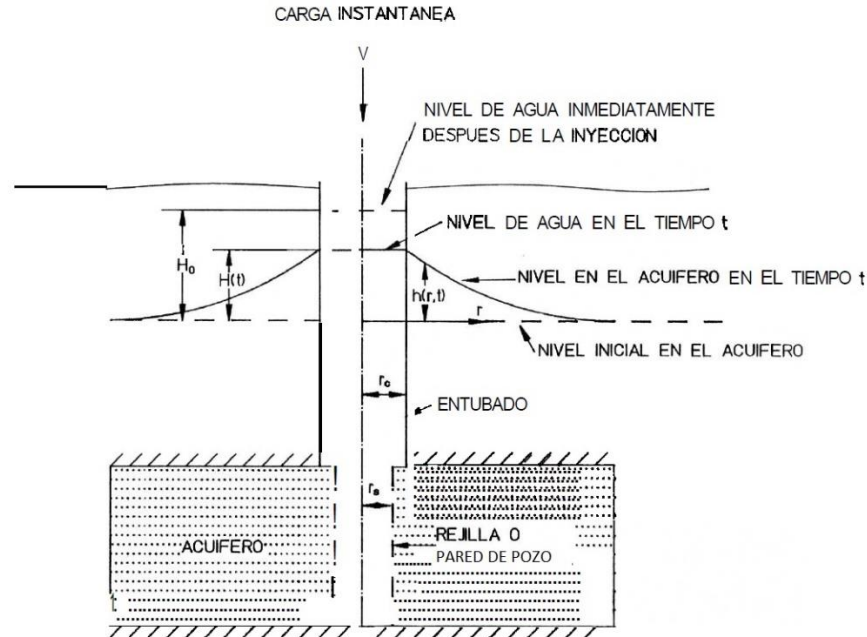
Fuente: WSP., 2020

10.5.6.2 Permeabilidad de los piezómetros instalados en presente proyecto

Para los cuatro últimos piezómetros de actualización del estudio se llevaron a cabo pruebas de carga hidráulica, con el fin de determinar el nivel estático del piezómetro, nivel de abatimiento y así calcular la transmisividad y conductividad hidráulica en los materiales alrededor del pozo en las profundidades desde los 8 a los 15 m (en donde se encuentran los filtros de cada piezómetro). Una vez desarrollados los pozos se practicaron las pruebas de carga hidráulica.

Estas fueron realizadas mediante la introducción de una barra o *slug* el cual desplaza volumen de agua contenido dentro del piezómetro de tal forma que el nivel de la tabla de agua se eleve hasta el nivel del suelo (0 m de profundidad), posteriormente se irá registrando el descenso gradual del nivel del agua con respecto al tiempo (hasta llegar a los 150 minutos de registro) (Ver , esto mediante el uso de una sonda eléctrica (Ver Figura 261).

Figura 261 Esquema de prueba de carga hidráulica



Fuente: Adaptado de (Cooper, Bredehoeft, & Papadopoulos, 1967).

Las pruebas de carga hidráulica presentan su resolución mediante el método de (Bouwer & Rice, 1976) en (Zabala, Weinzettel, & Varni, 2006) que asumen:

- Un acuífero de extensión infinita, homogéneo, isotrópico y de espesores uniforme.
- Superficie piezométrica inicial horizontal.
- La inyección del volumen del agua al piezómetro se hace de una manera instantánea y producirá un cambio en el nivel de agua. De tal manera que se emplea una masa sólida.
- El almacenamiento del piezómetro no es despreciable, las pérdidas en el pozo son despreciables.
- El acuífero es penetrado total o parcialmente.
- El flujo hacia el pozo es estacionario y no existe un flujo sobre el nivel freático.

La ecuación de (Bouwer & Rice, 1976) para el cálculo de K es la siguiente:

$$K = \frac{rc^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L} - \frac{1}{t} - \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right)$$

Donde:

K es la conductividad hidráulica del acuífero.

r_c = Radio de entubado

t= tiempo desde la extracción o inyección de agua.

R_e = radio del pozo incluyendo el empaque de grava.

r_w = radio efectivo del piezómetro (radio del piezómetro y empaque de grava)

L= Longitud del filtro.

h_t = desplazamiento en el tiempo

h_0 =desplazamiento inicial

Los resultados de datos abatimiento obtenidos pruebas de carga hidráulica se adjuntan en el Anexo I. Los datos de permeabilidad y transmisividad registrados en los piezómetros se listan en la Tabla 90.

Tabla 90 Rangos de permeabilidad entre los 8 y 14 m de profundidad.

PZ	K(m/d)	T(m ² /d)	Rocas	Grado de permeabilidad	Clasificación hidrogeológica
<i>PZ-WSP-1</i>	1.37E-01	2,05E+00	ARENA FINA	Permeabilidad moderada	Acuífero pobre
<i>PZ-WSP-2</i>	1.02E-01	1,54E+00	ARENA MUY FINA	Permeabilidad moderada	Acuífero pobre
<i>PZ-WSP-3</i>	7.71E-2	1,16E+00	ARCILLA ARENOSA LIMOSA	Permeabilidad moderada	Acuitardos
<i>PZ-WSP-4</i>	6.46 E-2	9,68E-01	ARCILLA ARENOSA LIMOSA	Permeabilidad moderada	Acuitardos

Fuente: WSP., 2020.

Se adjunta los resultados de datos de campo pruebas de carga hidráulica realizadas a los cuatro piezómetros hasta la profundidad de 15m, esto con el fin de tener un valor estimado de la permeabilidad hasta la profundidad de exploración ya mencionada, en el Anexo I, se incluyen los registros del ensayo de carga hidráulica.

Estos cuatro piezómetros han sido perforados sobre los materiales de la Formación Sabana (Qsa1-Qsa2) que es la de mayor cobertura en el área y permite su clasificación hidrogeológica en el capítulo 10.5.7 Unidades Hidrogeológicas.

10.5.7 DEFINICIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

La definición de las unidades hidrogeológicas en Lagos de Torca es el resultado de la diferenciación de las unidades geológicas de acuerdo con sus condiciones hidrogeológicas, soportada en sus características litológicas, estructurales, valores de sus principales parámetros hidráulicos y potencialidad en cuanto al almacenamiento de agua subterránea. Geológicamente el área de estudio está definido por unidades cretácicas a depósitos cuaternarios, tal como se describe en el capítulo 6 ESTUDIO GEOLÓGICO del presente estudio.

Para la caracterización de las unidades hidrogeológicas y la elaboración de la cartografía hidrogeológica, se realizó una clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico (definición de Acuíferos, Acuícludos, Acuitardos o Acuífugos), para esto se siguieron los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, adoptando la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos”(UNESCO, 1983) y el Servicio Geológico Colombiano SGC. Esta leyenda se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas basándose en: la cobertura de los acuíferos si regionales o locales, el potencial de rocas y/o sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, edad, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada (Ver Tabla 91).

Tabla 91 Clasificación General para la definición de unidades hidrogeológicas.

TONALIDAD	UNIDAD	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (l/s/m)
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR		
A4	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Muy Alta Mayor de 5,0
A3	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidados de ambiente fluvial, glaciofluvial, marino y volcanoclástico. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Alta Entre 2.0 y 5.0
A2	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidados de ambiente fluvial, glaciofluvial, marino y volcanoclástico. Acuíferos generalmente confinados con aguas de buena calidad química para el consumo humano.	Media Entre 1,0 y 2,0
A1	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con aguas de regular calidad química para consumo humano.	Baja Entre 0,05 y 1,0
B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)		
B4	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas, de ambiente marino. Acuíferos generalmente confinados, con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Muy Alta Mayor de 5,0
B3	Acuíferos discontinuos de extensión regional de extensión regional, de alta productividad, conformados por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas, terciarias y cretácicas consolidadas, de ambiente transicional a marino. Acuíferos confinados con aguas de buena calidad química para consumo humano, generalmente duras.	Alta Entre 2.0 y 5.0
B2	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas, de ambiente marino y continental. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Media Entre 1,0 y 2,0
B1	Acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas, terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente marino y continental. Acuíferos generalmente confinados con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Baja Entre 0,05 y 1,0
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADO A NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.		
C3	Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente lacustre, deltaicos y marinos, y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas a muy consolidadas, de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a muy mala calidad química para consumo humano, generalmente salada en regiones costeras.	Muy Baja Menor de 0,05
C2	Complejo de rocas ígneo-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactas y en ocasiones fracturadas, terciarias a	Muy Baja a ninguna Menor de 0,05

TONALIDAD	UNIDAD	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (l/s/m)
	precámbricas. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	
C1	Regiones compuestas por depósitos arcillosos o de playas con agua salada.	Muy Baja a ninguna Menor de 0,05

Fuente, INGEOMINAS, 2003

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 92 se define de acuerdo con la secuencia cronoestratigráfica definida por la geología del presente estudio, las unidades hidrogeológicas, el tipo de sistema al que pertenecen y su importancia hidrogeológica; estas unidades son representadas cartográficamente en la Figura 262 información que también se adjunta en el Anexo N

Tabla 92 Definición de unidades hidrogeológicas estudio Lagos de Torca

SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	
SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO INTERGRANULAR / POROSIDAD PRIMARIA				
A2	Acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Acuíferos continuos de extensión semi-regional a local, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados formados en ambientes lacustres y fluviales. Acuíferos libres o localmente confinados con aguas de buena calidad química para el consumo humano.	Formación Sabana	Qsa2
				Qsa1
A1	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados en la zona de estudio por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente colucial (Qdp1) y fluviglaciares (Qfg). Acuíferos libres a confinados con aguas de regular calidad química para consumo humano.	Depósitos de Pendiente	Qdp1
			Depósitos Fluviglaciares	Qfg
SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS				
C3	Acuitardos y acuícludos. con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m. Acuitardos y acuícludos.	Complejo de sedimentos no consolidados y rocas con muy baja productividad. Una extensión limitada y localizada en el área de estudio. representados en el área por depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente lacustre y pantanoso (Qch1); y por rocas sedimentarias cretácicas a terciarias a cretácicas muy consolidadas, originadas en ambiente marino transicional (Ksgp, Ksglt y KPgg).	Formación Chía	Qch1
			Formación Guaduas	KPgg
			Formación Areniscas Labor-Tierna	Ksglt
			Formación Plaeners	Ksgp
R. RELLENOS ANTRÓPICOS				
R	Materiales sin la capacidad de almacenar o transmitir agua subterránea.	Materiales de origen antrópico con los cuales se han estabilizado zonas para la construcción. Rellenos y superficies impermeables e insaturados con muy baja a ninguna capacidad de almacenar y/o transmitir agua.	Rellenos Antrópicos	Qra1

Fuente: WSP., 2020

10.5.7.1 Caracterización hidrogeológica del área de influencia

En general se encuentra que el área de influencia del proyecto comprende acuíferos con media a baja productividad cuya capacidad específica es varía entre menos de 0,05 a 2,0 l/s/m.

En el área la Formación Sabana (Qsa1-Qsa2) presenta la mayor cobertura y funciona como un acuífero de importancia en la parte en la parte llana, esta unidad que, aunque es de carácter limo-arcilloso, contiene numerosos lentes de arenas en la zona del área de estudio, estos funcionan como acuíferos que dependiendo de su posición estratigráfica serán acuíferos libres, confinados o semiconfinados. Hacia el borde oriental del área depósitos coluviales (Qdp) y (Qfg) se comportan como acuíferos de importancia baja asociados a agua que escurre ladera abajo por los Cerros Orientales. La Formación Chía (Qch1) aflora en las zonas de humedales y es marcadamente arcillosa, por lo que actúa como un acuícludo. Las anteriores unidades tendrán un flujo de agua intergranular.

Las formaciones cretácicas son de extensión regional (aunque en el área de estudio afloran de manera muy limitada) se comportan como acuitardos pues tienen un alto grado de diagénesis y contienen importantes intercalaciones de arcillas (SGC, 2015), el agua se almacenará y circulará en estas rocas principalmente a través de las fracturas.

10.5.7.1.1 Clasificación de unidades según su capacidad de almacenamiento y transporte de agua:

Teniendo en cuenta esta información y las características de las unidades litológicas para conformar unidades con capacidad de almacenamiento se clasifican en los siguientes tipos:

Acuíferos

Unidad geológica que contiene agua y permite su circulación dadas sus condiciones de permeabilidad. En esta unidad se dan acumulaciones apreciables del recurso hídrico. Los acuíferos más comunes son las arenas y gravas (materiales no consolidados), pero rocas sedimentarias permeables tales como las areniscas, calizas, rocas cristalinas fracturadas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos (Sánchez J. , 2014). En el área de Lagos de Torca aflora la Formación Sabana (Qsa1) se clasifica como un acuífero que presenta una extensión considerable y se comporta de manera variable como un acuífero libre a confinado. De manera localizada los Depósitos Fluvioglaciares (Qfg) y Depósitos de Pendiente (Qdp1) también constituyen acuíferos, aunque de pequeñas dimensiones, distribución muy limitada e importancia baja.

Acuícludos

Unidad geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmiten y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen (Sánchez J. , 2014). En la zona de estudio se considera que la Formación Chía (Qch1) corresponde a un acuícludo.

Acuitardos

Unidad geológica que contiene cantidades apreciables de agua, pero que la transmite muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas. Sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante. Es un concepto intermedio entre los dos anteriores (Sánchez J. , 2014). En el área de estudio las unidades del Cretácico Tardío y Paleoceno como lo son las formaciones Plaenners (Ksgp), Areniscas Labor-Tierna y Guaduas corresponden a acuitardos

Acuífugo

Aquellas unidades geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación, estas se consideran unidades impermeables (Sánchez, 2014). En la zona de estudio no se clasificaron acuífugo.

Rellenos antrópicos y zonas urbanizadas

Los rellenos Antrópicos (Qra1) de extensión local cubren unidades sobre las que se ha edificado o terrenos que han sido elevados al depositar escombros y otro tipo de materiales. Si bien estos materiales carecen de la capacidad de almacenar y conducir el agua, no cumplen la condición de ser una roca o un sedimento por lo que no pueden considerarse como un acuífugo.

10.5.7.1.2 Clasificación por capacidad específica de unidades hidrogeológicas

A Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular

A2 Sistemas acuíferos de productividad media, con capacidades específicas entre 1,0 y 2,0 l/s/m

Estos sistemas acuíferos son continuos de extensión semi-regional a local, de mediana productividad. En el área están conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados originados en un ambiente fluvial y lacustre. Acuíferos semiconfinados y localmente libres con aguas de buena calidad química para el consumo humano.

Formación Sabana (Qsa1-Qsa2):

Comprende sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas. Hacia los márgenes de la cuenca existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas. Los datos palinológicos indican que fue depositada en un lago (ambiente lacustre) con fluctuaciones del nivel de agua, mostrando una relación estrecha con los cambios de las condiciones climáticas y de vegetación, (INGEOMINAS, 2004). Hacia el sector de Chía-Cota en el techo de la unidad se encuentran intercalaciones de arcillas arenosas y arenas arcillosas que están relacionadas al proceso sedimentario de los ríos Frío y Bogotá (SGC, 2015), el río Bogotá encontrándose hacia el norte del área de estudio.

Los cuatro piezómetros perforados en el marco del presente estudio se encuentran en la Formación Sabana (Qsa1-Qsa2), a partir de los sondeos geofísicos de estas perforaciones

(resistividad eléctrica) y los registros litológicos de la perforación se puede inferir la configuración hidrogeológica de la unidad: en el piezómetro PZ-WSP-1 Predio EAB se aprecian 15 m de intercalaciones de arcillas, arcillas limosas y arenas; en el PZ-WSP-2 FAC se presenta una secuencia en la que, aunque predominan capas de arcillas limo arenosas, se encuentran también lentes métricos de arenas; en PZ-WSP-3 la secuencia fino-granular compuesta por arcillas plásticas, arcillas limosas, sin embargo, se encuentra un lente de arenas a mitad del registro de perforación. En PZ-WSP-4 se encuentra una secuencia con capas más finas en las que se intercalan limos arenosos, arcillas plásticas y lentes de arenas.

Los parámetros hidráulicos de la unidad indican: en los ensayos realizados en los piezómetros de actualización los materiales de la unidad presentan una permeabilidad moderada en sus capas arenosas ($1,02 \times 10^{-1}$ a $1,37 \times 10^{-1}$ m/d) y baja ($6,46 \times 10^{-2}$ y $7,71 \times 10^{-2}$ m/d) para las capas de carácter lodoso (arcillas con contenido de arenas y limos); en el caso de las permeabilidades registradas en los pozos preexistentes, las capas de arenas limosas a arenas medias presentaron valores moderados de permeabilidad (0,15 a 1,29 m/d), en las capas de limos y lodos la permeabilidad fue baja (desde $2,96 \times 10^{-3}$ a $7,02 \times 10^{-2}$ m/d) mientras que en las capas arcillosas las permeabilidades fueron muy bajas con (de $3,80 \times 10^{-6}$ a $4,30 \times 10^{-4}$ m/d) siendo casi impermeables. Los valores de los diferentes registros permeabilidad son consistentes para las pruebas de la actualización como para los datos de los pozos preexistentes, un tipo de granulometría tendrá valores de permeabilidad similares en diferentes lugares de la zona de estudio.

De esto se puede concluir que en la Formación Sabana (Qsa1-Qsa2) las intercalaciones y lentes de arenas rodeados por sedimentos arcillosos y limosos conforman acuíferos confinados a semiconfinados; en las zonas en donde las arenas se encuentran hacia el tope de la secuencia y cerca de la superficie se conformarán acuíferos libres. La unidad presenta una importancia hidrogeológica moderada definición descrita teniendo en cuenta que esta unidad es representativa en el área de Lagos de Torca y cubre la mayor parte del área de una manera regional.

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

En el área se encuentran acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios poco consolidadas de ambiente lacustre, coluvial y fluvio-glaciar. Son acuíferos libres y semiconfinados con aguas de regular calidad química para consumo humano.

Depósitos Fluvioglaciares (Qfg):

Unidades de sedimentos cuaternarios asociados a cuerpos coluviales restringidos a microcuencas de pendiente, valles en forma de U y dispersas en el sector oriental del área de estudio en las laderas de los Cerros Orientales de Bogotá. Son depósitos locales, de poca extensión y están compuestos por materiales heterogéneos, clasto-soportados, mal seleccionados y angulosos: clastos de tamaño arena fina hasta guijarro, las gravas presentan en mayor parte tamaño de 4 cm y en menor proporción de 6 cm; todos estos clastos se encuentran imbuidos en una matriz arcillo-arenosa.

Teniendo en cuenta que estos depósitos se encuentran en partes bajas de las laderas en donde el agua se acumularía y que su composición corresponde a sedimentos no consolidados de una granulometría variada en los que se puede dar el fenómeno de recarga, almacenamiento y circulación de agua (las arenas y gravas facilitarían la porosidad y la permeabilidad, mientras que la fracción arcillosa ayudaría a la retención del agua), estos Depósitos Fluvioglaciares (Qfg) conformarían acuíferos libres pero que debido a sus pequeñas dimensiones serán de una baja importancia hidrogeológica.

Depósitos de pendiente (Qdp1):

Estos depósitos son de tipo coluviales, llamados también flujos de lodo y escombros sin diferenciar, formados por materiales heterogéneos de arcillolitas y limolitas de diversos tamaños, se encuentran diferentes tamaños desde guijarro hasta areniscas finas imbuidos en matriz arcillo-arenosa. Son depósitos de extensión y dimensiones muy limitadas hacia el borde oriental del área de estudio.

Sus materiales heterogéneos y poco consolidados (gravas, arenas y arcillas) pudiesen facilitar el almacenamiento para conformar acuíferos libres a confinados y el flujo de agua que escurre por las pendientes de los cerros orientales podría recargarlos; pero debido a las escasas dimensiones de estos cuerpos y a que la cobertura vegetal sobre estos depósitos en la zona de estudio ha sido deforestada se ha de considerar que los depósitos de Pendiente (Qdp) tienen una baja importancia hidrogeológica.

C Sedimentos y rocas con limitado a ningún recurso de aguas subterráneas.

C3 Complejo de sedimentos y rocas sedimentarias con capacidades específicas menores a 0,05 l/s/m.

Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente lacustre, deltaicos y marinos, y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas a muy consolidadas, de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a muy mala calidad química para consumo humano.

Formación Plaeners (Ksgp):

Litológicamente está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas. El espesor de la unidad es variable y oscila entre 156 y 212 m para la parte nororiental y suroccidental de Bogotá, y entre 60 y 300 m para la región occidental y noroccidental de la sabana. La denostación de esta formación ocurrió en un ambiente marino. Hidrogeológicamente para Lagos de Torca, es clasificado como un acuitardo, teniendo en cuenta su grado de diagénesis y su composición que como se ha mencionado consiste en areniscas de fino, arcillolitas y limolitas principalmente. En la unidad el flujo de agua a través de la roca será muy lento y será principalmente a través de fracturas en la roca. En el área de estudio su representatividad a nivel escala es mínima. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se le asigna una importancia hidrogeológica muy baja, para el área de estudio.

Formación Areniscas Labor y tierna (Kslgt):

La formación cuenta con dos secciones la Formación Arenisca Tierna y Formación Arenisca de Labor. La primera se compone en la sección tipo por areniscas granuladas, las cuales

llevan un banco poroso de materia orgánica silícea mientras que la segunda son bancos gruesos de arenisca separados por capas muy delgadas de arcillolitas para luego dar paso a intercalaciones estratificadas de lodolitas y arcillolitas (SGC, 2015). La unidad aflora al oriente del área de estudio, sobre los Cerros Orientales. Hidrogeológicamente es clasificada como un acuitardo teniendo en cuenta su composición principalmente de areniscas con buen grado de diagénesis, capas de areniscas friables y arcillolitas, en donde la secuencia entre rocas de diferente granulometría actuó como un almacenamiento de agua. La permeabilidad de la unidad será baja pues está limitada por el contenido de arcillolitas y su grado de diagénesis, es así que el tránsito de agua a través de la roca estará asociado principalmente a fracturas asociadas a los procesos tectónicos y en segundo lugar a porosidad intergranular de las areniscas friables.

Formación Guaduas (KPgg):

Está compuesta por tres miembros fácilmente diferenciables: la base está compuesta por arcillolitas y areniscas, la parte intermedia está compuesta por areniscas cuarzosas, con algunas intercalaciones de arcillolitas, y su techo, constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas cuarzosas. Los sedimentos de la Formación Guaduas se depositaron en un ambiente marino para la parte inferior, y en un ambiente transicional y aluvial para la parte media y superior. En el área de estudio es clasificada como un acuitardo, teniendo en cuenta que su composición litológica además de contener arcillolitas, alterna con areniscas cuarzosas las cuales generalmente actúan como capas permeables, solo que para este caso estarían limitadas por las arcillolitas.

Formación Chía (Qch1):

En el área de estudio esta unidad aflora en las márgenes de los ríos Bogotá y Frío formando terrazas fluviales planas con baja pendiente. Corresponde a sedimentos fluviales de inundación y de los cauces actuales, está constituida principalmente por arcillas de eventos de inundación, localmente limos y en áreas pantanosas arcillas orgánicas lacustres (diatomitas) (SGC, 2015). En el área de estudio esta formación se encuentra sobre la planicie de inundación asociada al Humedal de Torca.

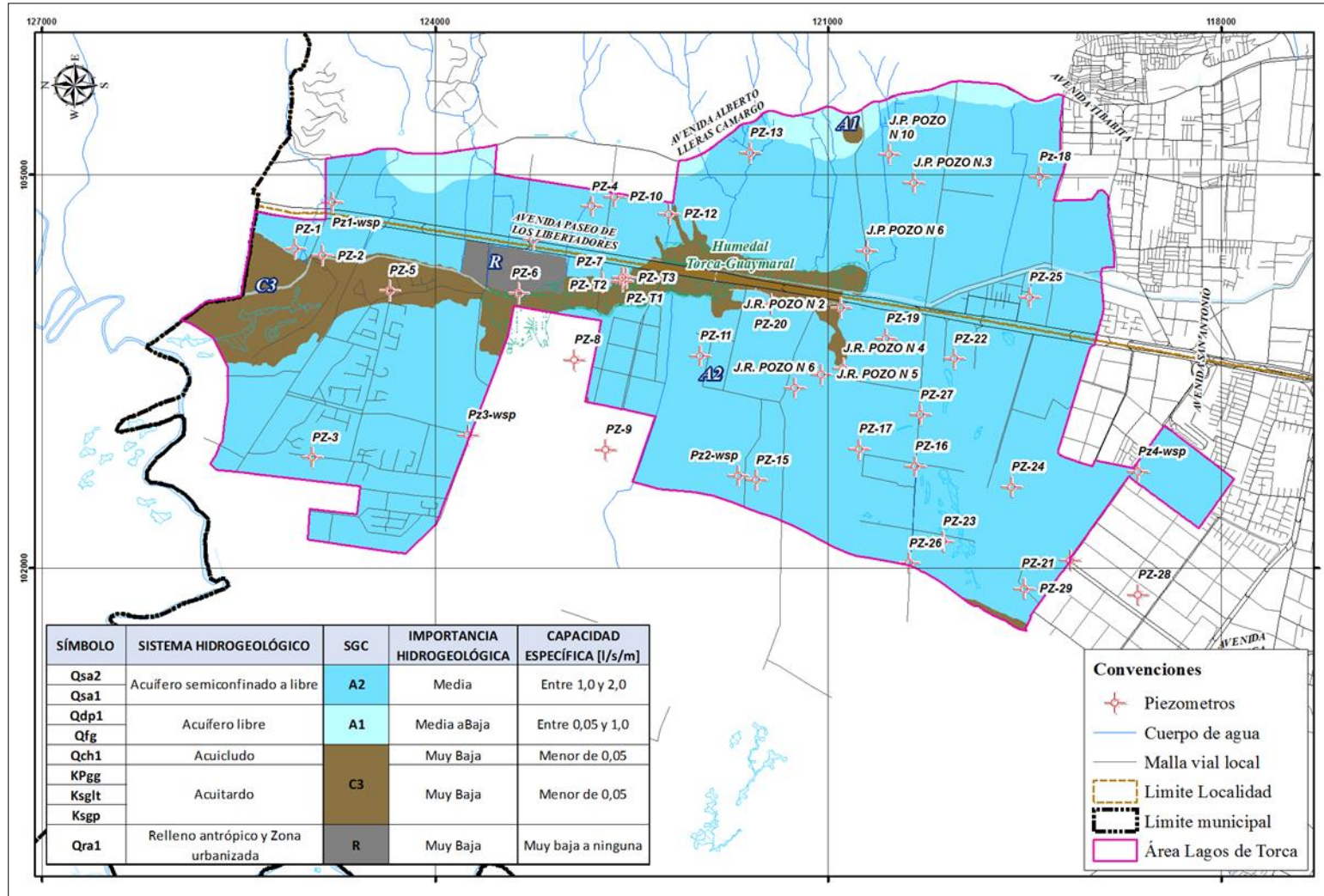
Debido a su composición eminentemente arcillosa y a los humedales que se dan asociados a ella, la Formación Chía (Qch1) que se encuentra en el área de estudio corresponde a un acuícludo de baja importancia hidrogeológica, es una unidad que, si bien se encuentra saturada de agua, no puede transmitirla adecuadamente debido a su litología.

Rellenos antrópicos y zonas urbanizadas

Rellenos antrópicos (Qra1) con capacidades específicas muy bajas a nulas

Son los depósitos que han resultado de acciones antrópicas para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico. Su importancia hidrogeológica es muy baja. Los rellenos y construcciones se consideran impermeables, en estos no se da el fenómeno de recarga y tampoco almacenan ni transmiten agua.

Figura 262 Mapa de Unidades Hidrogeológicas en el área de estudio Lagos de Torca



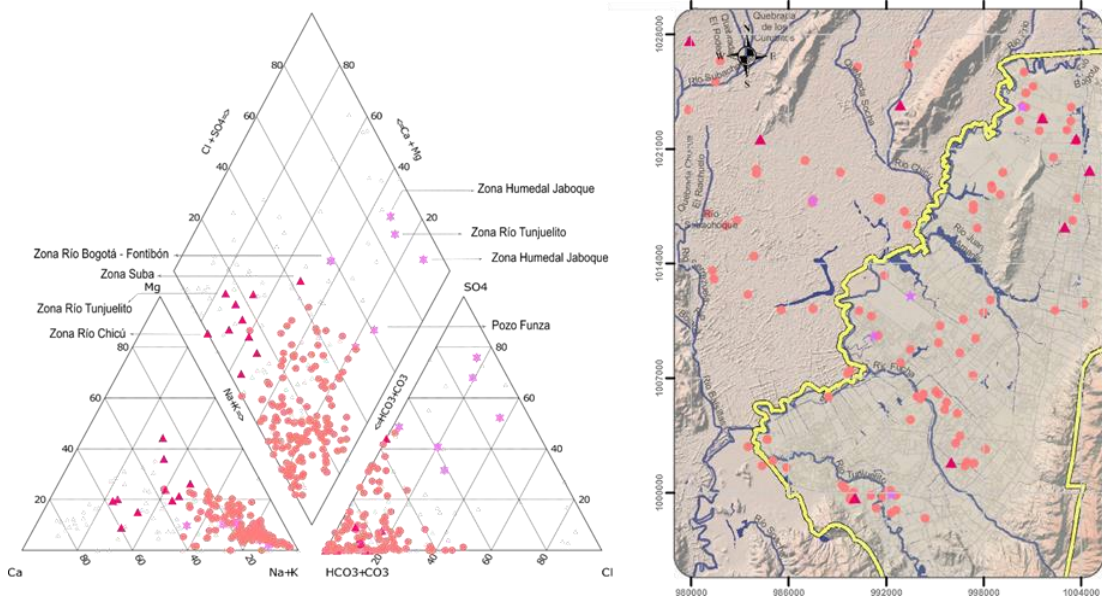
Fuente: WSP., 202

10.5.8 HIDROGEOQUÍMICA

10.5.8.1 Hidrogeoquímica de la formación sabana

La Formación Sabana con 170 m de espesor en el área de Lagos de Toca, es la Formación de con mayor número de pozos. Priman las aguas Bicarbonatadas Sódicas (Na-HCO₃), seguidas por las Bicarbonatadas Cálcicas (Ca-Na-HCO₃) y unas pocas muestras Sulfatadas Sódicas (Na-SO₄), estas últimas situadas en la ronda al río Bogotá información relacionada en el Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Somero del perímetro Urbano de Bogotá – Distrito Capital, (Convenio PUJ-SDA, 2018).

Figura 263 Tipos de agua encontrados en los pozos de la Formación Sabana



Fuente: Convenio PUJ-SDA, 2018

10.5.9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL (MHC)

El modelo hidrogeológico conceptual reúne todas las características hidrogeológicas del área Lagos de Torca, permite la identificación de los acuíferos rasgos geométricos (extensión, distribución, espesores), direcciones de flujo, fuentes y zonas de recarga potencial, adicional a esto se incluyen características fisicoquímicas que indican la evolución de las facies hidrogeoquímicas en el área de estudio Lagos de Torca.

El modelo hidrogeológico conceptual (MHC), integra la información geológica y geofísica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica para representar la dinámica espacial del flujo subterráneo, esto teniendo en cuenta los lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del Agua (IDEAM, 2013)

Con la integración de la información geológica, geomorfológica, hidrológica, hidrogeológica e hidráulica disponible, se elaboró el modelo hidrogeológico conceptual, el cual se puede definir como una versión simplificada del sistema acuífero que define a Lagos de Torca el cual representa de manera aproximada los aspectos más relevantes con respecto a las

características geológicas e hidrogeológicas del medio. La simplificación es introducida como un grupo de definiciones las cuales expresan el mundo real para obtener un análisis predictivo que sirva como herramienta de gestión en el desarrollo del proyecto urbanístico ya que esta definición es calve para las futuras predicciones que se realicen en el modelo numérico.

El Área de Ciudad Lagos de Torca se encuentra en la Provincia Hidrogeológica Andina – Vertiente Atlántica (INGEOMINAS, 2004), en la Sabana de Bogotá la cual se ubica en el Altiplano Cundiboyacense de la Cordillera Oriental. En la zona afloran estratos rocosos y depósitos sedimentarios con edades desde el Cretácico Tardío al Cuaternario. Las formaciones cretácicas se encuentran representadas por Planers (Ksgp), Areniscas Labor y Tierna (Ksglt) y Guaduas (KPgg), esta última con su parte superior depositada durante el Paleoceno. Estas rocas son cubiertas de manera discordante por depósitos cuaternarios no consolidados que cubren la mayor parte del área de estudio, se componen de las formaciones: Sabana (Qsa1 – Qsa2), Chía (Qch1), los Depósitos Fluvioglaciares (Qfg), los Depósitos de pendiente (Qdp) y los Rellenos Antrópicos (Qra1).

El acuífero más importante de esta secuencia está conformado por la Formación Sabana (Qsa1 – Qsa2) la cual se encuentra conformada por sedimentos de ambiente lacustre y localmente fluvial: capas de arcillas y arcillas limosas intercaladas con estratos de arenas finas a arenas medias con ocasional componente de limos. Hacia el centro de la cuenca la unidad presenta un espesor de aproximadamente 300 m. La unidad cubre un área aproximada de 1525,03 ha, siendo la unidad que tiene mayor cobertura en la zona de estudio. Conformar un acuífero de extensión regional, continuo; de productividad mediana. Presenta como parámetros hidráulicos $T=9,68 \times 10^{-1}$ a $2,05 \text{ m}^2/\text{d}$, $CE= 1,0$ y $2,0 \text{ l/s/m}$, y $K=2,96 \times 10^{-3}$ a $1,37 \times 10^{-1} \text{ m/d}$. Se encuentran 26 piezómetros que captan aguas de materiales de la Formación Sabana (Qsa1 – Qsa2). Además, los cuatro piezómetros del presente estudio PZ-WSP-1, PZ-WSP-2, PZ-WSP-3 y PZ-WSP-4 han sido perforados en esta unidad.

A partir de los sondeos geofísicos y registros de pozo realizados en los piezómetros perforados en el presente estudio se identificaron seis capas que conforman los primeros 15 m de la unidad (medidos desde la superficie, estas corresponden a primero una capa de suelos orgánicos y material fino (arcillas a limos) junto con lentes de arenas, la segunda capa formada por material muy fino, especialmente arcillas plásticas; una tercera capa predominantemente arenosa; una cuarta capa mixta formada por alternancia entre arcillas y lentes arenosos: la quinta capa es un lente arenoso de espesor variable y una sexta capa mayoritariamente formada por arcillas con ocasionales lentes de limos y arenas finas. Las capas y lentes arenosos que estén supra- e infrayacidos por capas arcillosas conformarán acuíferos semiconfinados a confinados, mientras que al estar aflorando en superficie formarán acuíferos libres. Los estratos de composición arenosa registrarán unos 30 Ohm-m (Ver **Figura 249**) mientras que aquellas capas arcillosas presentan resistividades de aproximadamente 4 Ohm-m (Ver **Figura 250**).

Los Depósitos Fluvioglaciares (Qfg) conformarán son depósitos formados por materiales no consolidados, heterométricos, clasto-soportadas (gravas en matriz de arenas finas). Estos depósitos son de extensión muy reducida, llegando a ocupar solamente 20,3 ha y estando limitados a valles en forma de U hacia el costado oriental de la zona de estudio en las estribaciones de los cerros orientales. En un caso similar los Depósitos de Pendiente (Qdp)

de naturaleza coluvial se encuentran formados por materiales heterogéneos desde arcillas a guijarros. Estos materiales se encuentran limitados a las laderas de los Cerros Orientales hacia el borde este de la zona de trabajo en donde cubren 35,1 ha. Ambas unidades cuaternarias conforman acuíferos libres de baja importancia con CE de entre 0,05 y 1,0 l/s/m.

La Formación Chía (Qch1) es una unidad delgada con un espesor máximo de 5 m y un área de 195,48 ha la cual en mayor parte está cubierta por humedales. La unidad se conforma de depósitos de pantano, predominan las arcillas si bien hay contenido de limos y materia orgánica. La unidad se conforma como un acuícludo, estando saturada de agua (y cubierta por humedales) pero con escasa capacidad de transmitir el agua, presenta una CE menor a 0,05 l/s/m.

Las rocas de la Formación Guaduas (KPgg) compuesta por tres miembros, arcillolitas y areniscas de grano fino junto con mantos de carbón, un intermedio de areniscas cuarzosas heterométricas y un tope de arcillolitas oscuras intercaladas con areniscas. En la zona de estudio esta unidad se encuentra limitada a un área de 2,44 ha en la esquina suroccidental por lo que su extensión e importancia hidrogeológica es mínima. Debido a su composición la unidad se considera un acuitardo, el agua se transmitirá en esta roca a través de una limitada porosidad primaria entre las areniscas y de manera secundaria entre las fracturas. presenta una CE menor a 0,05 l/s/m.

El Grupo Guadalupe se encuentra representado por las Formaciones Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) y Plaeners (Ksgp) que cubren 0,03 ha y 2,27 ha del área de estudio; afloran hacia el borde oriental y componen en parte los Cerros Orientales. La Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) se compone de dos secciones Tierna y Labor, la primera por areniscas granulosas con capas porosas y la segunda por intercalaciones de arenisca y capas muy delgadas de lodolitas; las areniscas son deleznable. La Formación Plaeners (Ksgp) está conformada por capas de areniscas de grano fino, lodolitas silíceas y liditas. Debido al alto grado de diagénesis la porosidad de la Formación Plaeners (Ksgp) es secundaria mientras que para Labor y Tierna (Ksglt) la porosidad será primaria para los estratos arenosos y secundaria en las lodolitas; se considera que ambas unidades corresponden a acuitardos con baja importancia hidrogeológica y cobertura muy limitada, al menos en el área de estudio; presentan capacidades específicas menores a 0,05 l/s/m.

Los parámetros físicos y de calidad del agua subterránea almacenada en la Formación Sabana (Qsa1 – Qsa2) fueron registrados durante las campañas de monitoreo. El agua es dulce, con mineralización moderada indicada por los valores de conductividad eléctrica: estos registros varían en el tiempo, es así, que para la Campaña 1 de monitoreo el rango de conductividad eléctrica estuvo entre 143,5 y 302 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que en la Campaña 4 los valores medidos se encuentran entre 223 y 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de sólidos disueltos (SD) en la Campaña 1 estuvieron entre 83 y 181 mg/L y los sólidos totales volátiles (STV) entre 39 y 54 mg/L; en la Campaña 4 el rango de SD estuvo entre 115,1 y 236,5 mg/L y para STV fue de 242 a 598 mg/L.

Todos estos valores se fueron incrementando gradualmente durante el tiempo de registro. Esta fluctuación en los valores es correlacionable con el aporte de aguas de precipitación: en tiempo lluvioso los valores de conductividad eléctrica y SD-STV serán más bajos que los registrados en tiempos de estiaje. El pH medido en general es moderadamente ácido a

neutral con valores entre 5,44 a 6,8 UN, no obstante, se registró un valor anómalo alcalino de 9,50 UN en el piezómetro PZ-WSP-4 durante el registro de la Campaña 1. No se observa una correlación entre las precipitaciones y la fluctuación del pH del agua.

No se presenta afectación por fosfatos, nitratos, sulfatos ni amonio. Cadaverina y Putrecina se encuentran por debajo del límite de detección indicando que no existe afectación del agua por parte de estas sustancias. En cuanto a coliformes totales en el PZ-WSP-3 el valor sobrepasa el límite máximo del artículo 2.2.3.3.9.3 (Consumo Humano y Domestico), los demás puntos monitoreados cumplen con lo estipulado Decreto 1076 de 2015. En el caso del límite máximo dado por el artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) este es sobrepasado por los valores registrados en: el PZ-WSP-1 en la Campaña 4, PZ-WSP-2 en las campañas 1 y 4; y en el PZ-WSP-4 en la Campaña 4. La hidrogeoquímica corresponde principalmente a aguas bicarbonatadas sódicas (Na-HCO₃), seguidas en menor medida por aguas bicarbonatadas cálcicas (Ca-Na-HCO₃) y unas pocas muestras sulfatadas sódicas (Na-SO₄).

En cuanto a los monitoreos con el uso de los *Divers* se identificó que en general el nivel piezométrico al comienzo de la Campaña 1 se encuentra relativamente bajo, a finales del mes de abril se presenta un ascenso en todos los piezómetros el cual es seguido por un lapso durante el cual el nivel fluctúa; los niveles piezométricos más elevados se alcanzan a finales de mayo y comienzos de junio ya casi a mitad de la Campaña 2; este pico es seguido por un periodo de descenso constante hasta mediados de la Campaña 6 cuando ocurre una elevación moderada de la cota del nivel piezométrico. Estas fluctuaciones están relacionadas con la ocurrencia de las precipitaciones, a periodos con lluvias más intensas y frecuentes los niveles registrados ascenderán.

En términos generales en el sector oriental del área las líneas de flujo someras discurren en sentido E-W siguiendo la topografía, descienden flujos desde las laderas de los Cerros Orientales y convergen hacia el Humedal central en donde se encuentra una depresión marcada de las isopiezas; mientras que en el caso del sector occidental las líneas fluyen de W-E, de nuevo hacia el Humedal. También se presentan líneas de flujo que ingresan en el área desde el norte y el suroccidente. Durante el periodo de tiempo registrado por las campañas de monitoreo, los meses de abril a octubre, se observaron dos patrones de comportamiento correlacionados con la distribución de las precipitaciones. Durante las campañas 1 a 4 la dirección de flujo se da desde los cuatro puntos cardinales del área de caracterización, la cual converge hacia la zona norte y centro del área de estudio (parte norte del humedal), donde actúa como área de descarga, saturando la superficie del terreno y siendo aporte al sistema hídrico subterráneo. Finalmente, durante las campañas 5 y 6 la dirección de flujo se da casi principalmente desde la zona oriental, definiendo dos áreas de descarga: una en la parte en la noroccidental (sistemas de humedales) y suroccidental de Lagos de Torca.

Se realizó un cálculo de la recarga potencial al acuífero involucrando variables como la cobertura del terreno, los datos meteorológicos, entre otros, y así obtener un acumulado anual de 153,38 mm, el mes cuando el valor de recarga potencial fue más alto fue en abril con 49,63 mm (temporada lluviosa) mientras que en meses como agosto (temporada de estiaje) la recarga fue nula. Así mismo, existe una correlación positiva entre los meses en los que se dio recarga y aquellos meses cuando se experimentaron ascensos del nivel piezométrico. Los acuíferos de la zona son recargados mediante infiltración directa de la

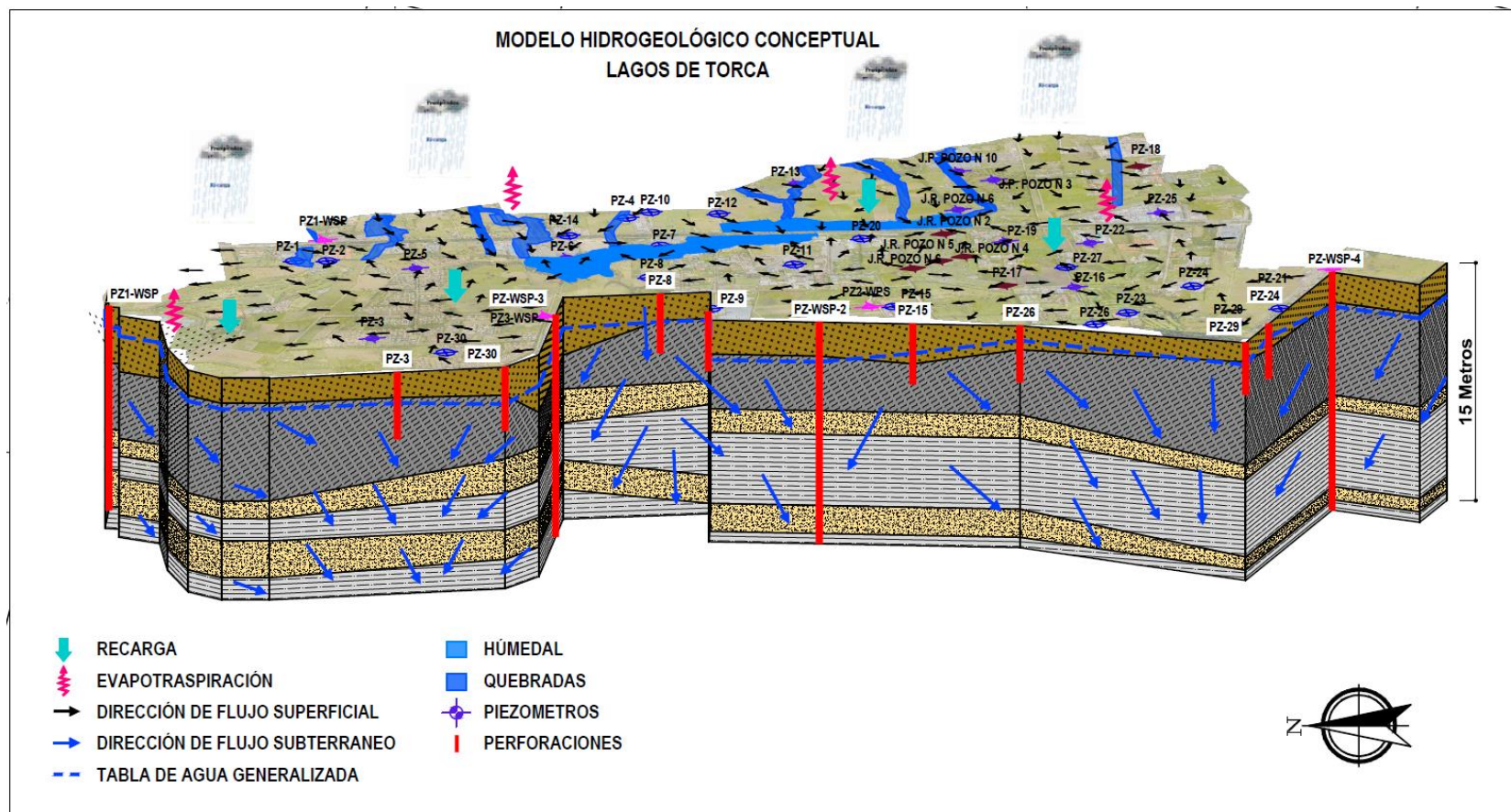
precipitación, aporte drenajes superficiales y recarga indirecta desde el exterior del área, especialmente flujos que descienden desde los Cerros Orientales y desde el norte. La descarga natural del acuífero ocurre en drenajes superficiales y en el Humedal, en tanto que, la descarga artificial se da en los pozos que captan agua del acuífero.

10.5.9.1 Bloque diagrama del modelo hidrogeológico conceptual.

En la siguiente figura se presenta un bloque diagrama para el área de estudio, donde se destaca la definición de dos lentes arenosas intercalados en una secuencia arcillosa típica de la Formación Sabana. Así mismo, se destaca la presencia de zonas de recarga y descarga locales, que coinciden con las partes topográficamente más altas y bajas respectivamente.

Este modelo es el producto del análisis e interacción de información geológica, geomorfológica, hídrica, hidráulica, geofísica e hidrogeoquímica, y de cada una de las variables y procesos que hasta este acápite se han venido evaluado (desde el análisis de la red de piezómetros hasta la dirección de flujo) corresponde entonces a una representación gráfica del sistema hídrico subterráneo Figura 264 que caracteriza Lagos de Torca..

Figura 264 Modelo hidrogeológico conceptual lagos de Torca (MHC).



Fuente: WSP, 2020

10.5.10 MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO (MHN)

El modelo numérico hidrogeológico generado para Lagos de Torca se llevó a cabo mediante el Software FEFLOW (Finite Elements Subsurface Flow). Con el fin de modelar por medio de elementos finitos el proceso hidrogeológico que caracteriza el área de Lagos de Torca.

10.5.10.1 Modelación mediante método de elementos finitos. Proceso de ingreso de datos.

El modelo sugiere la incorporación de diferentes variables y generación de estructuras geométricas, por tal razón a continuación, se describe el proceso para el ingreso de dichos datos. Es importante resaltar que este procedimiento se sigue para los diferentes escenarios de modelación, que incluye el de impermeabilización de zonas dentro del área de caracterización de Lagos de Torca.

10.5.10.1.1 Selección del código numérico

Un modelo numérico es la representación matemática de un esquema hidrogeológico, la elección de los códigos de modelización es un proceso que tiene muchos elementos de análisis, como pueden ser la discrecionalidad del especialista, la complejidad del sistema, la calidad de datos, la representatividad espacial y temporal alcanzada y el conocimiento de los métodos. Para el presente análisis se considera el método por elementos finitos (FEM) esto teniendo en cuenta el alcance de la propuesta técnica definida para Lagos de Torca.

10.5.10.1.2 Dominio del modelo y discretización

El dominio o área de modelación es un subdominio del sitio de estudio y queda definido por las zonas donde ocurren los procesos que se quieren analizar, (Servicio de evaluación ambiental SEA, Chile, 2012). En este caso la zona donde ocurren los procesos a evaluar corresponde al área de influencia de Lagos de Torca.

La delimitación de las zonas para desarrollar los estudios de aguas subterráneas puede ser utilizada como el contexto espacial a modelizar, evidentemente ésta puede ser modificada respondiendo a los objetivos del Modelo Numérico (Autoridad Nacional del Agua, 2017-Peru). Esta delimitación servirá adicionalmente para incluir en el análisis numérico elementos condicionantes del flujo subterráneo como lo son:

- ✓ Cauces superficiales, manantiales, piezómetros
- ✓ Estructuras geológicas, límites hidroestratigráficos,
- ✓ Lagunas, humedales, ríos o el que haya lugar

Teniendo en cuenta lo anterior el dominio seleccionado para Lagos de Torca se selecciona a partir de los siguientes criterios:

1. Las especificaciones técnicas del proyecto definidas por la EAAB, donde se cita:

“El consultor deberá adicionalmente realizar un modelo hidrogeológico del área de influencia del proyecto usando toda la información recopilada de carácter

hidrogeológica (producto 3) para calibrar y validar el modelo. Este modelo deberá servir como herramienta para determinar las zonas actuales de recarga de acuíferos, su importancia en los balances hídricos de los cuerpos de agua y concluir sobre los niveles freáticos dentro del área de interés.... Como se menciona en el primer párrafo de este acápite y mediante lo descrito en las especificaciones técnicas, las zonas donde ocurren los procesos a analizar están enmarcados dentro del área de influencia. Además, que es precisamente dentro de esta área donde se cumple el objetivo del modelo numérico que también se menciona en el párrafo citado de la EABB.

2. La delimitación y actual área de influencia de Los de Torca incluye los elementos condicionantes mencionados, que, para el caso, corresponden la red piezométrica, la inclusión del humedal y ríos. Además, el área de influencia tuvo una caracterización geológica previa descrita en el capítulo 6.2, a partir del cual se definieron las unidades hidrogeológicas. De esta manera se está cumpliendo con el análisis de los elementos condicionantes del flujo subterráneo sin que se genere ninguna distorsión matemática, toda vez que las ecuaciones numéricas del método de elementos finitos satisfacen los límites del área de estudio. Por tal razón se infiere que los resultados en condiciones de frontera son idóneos.

Para Lagos de Torca y teniendo en cuenta que se realizarán análisis a partir de elementos finitos la discretización que se llevara a cabo será mediante mallas no estructuradas, con un número de elementos definidos a partir de la topografía, los cuales se ajustan a la morfología del terreno.

Es importante resaltar que los elementos finitos tienen una inherente habilidad para tratar con mallas no estructuradas, estas permiten fácilmente refinamientos locales para dar resoluciones altas en regiones de interés, sin perder precisión. En ellas se logra una adecuada representación de geometrías irregulares, lo cual sin duda es una ventaja frente al uso de mallas estructuradas cuando se trata en el método de las diferencias finitas, (Generación de mallas no estructuradas para la implementación de modelos numéricos, García *et al*, 2009).

10.5.10.1.3 Geometría y enmallado

Una parte del estudio de hidrogeología se enfoca en la elaboración de una serie de simulaciones numéricas por el método de elementos finitos evaluando de una forma cuantitativa el comportamiento dinámico del flujo subterráneo.

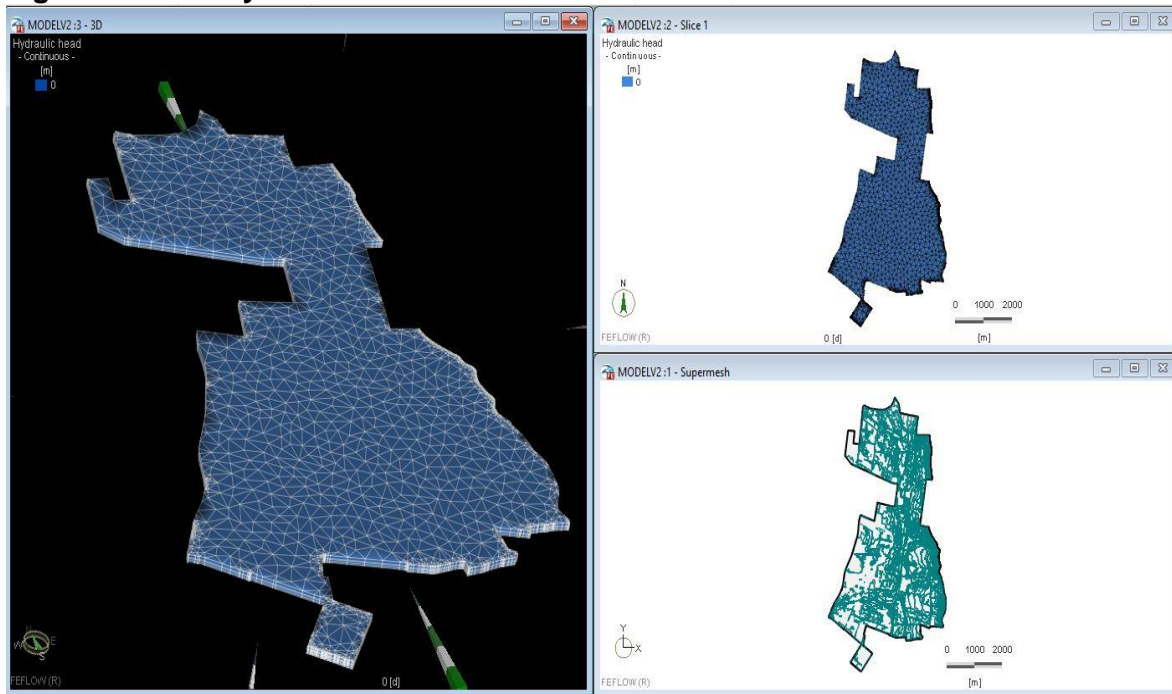
Para esto se evaluó un área de aproximadamente 1804.453 Ha, el modelo está discretizado espacialmente en mallas de bloques conocidas como celdas. El modelo tiene 6 capas cuya altura está determinada por el espesor definido en el modelo hidrogeológico conceptual (Geometría del acuífero, ver capítulo 10.5.4). Su relación aquí se hace con el fin de dar a conocer cuál será la estructura vertical que se tomará en cuenta en el desarrollo del modelo numérico.

La geometría del modelo que se desarrollará para Lagos de Torca consiste en la generación de los siguientes procesos:

- ✓ Supermesh (Supermalla): En el caso más simple, la supermalla contiene una definición del límite exterior del modelo. Además, se pueden incluir características geométricas como la posición de los piezómetros, y los cursos de ríos para ser considerados para la generación de la malla de elementos finitos.
- ✓ Malla de elementos finitos: Una vez que el límite exterior y otras restricciones geométricas se han definido en la super malla, se puede generar la malla de elementos finitos.

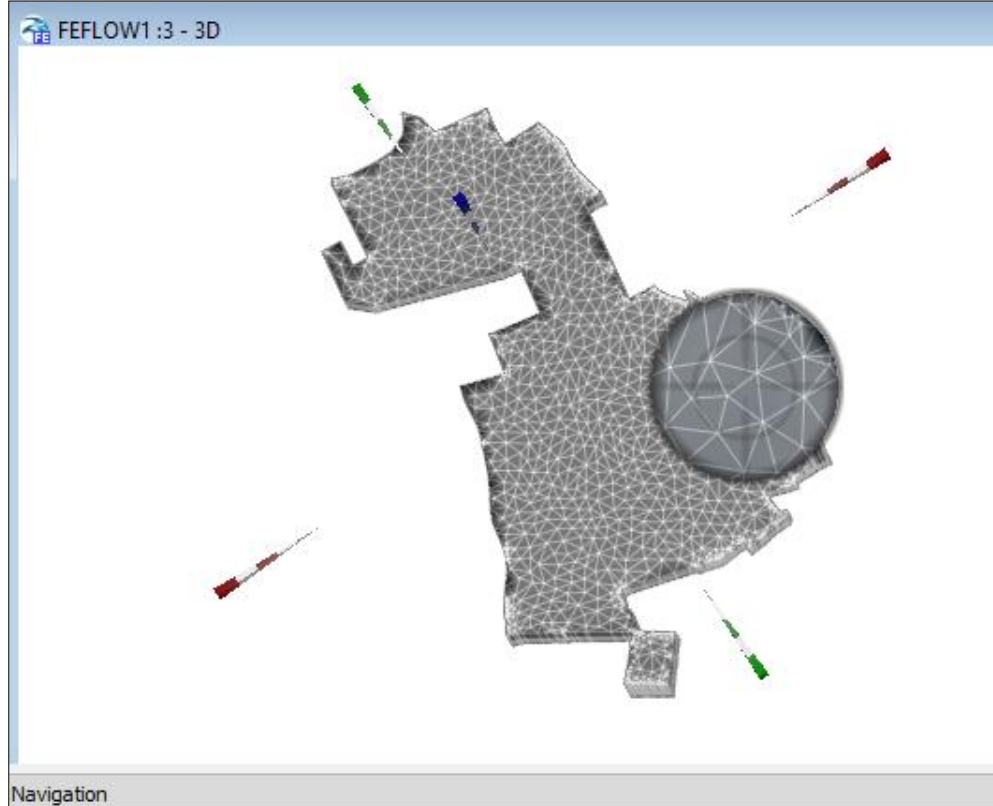
Dependiendo de las condiciones a modelar, ya sea flujo de agua o transporte de masas se empleará una resolución espacial más fina o no, es decir se asignará más número de elementos o menos. En lagos de torca se toma la condición solo de flujo de agua (ya que no se evalúa transporte de parámetros químicos o similar por no ser objeto del presente estudio), la cual, por la topografía del terreno, suave y ocasionalmente abrupta no requiere mallas demasiado finas, para el caso se ejecutó una malla media con 1000 elementos y densidad 1.0. Esto teniendo en cuenta además que refinar los puntos dependerá de la información a evaluar, ósea del número de datos, sin embargo, con la información que se tiene de niveles piezométricos y recarga se consideró ideo este número de elementos.

Figura 265 Malla y celdas del modelo numérico



Fuente: WSP, 2020

Figura 266 Detalle de la malla



Fuente: WSP, 2020

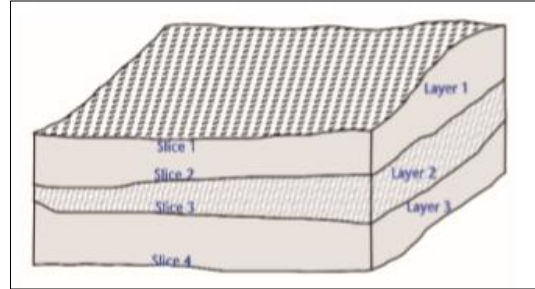
Durante la generación de la malla se tiene en cuenta además del espesor del acuífero en evaluación, para el caso de 15m y la topografía del terreno, como se indica en la **Figura 270**.

La definición de la superficie del terreno se lleva a cabo mediante el modelo digital de elevación DEM, cuyas curvas de nivel se encuentran aproximadamente cada metro, las cuales fueron idóneas para poder generar la malla y posterior sinterización de los elementos.

- ✓ Expansión a 3D: Hasta este punto, el modelo se evaluará en la vista superior o vista en planta, sin considerar la dirección vertical. A partir de esta geometría 2D, se configura un modelo 3D que consta de varias capas. La elevación real de las capas superior e inferior de la capa se deriva de una interpolación basada en datos de mapas (datos basados en puntos, para el caso de Lagos de Torca se evaluó a partir del espesor diferenciado en las seis capas a modelar, considerado mediante la geometría del acuífero).

Cuando se utiliza un enfoque por capas, FEFLOW distingue entre capas y sectores en 3D. En un primer paso, se definen los números de capas que como ya se mencionó se distinguieron seis.

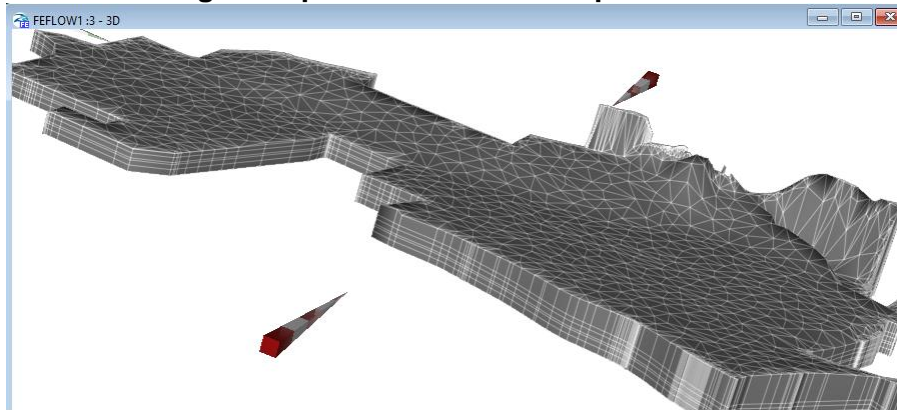
Figura 267 Configuración vertical del modelo.



Fuente Agencia Nacional del agua, 2017

La vista representativa 3D o generación de capas ese representa en la siguiente figura.

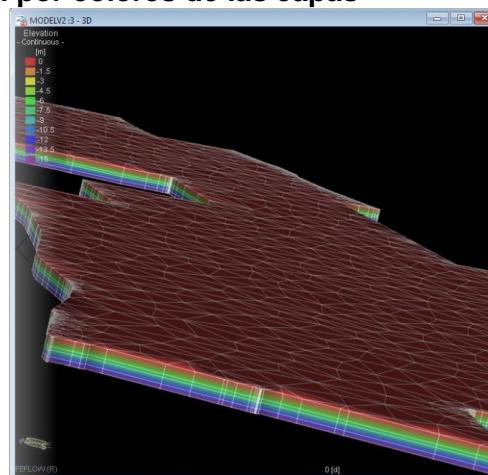
Figura 268 Vista 3D exagerada para visualizar las capas



Fuente: WSP, 2020

Las capas son cuerpos tridimensionales que típicamente representan formaciones geológicas como acuíferos y acuitardos. Las interfaces entre capas, así como los límites del modelo superior e inferior, se denominan sectores.

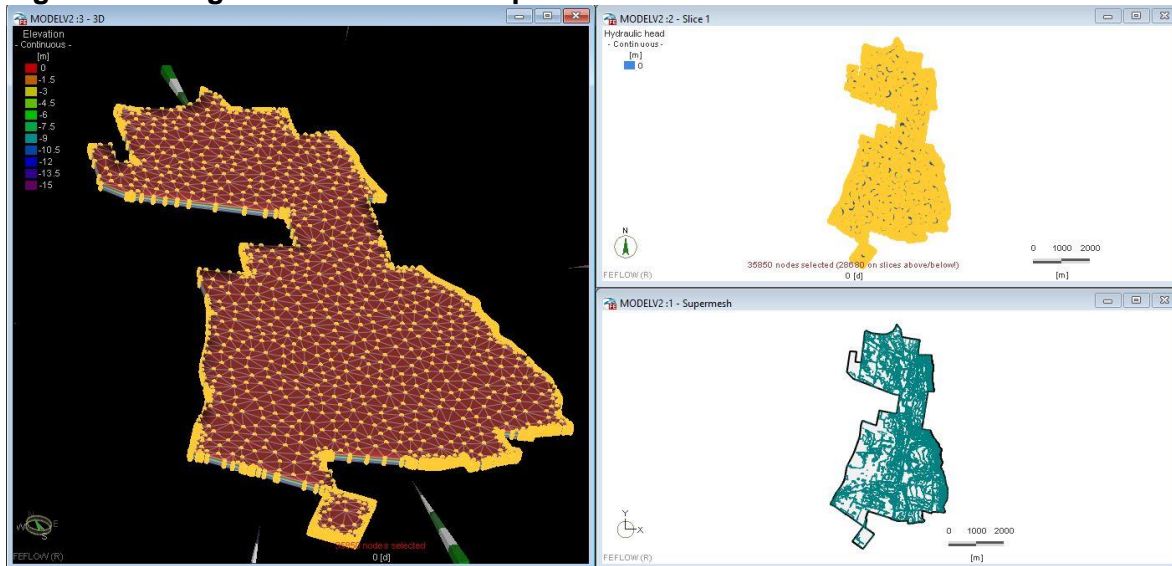
Figura 269 Identificación por colores de las capas



Fuente: WSP, 2020

- ✓ Datos de elevación: Esta geometría en bruto se formará regionalizando los datos de elevación contenidos en los archivos de mapa. Los datos básicos se derivarán de un DEM y de registros de pozos, y se combinaron en un archivo Excel (* .xlsx) con cuatro columnas: X, Y, Ele y Slice, ver Figura 270, Figura 271.

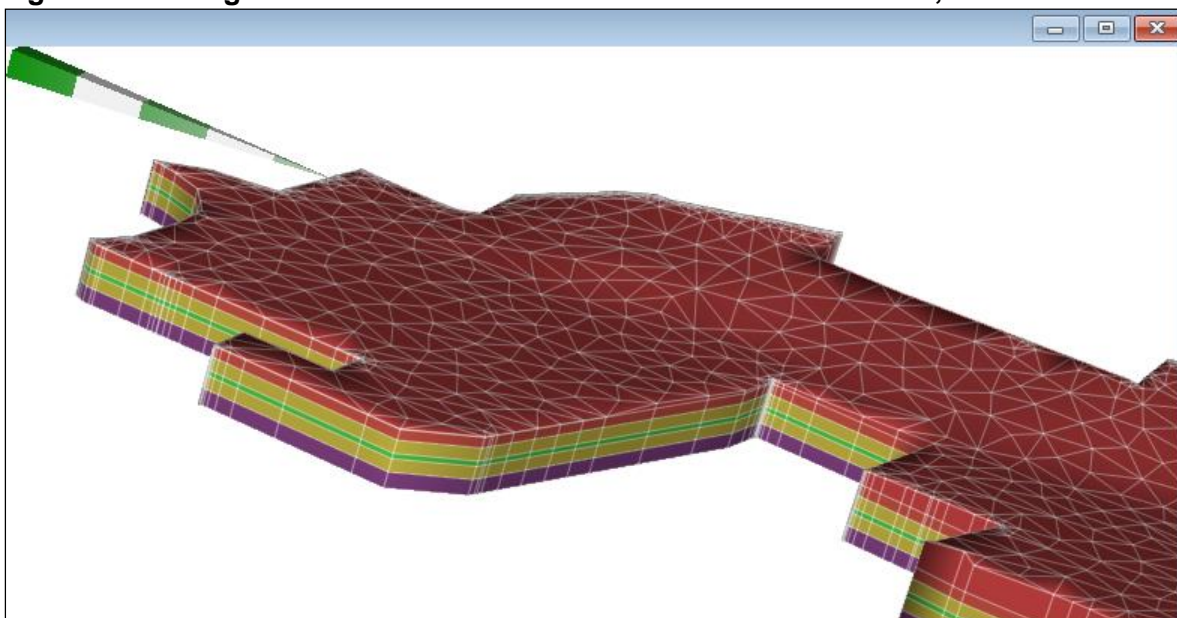
Figura 270 Asignación de elevación para el área de evaluación



Fuente: WSP, 2020

En La **Figura 270** se relaciona el proceso de asignación de la elevación, verificando que dicha propiedad se halla aplicado a las capas definidas por este estudio.

Figura 271 Configuración vertical del modelo – Detalle de elevación, Vista 3D



Fuente: WSP, 2020

10.5.10.1.4 Propiedades Hidráulicas

Las celdas que componen el modelo numérico representan las unidades hidrogeológicas cuando a éstas se les asignan unas propiedades hidráulicas, que para el análisis de Lagos de Torca se hizo específicamente a partir de la conductividad hidráulica (K) y porosidad efectiva.

Para asignar las propiedades hidráulicas a las celdas se parte del modelo conceptual y geológico para establecer las regiones. A partir de las unidades hidroestratigráficas, las cuales son zonificadas, limitadas o extrapoladas de acuerdo con sus características, asumiéndose en algunos casos flujos en medios continuos o equivalentes porosos y/o fracturados en ese contexto, el modelo numérico requiere los parámetros hidráulicos a fin de evaluar la dirección de flujo subterráneo y su interconexión con otras capas, para esta evaluación se puede tener en cuenta diferentes parámetros como lo son:

- Conductividad Hidráulica,
- Conductividad Hidráulica Saturada y de Saturación Variable
- Porosidad
- Coeficiente de Almacenamiento
- Coeficiente de compresibilidad entre otros y según aplique a la zona además del objetivo de evaluación.

Para Lagos de Torca como se mencionó se tendrá en cuenta la permeabilidad o conductividad hidráulica (K) y la porosidad de cada una de las unidades.

Para asignar las propiedades hidráulicas a las capas, se parte del modelo conceptual y geológico, teniendo en cuenta que, para el cálculo de la conductividad hidráulica, se llevaron a cabo ensayos de Slug y carga hidráulica, resultados que fueron clasificados de acuerdo con su condición litológica. Las propiedades hidráulicas iniciales asignadas a cada capa de evaluación se relacionan en el capítulo 10.5.10.1.4. y se pueden ver en la Tabla 93

Tabla 93 Valores de Permeabilidad por capa, Lagos de Torca

CAPA	Kx
CAPA 1 Techo	1.07e+0
CAPA 2	9.76E-1
CAPA 3	1.37e-1
CAPA 4	9.79e-3
CAPA 5	1.37e-1
CAPA 6	3.80e-6

Fuente: WSP, 2020

A continuación, se relaciona una tabla con la justificación de la inserción de las permeabilidades en cada capa, ver **Tabla 94**.

Tabla 94 Valores de permeabilidad por capa, Lagos de Torca -Argumento de Inserción

CAPA	Kx	Concepto
CAPA 1 Techo	1.07e+0	Se asigna el valor de permeabilidad teniendo en cuenta que dicha capa corresponde a la capa más superficial, cuya composición es de suelos orgánicos principalmente y material fino, por lo que se asume una permeabilidad alta.
CAPA 2	9.76E-1	Conformada principalmente por material muy fino en forma de arcillas plásticas, arcillas y limos y definida en un rango de profundidad entre los 3.90 - 6.0m, para dicha capa se asume el valor de permeabilidad de 9.76 E-1 referenciado en la Tabla 89, segunda fila. Se asigna dicho valor a razón de la litología anteriormente mencionada, asumiendo una capa menos permeable que la inmediatamente anterior.
CAPA 3	1.37e-1	Se asigna este valor puesto que se trata de una capa principalmente arenosa, donde se tiene en cuenta además la clasificación definida en la Tabla 87. No se asigna un valor menor dentro del rango establecido para dicha profundidad puesto que se pretende representar un material arenoso con moderadas características de permeabilidad.
CAPA 4	9.79e-3	Se asigna este valor teniendo en cuenta que dicha capa corresponde a niveles menos permeables que los anteriores. Su característica litológica de material arcilloso y limoso permite correlacionarlo con un material poco permeable.
CAPA 5	1.37e-1	Al igual que en la capa 3, se le asigna este valor por ser una capa arenosa.
CAPA 6	3.80e-6	Si bien este valor está calculado en ensayos de profundidades superiores, su valor se correlaciona mejor con el tipo de litología que caracteriza a esta capa, la cual está definida principalmente por arcillas. Se considera por tanto menos permeable que las demás capas inmediatamente anteriores, razón por la cual se toma el valor más impermeable calculado en las diferentes profundidades.

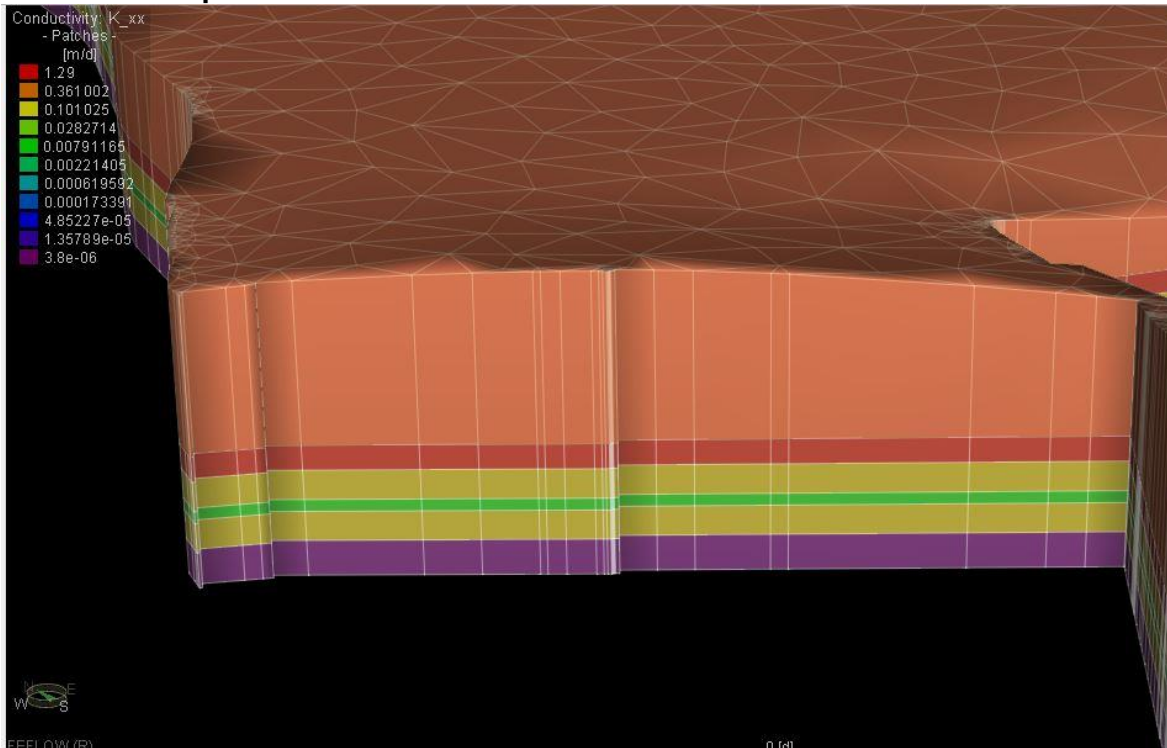
Fuente: WSP, 2020

Para el modelo de Lagos de Torca se tuvo en cuenta las conductividades hidráulicas (K) tanto del nivel superficial, como de las capas más profundas de la siguiente manera:

1. Inicialmente en la capa superficial o capa de techo se tuvo en cuenta la permeabilidad calculada y clasificada para cada unidad litoestratigráficas, definidas en las Tabla 89 y Tabla 90. Asignándola en la componente X y luego mediante permeabilidades equivalentes se asigna la misma en los otros tres componentes Y, Z.

2. Para las capas más profundas también se toman los rangos determinados en las Tabla 89 y Tabla 90, teniendo como mayor relevancia este ultima tabla ya que hace parte del ensayo donde se evalúan secciones de los piezómetros más profundas (Hasta 15 m). De esta manera se evaluará las condiciones hidráulicas, que además incorporará permeabilidades equivalentes, toda vez que para cada unidad se definió como de tipo homogéneo, isotrópico, por lo cual se tuvo en cuenta este criterio donde el valor de la permeabilidad (K) se asignará en tres dimensiones X, Y, Z suponiéndolo valido para cualquier dirección, ver **Figura 272**.

Figura 272 Asignación de parámetros hidráulicos por capa- componente x. Incluye distribución a profundidad.



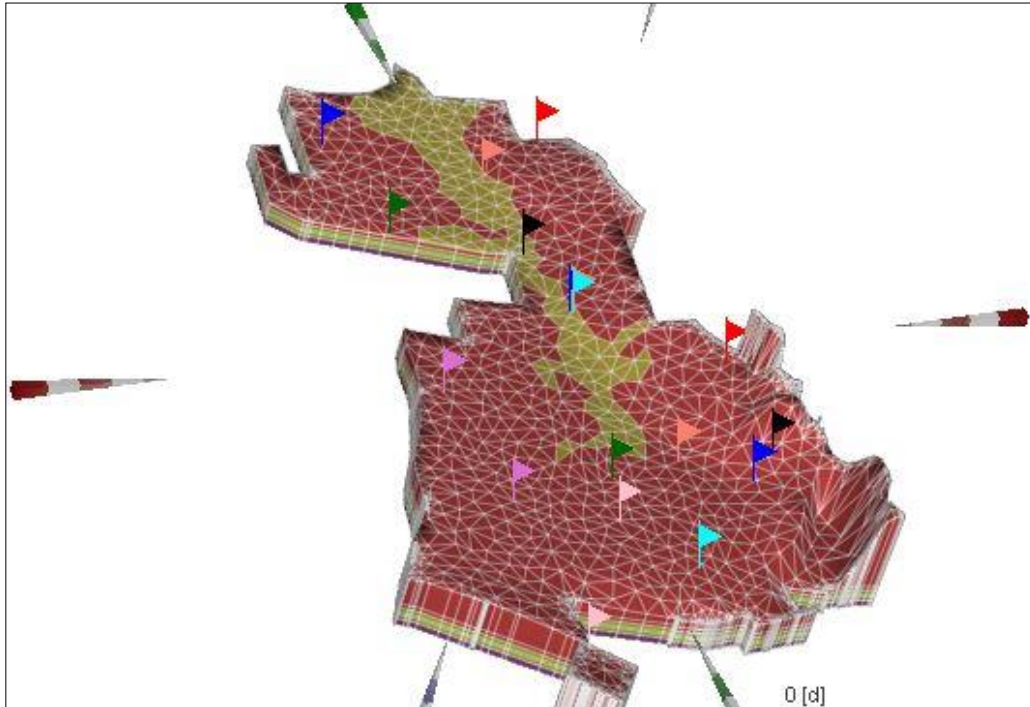
Fuente: WSP, 2020

A continuación, se presenta la asignación de la conductividad hidráulica en superficie, donde se identifica las unidades definidas por la Formación Sabana y Formación Chía esta última unidad se le asigno un valor promedio de $K = 1.6 E-1 m/d$ teniendo en cuenta que en dicha unidad se encontraron tres piezómetros con ensayos Slug, (Pz-2 ; Pz -5 ; Pz-6), ver Tabla 88.

Es importante mencionar que la Formación Chía presenta un espesor aproximado de 5m, de acuerdo con lo que reporta Helmens & Van der Hammen (1995), con base en dataciones de carbono-14 reportan edad Holoceno, con espesor máximo de esta formación de alrededor de 5 m. Por lo anterior se muestra en la Figura 274 la distribución completa y detallada de la distribución en profundidad de la conductividad hidráulica, para dicha unidad.

Para lo demás y de acuerdo con la caracterización geológica y posterior definición de unidades hidrogeológicas se asignó a la Formación sabana, la cual se encuentra representada a profundidad en la Figura 272.

Figura 273 Distribución de parámetros hidráulicos para unidades en superficie



Fuente: WSP, 2020

Figura 274 Asignación de parámetros hidráulicos en profundidad del Acuífero - Formación Chía.

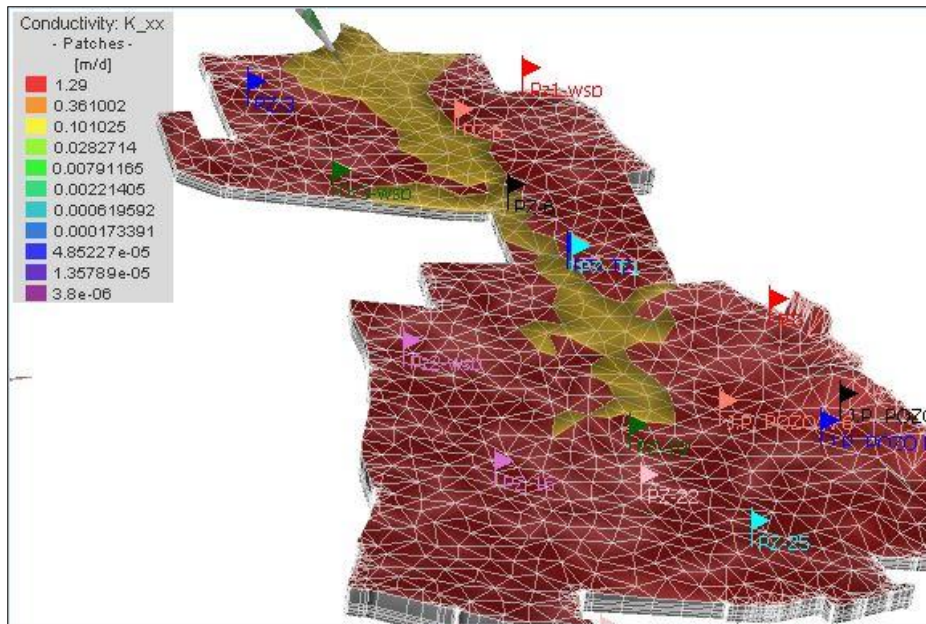
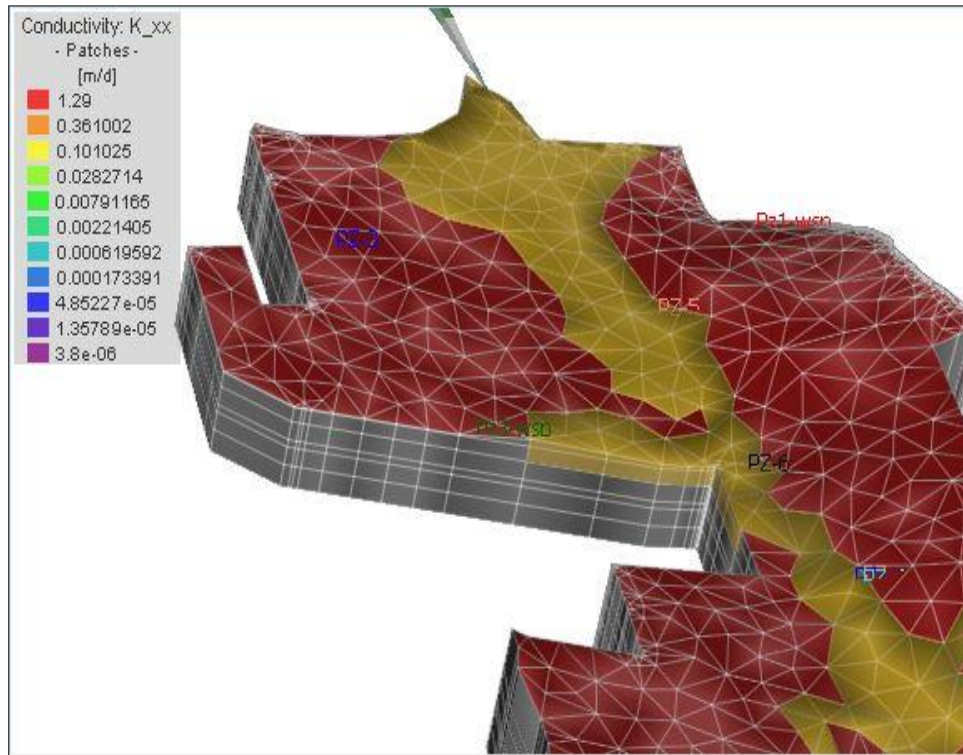


Figura 275 Asignación de parámetros hidráulicos – Figura de detalle en profundidad del Acuícludo - Formación Chía



Fuente: WSP, 2020

Para asignar la porosidad a cada una de las capas se tuvo en cuenta información secundaria, y corresponde a una clasificación de la porosidad para diferentes tipos de material, ver Figura 276.

Figura 276 Relación de vacíos y porosidad en diferentes tipos de material

Material	e	n (%)
Limo orgánico	3.2	76
Arcilla sobre consolidada	0.9	47
Arcila normalmente consolidada	1.4	58
Arena suelta	0.8	44
Arena compacta	0.45	31

Fuente. Braja M. Das, Principios de ingeniería de cimentaciones, 4ta edición.

Teniendo en cuenta que la porosidad, n, es función de la relación de vacíos, e; se calcula mediante la ecuación:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

Por lo anterior se asignó a cada una de las capas los siguientes valores de porosidad, ver Tabla 95.

Tabla 95 Valores de porosidad por capa, Lagos de Torca

CAPA	DESCRIPCIÓN	e	n%	n
CAPA 1 Techo	La capa más superficial del modelo comprende suelos orgánicos y material fino: arcillas y limos. Adicionalmente puede contener intercalaciones de lentes de arenas.	3.2	76	0.762
CAPA 2	Está conformada por material muy fino en forma de arcillas plásticas, arcillas y limos. En la capa se encuentran gradaciones laterales hacia limos arenosos.	1.4	58	0.583
CAPA 3	Capa arenosa que lateralmente puede gradar a limos. Capa acuífera.	0.45	31	0.310
CAPA 4	Capa heterogénea que consistente en intercalaciones de material arcilloso, limos y lentes de arena. Si bien contiene arena, no conforma una buena capa acuífera.	1.4	58	0.583
CAPA 5	Corresponde a un lente arenoso de espesor variable que conforma una de las capas acuíferas.	0.45	31	0.310
CAPA 6	La capa estratigráficamente más profunda del modelo. Consistente en material de grano fino, consistente en arcillas con algunas gradaciones laterales en las cuales las arcillas presentan una fracción de limos y arenas finas.	0.9	47	0.473

Fuente: WSP, 2020

El valor de inserción al Software es el resultado de la tabla anterior.

10.5.10.1.5 Condiciones de Borde

Como cualquier modelo numérico, los datos de entrada actúan como condiciones que tienen la función de: imponer energía o en el caso de los modelos de acuíferos, cargas hidráulicas (primer orden), imponer flujos y cargas hidráulicas (segundo orden), ser dependientes de las cargas que son resultado de las iteraciones del modelo (tercer orden) o constituir límites al flujo y por lo tanto a la presencia de aguas subterráneas.

Generalmente recomiendan que las condiciones de borde sean ingresadas con datos medidos en las labores de campo o estimadas en función a balances hídricos pertinentes, esto, a fin de que los resultados obtenidos de la modelización reflejen sin ambigüedades lo concebido en el modelo conceptual, (Autoridad Nacional del Agua,2017-Peru).

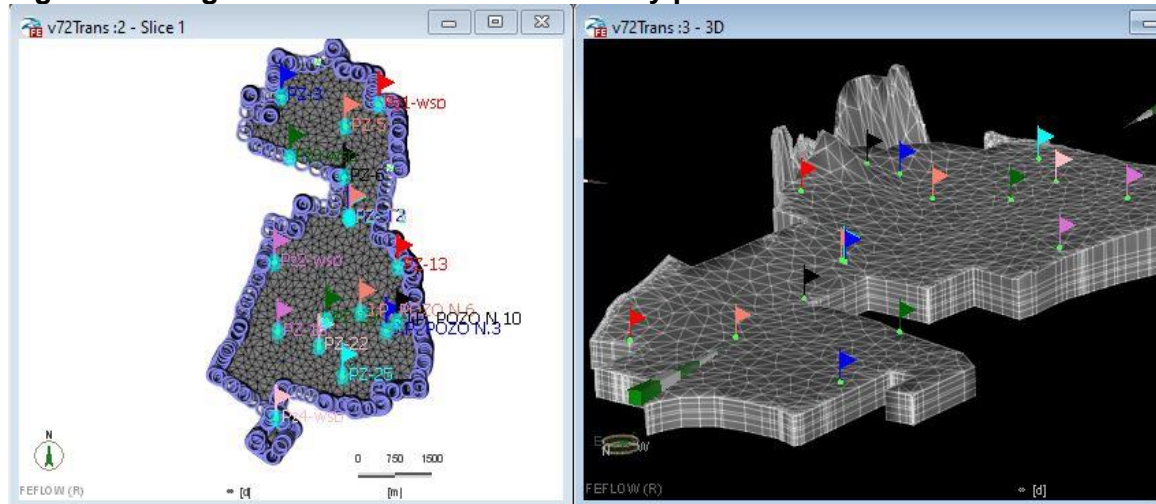
Tabla 96 Tipos de condiciones de borde

TIPO DE CONDICIÓN	EJEMPLOS	CONDICIÓN
Primer orden	Imponer energía, cargas hidráulicas	Río, lagunas
Segundo orden	Imponer flujos, cargas hidráulicas	Ríos, lagunas, recargas, inyecciones
Tercer orden	Ser dependientes de las cargas que son resultados de las iteraciones del modelo	Manantiales, ríos, drenes, lagunas

Fuente Agencia Nacional del agua,2017.

Para Lagos de Torca y teniendo en cuenta las anteriores afirmaciones, se lleva a cabo el proceso denominado por el Software como *Boundary Condition*, donde se incluye los elementos como cabezas hidráulicas y los pozos de observación (Red de piezómetros), como se indica en detalladamente en las siguientes de figura.

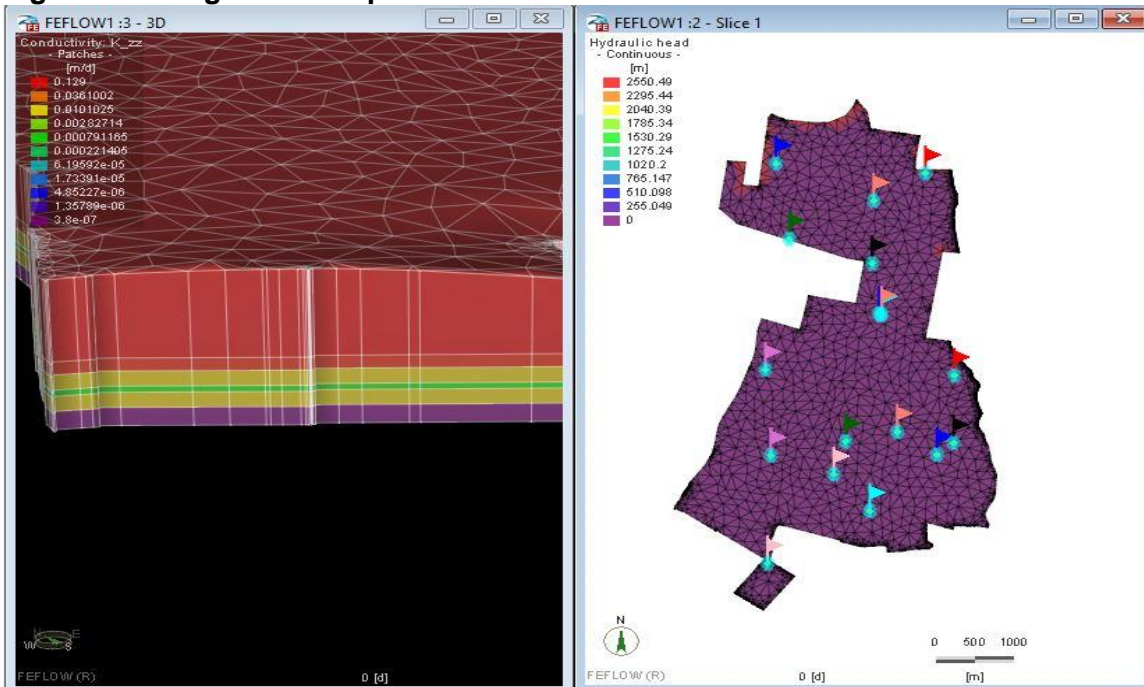
Figura 277 Asignación de cabezas hidráulicas y piezómetros de observación



Fuente: WSP, 2020

Aunque en el modelo numérico estas cabezas no hacen parte de las condiciones de borde, éstas son importantes para la convergencia del modelo que se hace con un proceso iterativo. En el modelo que se hizo para evaluar la dinámica hidrogeológica actual de la zona, las cabezas iniciales están a la altura de la superficie del terreno.

Figura 278 Asignación de puntos de observación



Fuente: WSP, 2020

En cuanto a la inserción al modelo de las zonas de humedal se tuvo en cuenta las siguientes especificaciones:

- ✓ En la modelación con Feflow las condiciones para los humedales tienen la siguiente especificación: “En las zonas donde la superficie freática del acuífero interseca con la superficie del terreno se produce el afloramiento de agua, dando lugar a una zona de descarga. Simular este tipo de situaciones denominadas comúnmente superficies de rezume, es una capacidad importante para afrontar los problemas de modelos de drenaje de acuíferos no confinados en *humedales*”, Díaz Noriega *Et al*, 2012.

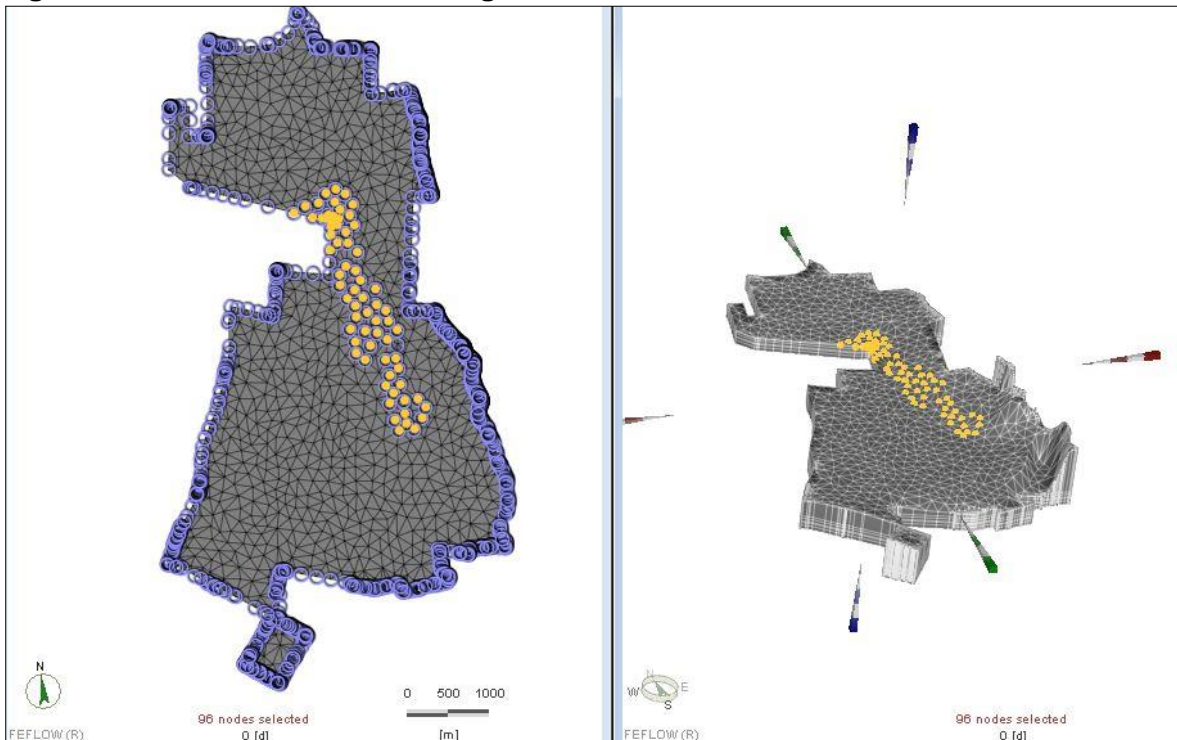
FEFLOW por su parte, simula las superficies de rezume de manera distinta a otros programas de flujo, esto teniendo en cuenta que en la mayoría de Software manejan estas condiciones mediante la inserción de conductancia, sin embargo y como se mencionara a continuación este parámetro se resuelve mediante una ecuación de Dirichlet.

Para ello asigna una condición de contorno Dirichlet, con un nivel piezométrico de valor igual a la cota topográfica, en los nodos en los cuales el nivel freático del acuífero alcanza la superficie del terreno. Se trata de una configuración que se define de antemano, permitiendo al código detectar las zonas de rezume (humedales para el caso de Lagos de Torca) en el modelo y configurar automáticamente durante la simulación esta condición de contorno en estos nodos (DHI-WASY, 2010).

La condición de contorno saca el agua correspondiente del modelo e impide que los niveles asciendan por encima de dicha cota. Cuando FEFLOW detecta que los niveles en estos nodos vuelven a descender por debajo de la cota de la superficie del terreno, se configura en estos nodos una restricción de caudal tipo Neumann con caudal de entrada al modelo nulo, lo que impide que la condición tipo Dirichlet introduzca agua indebidamente en el modelo. *Estudio comparativo de los simuladores de flujo subterráneo Visual MODFLOW y FEFLOW 6.0-* (Díaz Noriega Et al, 2012).

- ✓ A razón de lo anterior se evaluaron los perfiles topográficos longitudinal y secciones transversales realizados a lo largo de toda la zona de humedal en Lagos de Torca. Allí se identifica el nivel de la lámina de agua, nivel del terreno natural, nivel de lodos, (Anexo P) con este insumo se encontró que la lámina de agua máxima para la zona de humedal corresponde a 1 m , valor que es incluido en la ecuación.

Figura 279 Inserción - Humedal Lagos de Torca

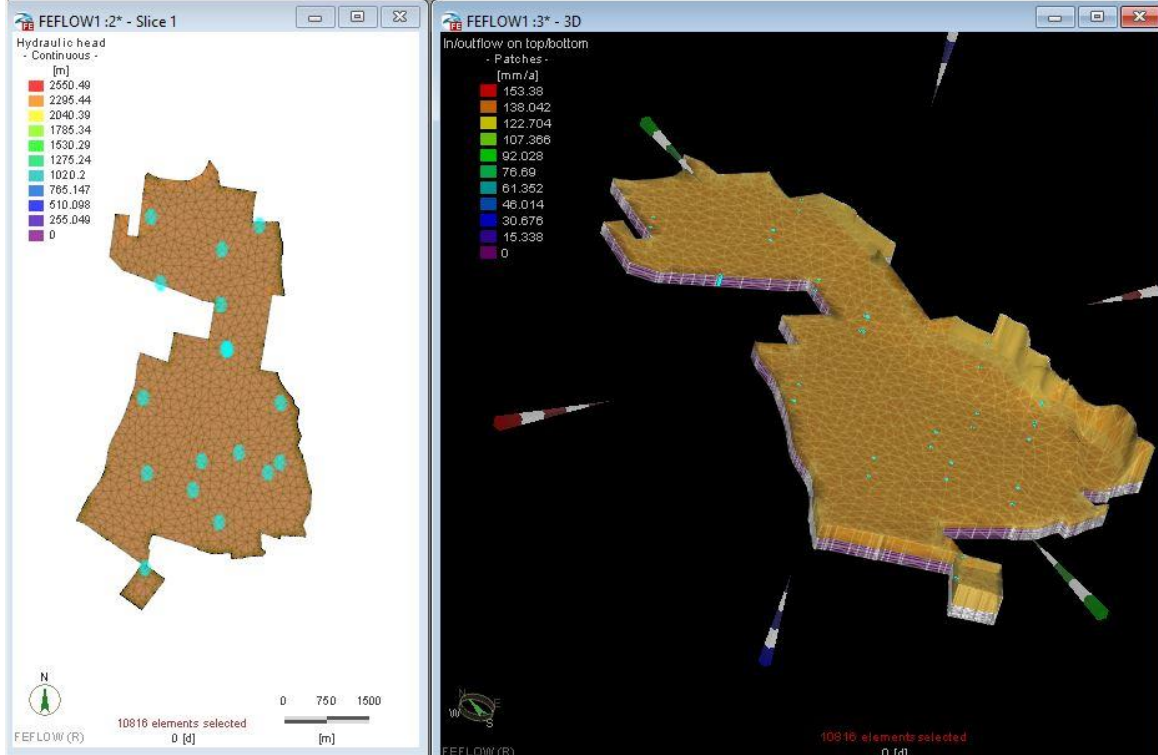


Fuente: WSP, 2020

Durante el desarrollo del modelo otro proceso importante es el denominado por el software como *Material Properties* donde se incluyen otros parámetros de inserción como lo es:

- ✓ recarga que fue calculada en el capítulo 10.5.2 , Tabla 84, obteniendo un valor de **153.38 mm/año** .

Figura 280Asignación de la recarga



Fuente: WSP, 2020

- ✓ En este proceso es donde se incluyen los parámetros hidráulicos en las tres direcciones ya mencionados en el capítulo 10.5.10.1.4 y definidos para cada una de las capas objeto de estudio.

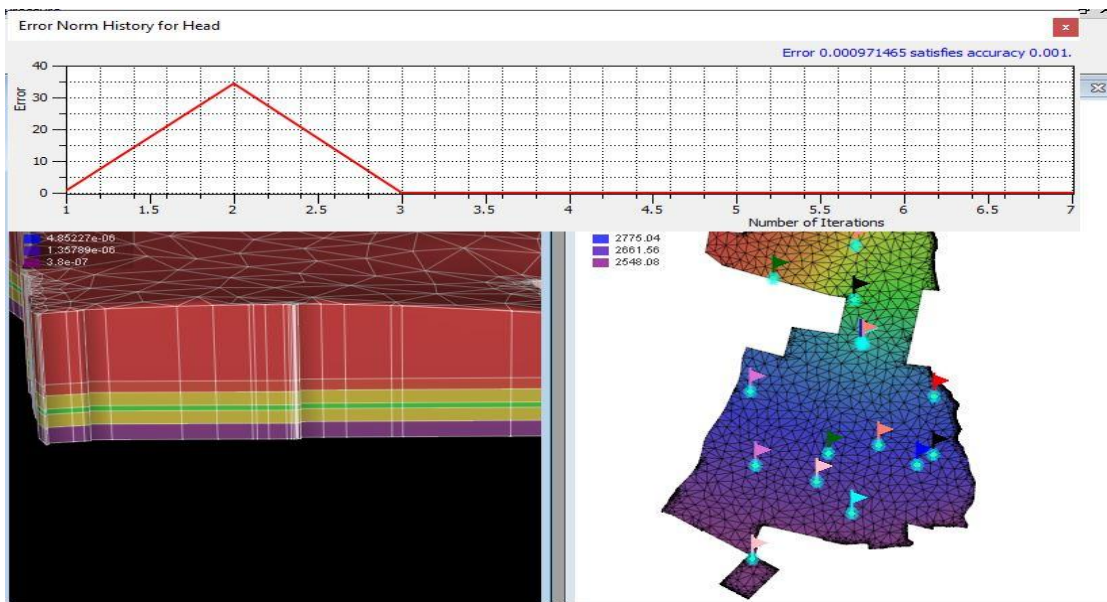
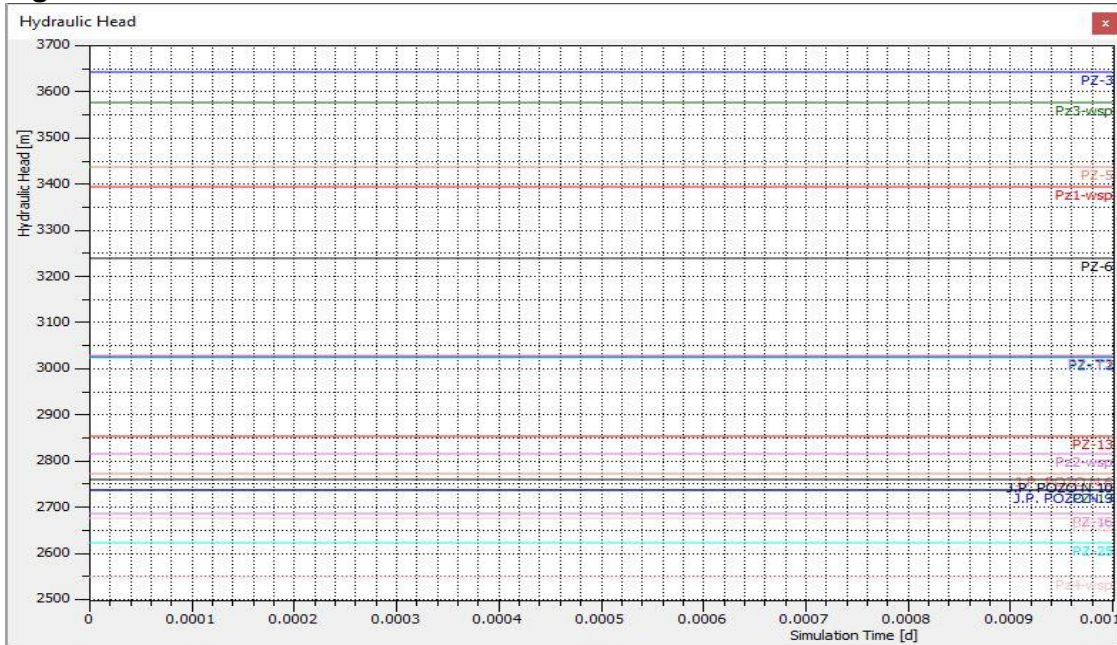
10.5.10.1.6 Calibración del modelo numérico

La elaboración de modelos numéricos incluye datos que necesariamente provienen de la observación, cuya representatividad es importante en tanto se cubran las zonas de interés hidrogeológico en el modelo.

En ese sentido, existen valores que al final de las corridas iterativas pueden ser contrastados con los datos de observación; en el contexto hidrogeológico, se pueden usar los datos de las cargas hidráulicas observadas y contrastarlas con las calculadas resultantes del modelo, lo mismo se puede realizar con los balances de agua provenientes de las condiciones de borde, como ríos y manantiales, cuya tasa de salida puede estar o no conectada con las aguas subterráneas, (Autoridad Nacional del Agua,2017-Peru).

Para verificar la precisión del modelo se utilizaron valores reales para hacer una comparación con los resultados del modelo numérico. Los datos de comparación fueron las lecturas del nivel de la tabla de agua subterránea de todos los piezómetros, dichos datos se encuentran representados en los capítulos 10.3.1y 10.3.2.

Figura 281 Calibración del modelo



Fuente: WSP, 2020

En condiciones iniciales estacionarias el error de acuerdo con los resultados es de 0.001 como indica la anterior figura.

10.5.10.2 Modelo numérico estado estacionario

Un modelo en estado estacionario asume una magnitud y dirección constante a lo largo del tiempo.

Esto significa que la cantidad de agua que fluye dentro del dominio del sistema es siempre la misma, no se toman en cuenta efectos de almacenamiento o desabastecimiento del flujo.

Sin embargo, dadas condiciones de baja permeabilidad, porosidad y/o almacenamiento específico es poco probable que las condiciones del estado estacionario se mantengan constantes en largos periodos de tiempo. Porque dicho cambio es el que se evaluara en el estado transitorio donde varían parámetros como la permeabilidad, debido a condiciones externas o antrópicas.

El modelo en estado estacionario se realizó en modelo de elementos finitos. Durante esta fase de modelación se realizaron modelos bidimensionales y tridimensionales, como se mencionó en el capítulo 10.5.10.1.3. De manera individual se hace un análisis general de la interacción entre el terreno y el comportamiento estacionario del flujo subterráneo.

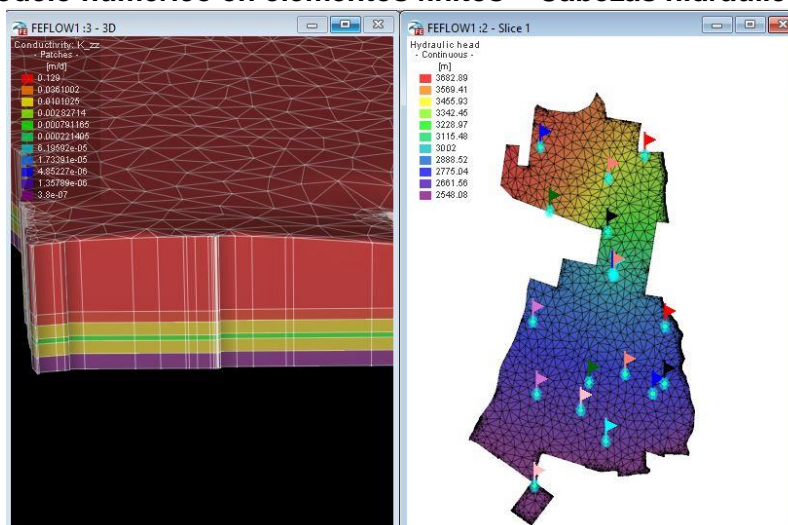
Se asigna como condición de contorno las lecturas de nivel freático de los piezómetros, así como los puntos en superficie del nivel freático dados por la ubicación de los piezómetros. Para este modelo se toma como base la recarga potencial calculada para el área de estudio en un solo periodo climático con un valor de 153.38 mm/año. Además, se realiza la inserción de la zona de humedal, mediante la ecuación de Dirichlet a través de la evaluación topográfica (Z) más el valor del nivel de la lámina de agua promedio que es de 1 m.

A partir de dicho escenario de modelación se simula el proceso completo desde el momento actual, con el objetivo de visualizar el comportamiento del flujo subterráneo, proyectado para obras de urbanización.

10.5.10.2.1 Determinación de las cabezas de presión

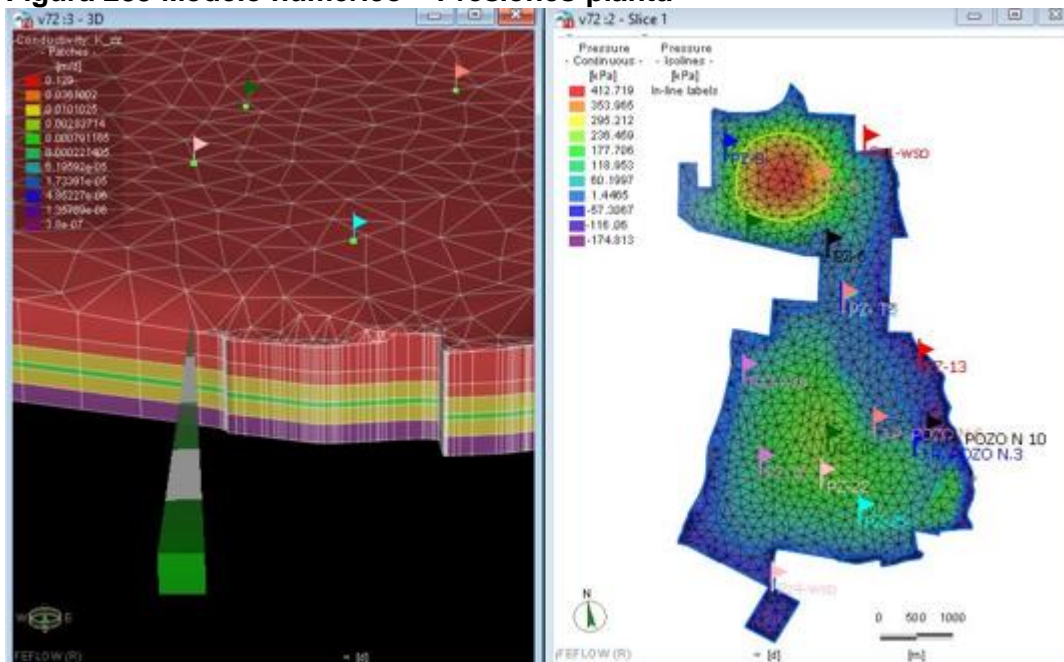
Se presenta a continuación la variación local de la cabeza total hidráulica en la sección en planta del área de Lagos de Torca. En las siguientes figuras se presenta la determinación de cabezas totales, ver **Figura 282** **Figura 283** **Figura 284**.

Figura 282 Modelo numérico en elementos finitos – Cabezas hidráulicas



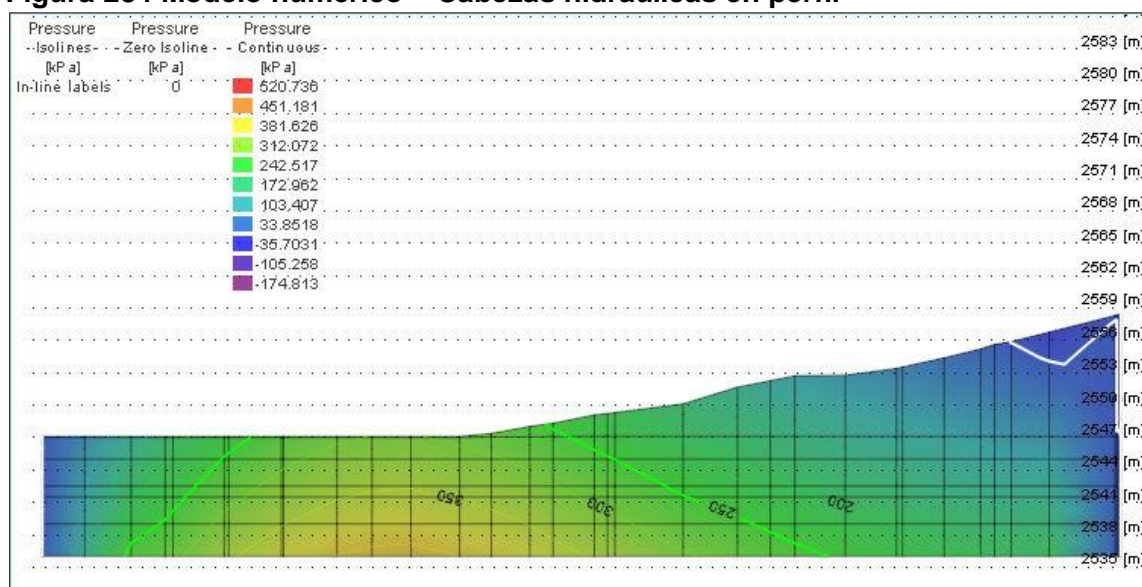
Fuente: WSP, 2020

Figura 283 Modelo numérico – Presiones-planta



Fuente: WSP, 2020

Figura 284 Modelo numérico – Cabezas hidráulicas en perfil

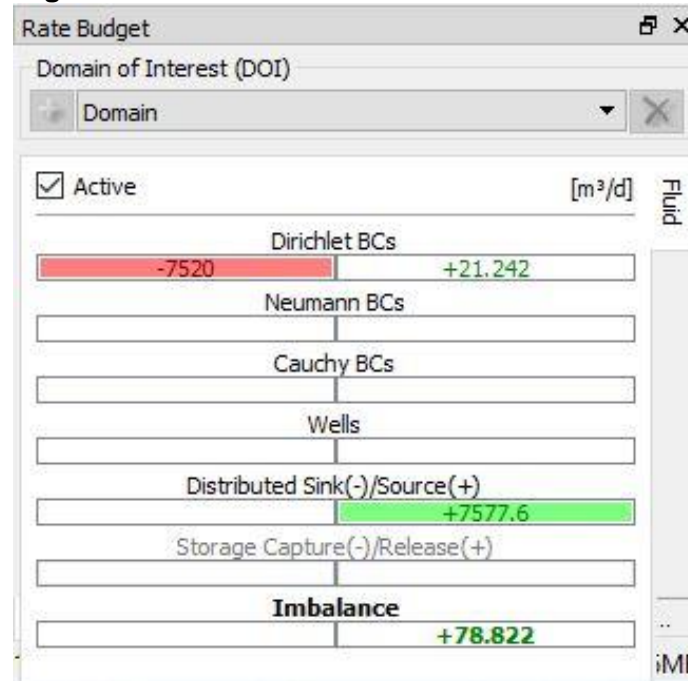


Fuente: WSP, 2020

De acuerdo con el modelo generado se evidencia que las cabezas de presión proyectadas en un escenario futuro presentaran variaciones relativamente mínimas, concepto validado por la calibración donde los escenarios de mejor ajuste se comportan en condiciones de poca diferencia con respecto a la condición actual.

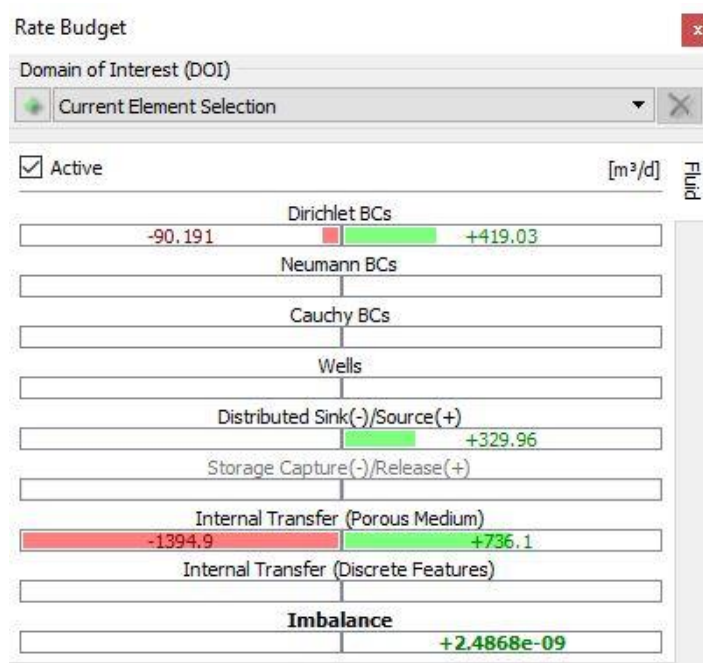
En la Figura 286 el *Imbalance* define que para el modelo numérico en estado estacionario se presenta un valor de 78.82 m³/d de almacenamiento a nivel de balance hídrico general, indicando un aporte favorable a toda la zona de estudio de Lagos de Torca.

Figura 286 Balance general en estado estacionario



Fuente: WSP, 2020

Figura 287 Balance humedal - acuícludo en estado estacionario



Fuente: WSP, 2020

En la Figura 287Figura 299 se muestra el balance de masas para el humedal donde se indentifica que existe una relación de poros alta en contraste con la unidad hidrogeologica de la Formación Sabana y de cada una de las capas definidas en la geometría del acuífero, por lo tanto se infiere una zona saturada que aparentememnte no se infiltra (Humedal) y donde se calcula un valor de almacenamiento favorable sin perdidas.

Figura 288 Balance Acuícludo en estado estacionario



Fuente: WSP, 2020

En la Figura 288 se determina que las pérdidas para esta Unidad, definida como o Acuícludo (Formación Chía) son relativamente mínimas puesto que presenta un valor de $-7.947 \text{ e-}6 \text{ m}^3/\text{d}$, validando su clasificación puesto que el valor de infiltración y permeabilidad que se puede inferir de este valor es baja pero con una porosidad alta como indica la figura en el recuadro de medio poroso.

10.5.10.3 Modelo numérico en estado transitorio

10.5.10.3.1 Escenario para proyectar impermeabilización

Para simular la impermeabilización en diferentes zonas del área de Lagos de Torca, se toma como criterio de evaluación para la condición futura el mapa de uso de suelo, esto teniendo en cuenta que hasta el momento del desarrollo de esta consultoría la mayoría de los Planes Parciales aún no han definido la distribución del urbanismo interno de cada uno.

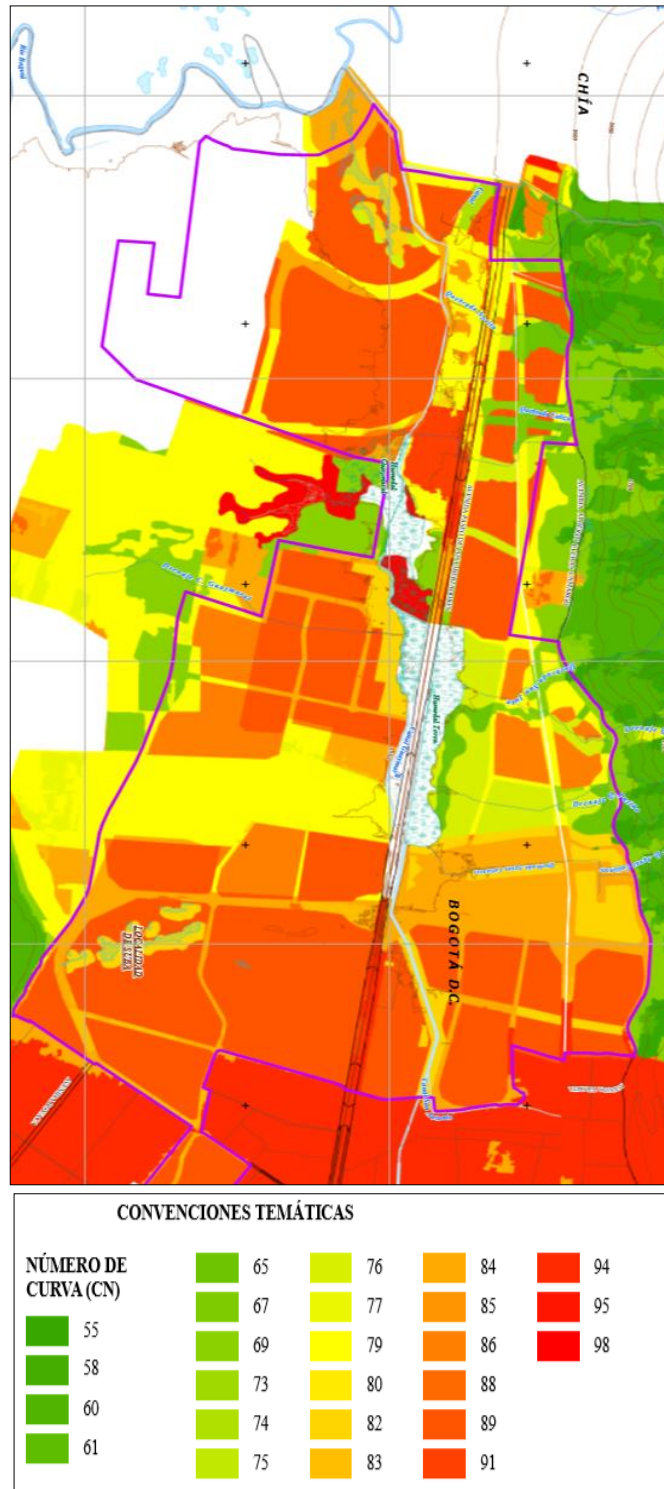
El escenario de proyección respecto a la impermeabilización se llevó a cabo a través de las coberturas de suelo analizadas y proyectados en condiciones futuras en el Producto 4 de Hidrología, del presente estudio, a continuación, se presenta la figura que correlaciona dicho análisis.

La condición futura a la que se refiere en la Figura 289 está basada en los colores asignados, los rojos corresponden a las zonas menos permeables y las verdes más permeables, es decir que entre más oscuro corresponde a las zonas de impermeabilización y verde zonas que no se impermeabilizaran (simulando las zonas con codificación 69 -98 como zonas impermeabilizadas). Obtenidas a partir del análisis de cobertura vegetal, usos del suelo, drenajes, curvas de precipitación y otras variables, que como se mencionó están descritas en el Estudio de Hidrología del Producto 4. 1551

Para Lagos de Torca el área que se impermeabilizara en la simulación numérica corresponde a un 86% del área total la cual corresponde a 1805 Ha.

Bajo este criterio se proyectó el escenario futuro, asignando en el modelo las zonas permeables e impermeables y bajo dicha condición se genera la simulación.

Figura 289 Mapa de coberturas y usos proyectados para el Borde Norte, Decreto 088 de 2017.

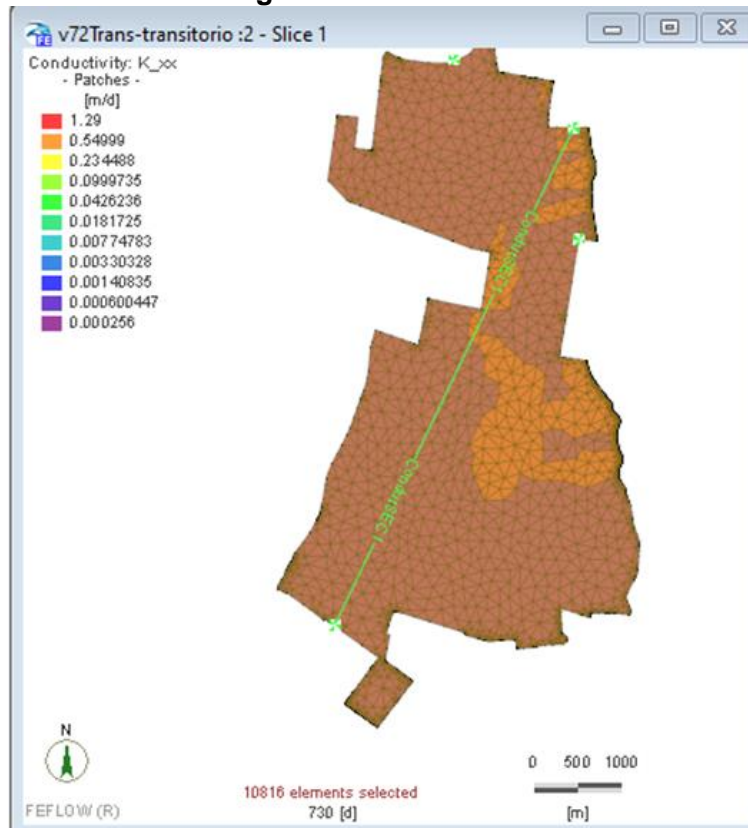


Fuente: WSP, 2020

El proceso por seguir para generar el modelo transitorio en el escenario impermeabilizado bajo el criterio anteriormente mencionado es:

1. Se asignan las conductividades hidráulicas en el nuevo escenario, tomando las zonas definidas en la Figura 289. La asignación de la conductividad sigue el proceso que se relaciona en la Figura 290, donde además se relaciona el trazado del perfil transversal que se determinó para toda la zona de Lagos de Torca.

Figura 290 Modelo transitorio asignación de Conductividades



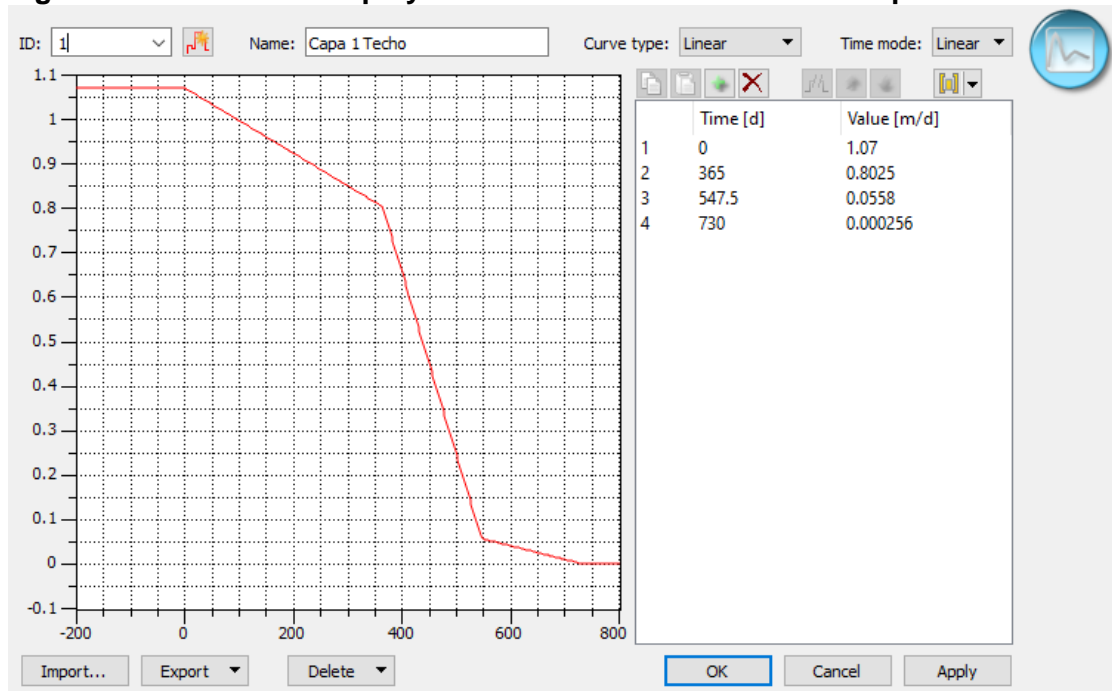
Fuente: WSP, 2020

La asignación de las zonas y su conductividad se aplica para las primeras tres capas de techo a base, a razón de que la impermeabilización de la zona se hará para un proyecto urbanístico donde se infiere que en su proceso constructivo no se afectaran capas mayores a 8 m, esto se validó con las definiciones del Geotecnista y los análisis hechos para el presente estudio, ver **Figura 294**

Para las demás capas la evaluación del escenario transitorio será asignada para la capa homogéneamente en una serie de tiempo que comprende más de dos años de evaluación.

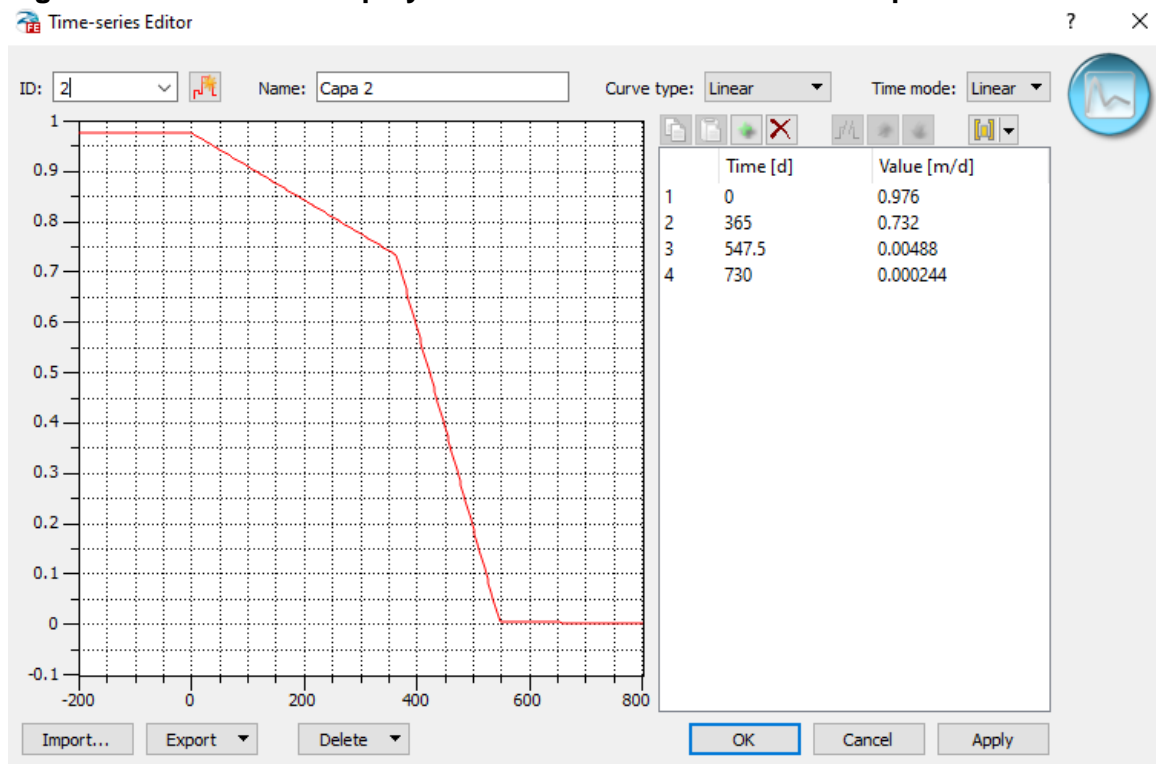
De acuerdo con las proyecciones evaluadas para dar desarrollo al proyecto urbanístico se plantea un orden de tiempo de 2 años, por tal razón se toma este tiempo y se subdivide en diferentes periodos de tiempo y con diferentes rangos para así simular este escenario bajo diferentes condiciones, tal como se muestra en las Figura 291 Figura 292 y Figura 293.

Figura 291 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 1



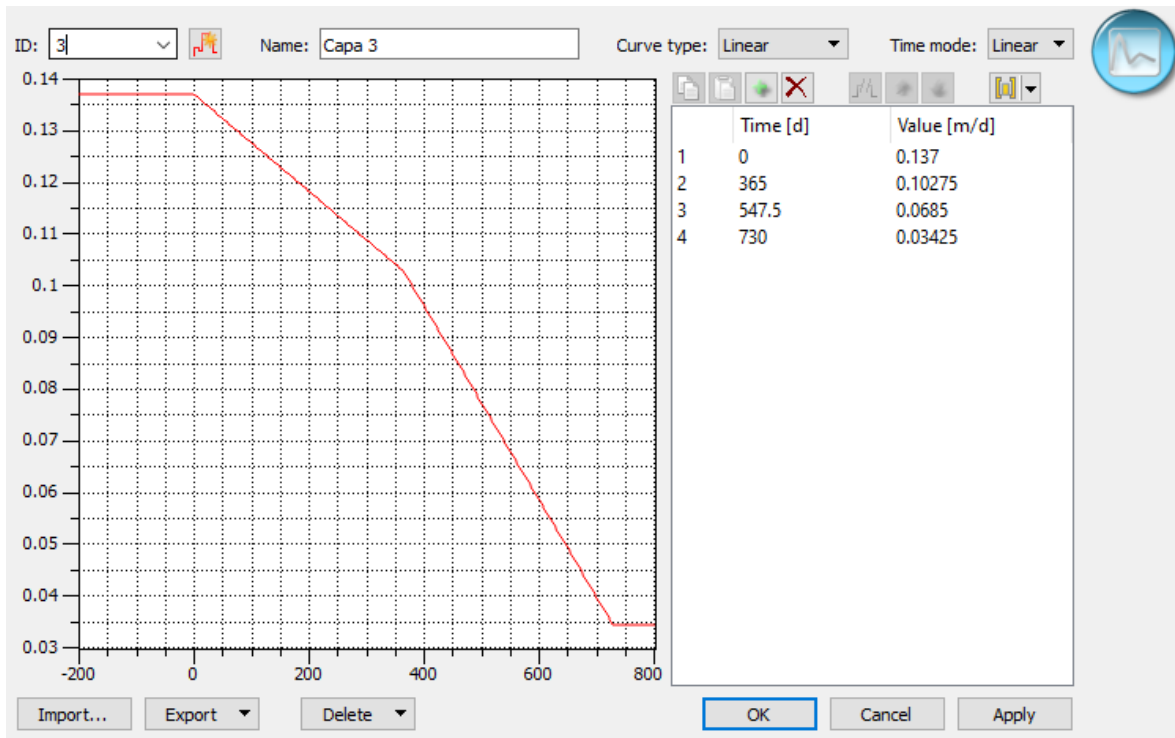
Fuente: WSP, 2020

Figura 292 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 2



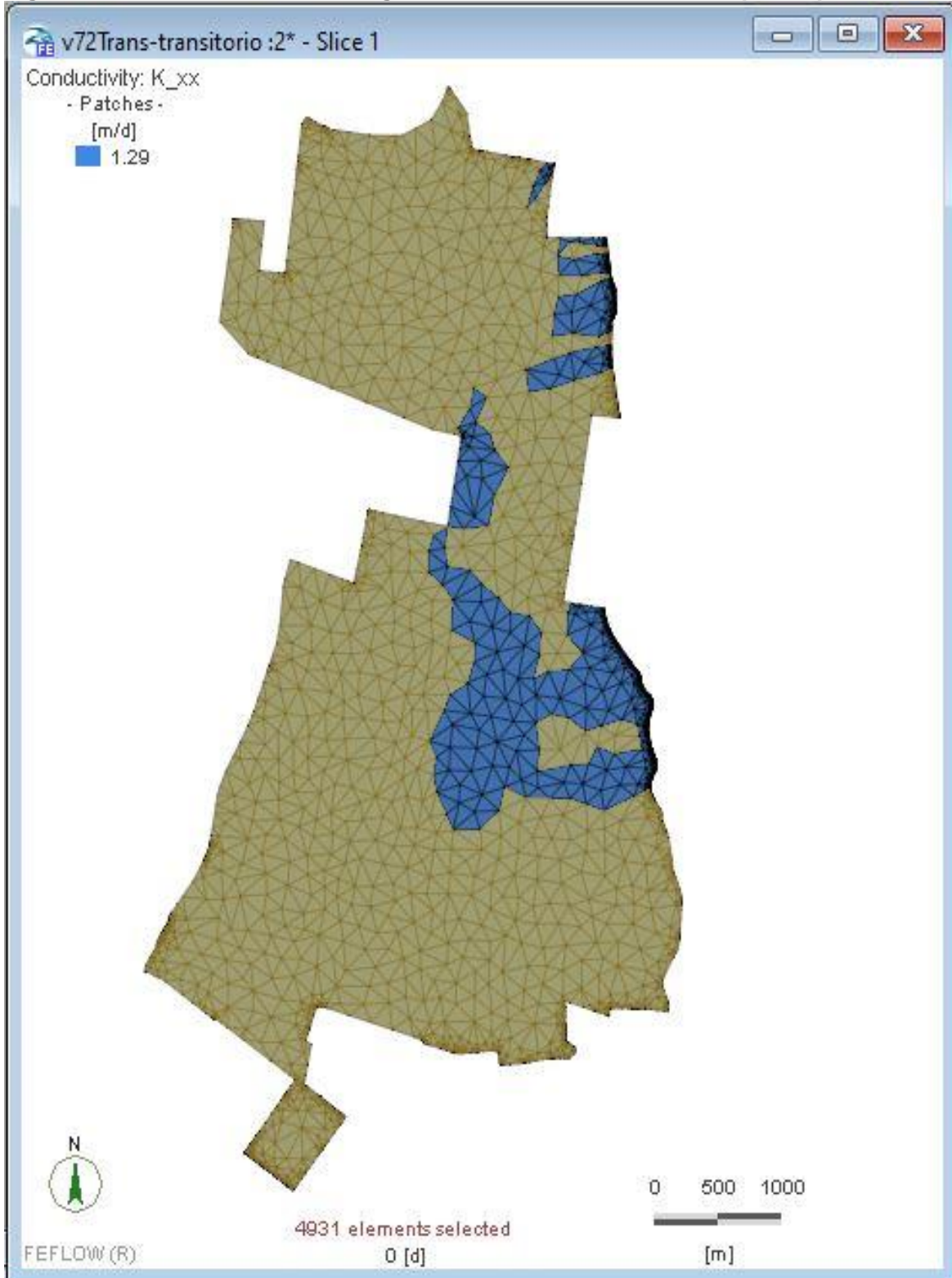
Fuente: WSP, 2020

Figura 293 Series de tiempo y valores de Conductividades – Capa 3



Fuente: WSP, 2020

Figura 294 Modelo transitorio asignación de Conductividades capas superficiales



Fuente: WSP, 2020

A continuación, se presenta la distribución en planta de la impermeabilización durante el tiempo de simulación en el año 0 (Figura 295), año 1 (Figura 296), año 1 y medio (Figura 297), y año 2 (Figura 298).

Figura 295 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 0

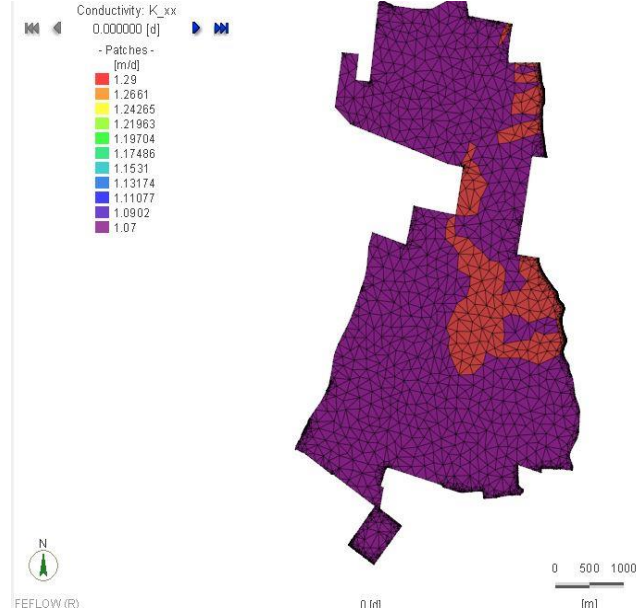
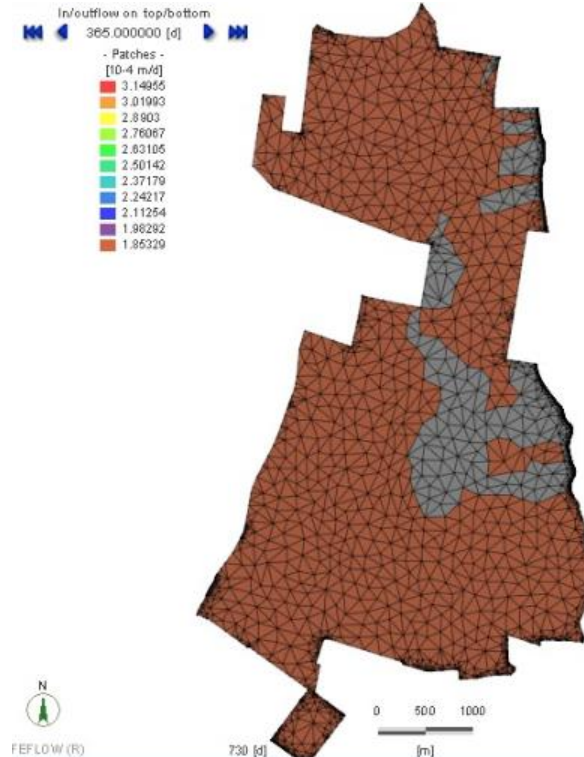


Figura 296 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 1



Fuente: WSP, 2020

Figura 297 Modelo transitorio resultados de la simulación Año 1 y 182,5 días

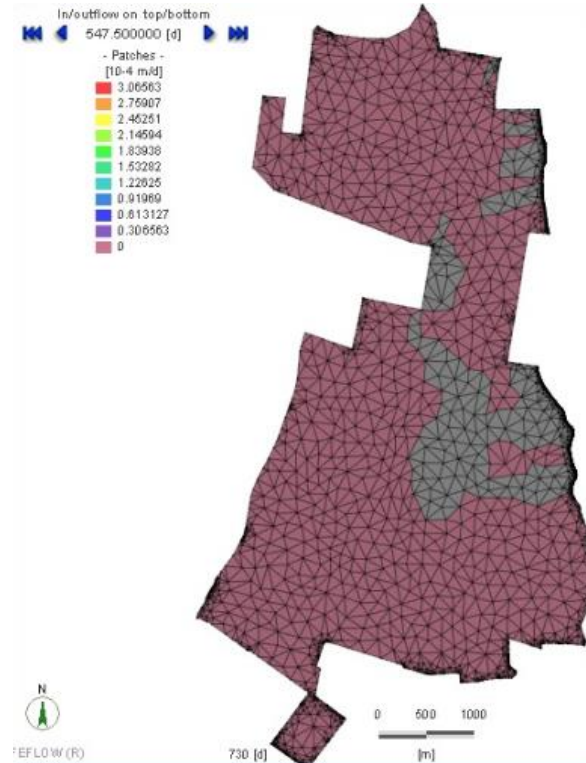
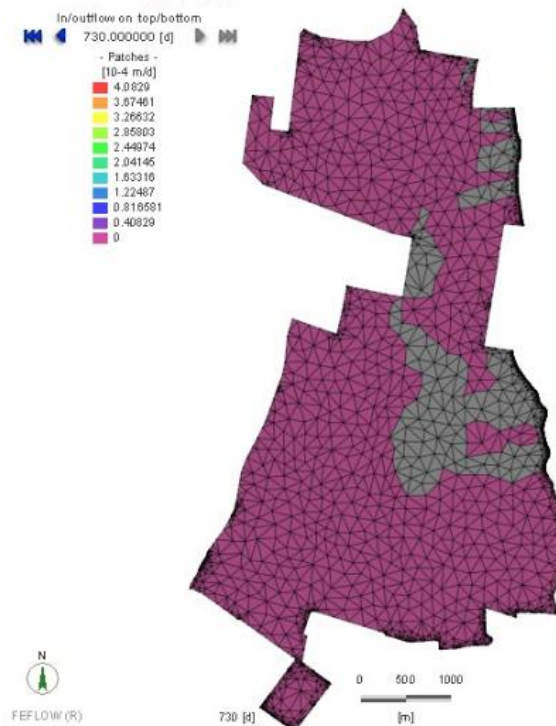


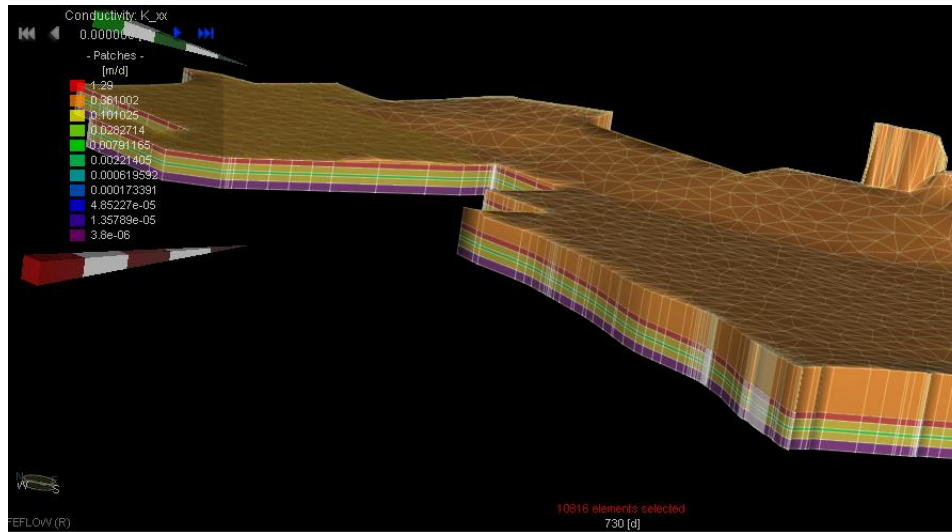
Figura 298 Modelo transitorio resultados de la simulación 2



Fuente: WSP, 2020

En la siguiente figura se aprecia el resultado para todas las capas incluida la superficial en la vista 3D.

Figura 299 Modelo transitorio resultados de la simulación 3D



Fuente: WSP, 2020

Se realiza el mismo proceso con la recarga, asignando las respectivas zonas de impermeabilización obteniendo los siguientes resultados, ver **Figura 301**.

Las series de tiempo y los valores de recarga asignados a las áreas a impermeabilizar se definió en la capa más somera esto, teniendo en cuenta el criterio del desarrollo del proyecto urbanístico, donde se infiere que en su proceso constructivo no se afectarían capas muy profundas, y la variabilidad de las funciones se presentarán en un periodo de dos años. Como se muestra en la siguiente gráfica y relación de valores de recarga en el tiempo de simulación.

Figura 300 Valores de recarga en serie de tiempo transitorio

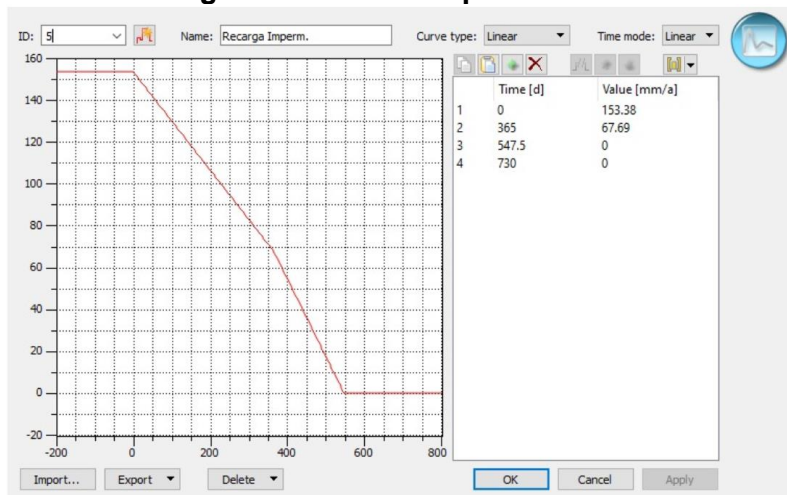
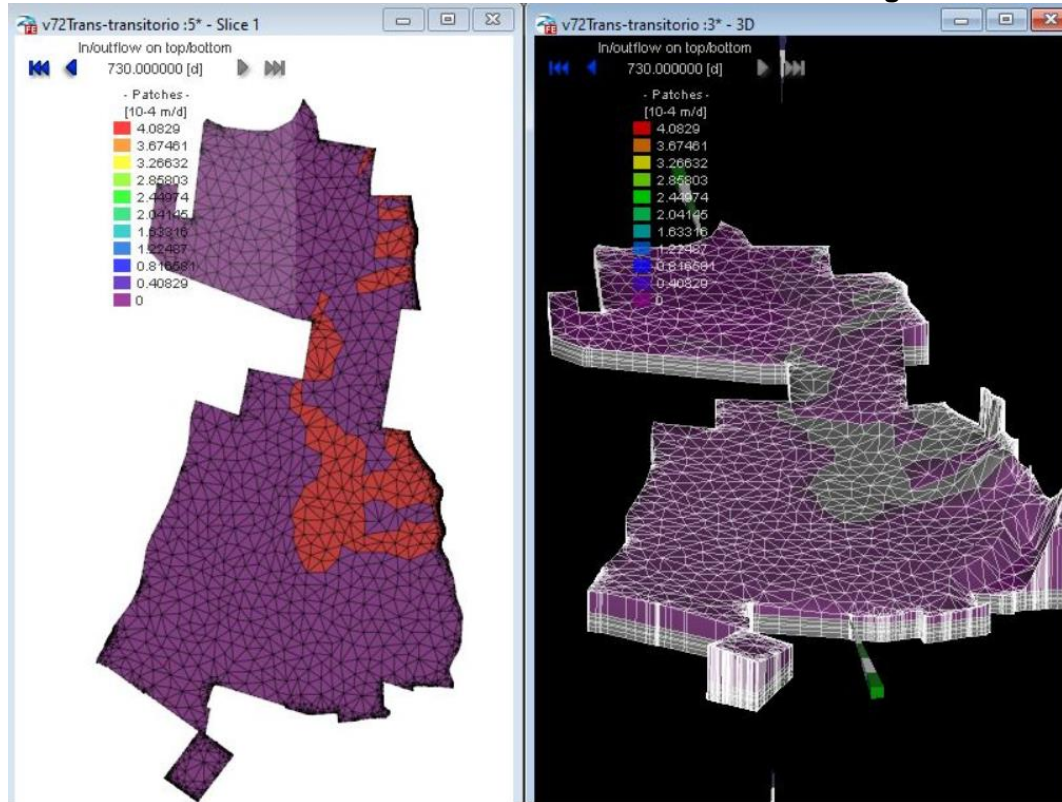


Figura 301 Modelo transitorio resultados de la simulación 3D-recarga



Fuente: WSP, 2020

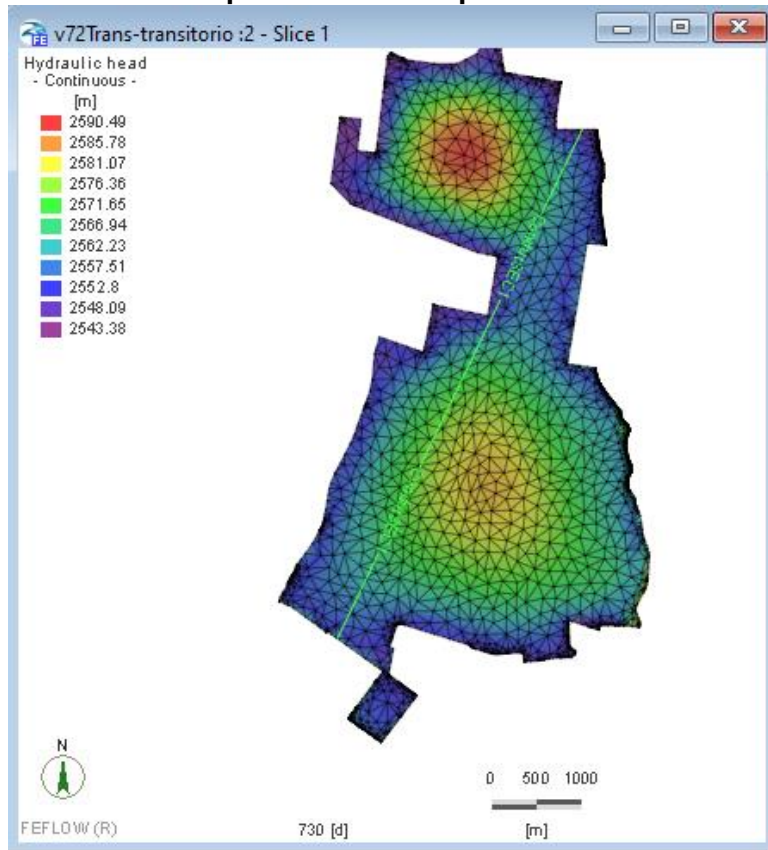
10.5.10.3.2 Variación del nivel piezométrico

A nivel general la profundidad del nivel freático es muy variable y puede oscilar entre cero, cuando se presenta en la superficie, y centenares de metros en algunos lugares. La característica importante del nivel freático es que su configuración varía según las épocas climáticas (lluvia, seca, transitoria) y de un año a otro, porque la adición de agua al sistema de aguas subterráneas está relacionada con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones.

Las variaciones que se evalúan para el modelo numérico están definidas a partir de los registros actuales de los niveles de la tabla de agua subterránea, los cuales se proyectan en un escenario futuro a lo largo de un periodo de tiempo de más de dos años. Es importante resaltar que esta variación de los niveles se evalúa para niveles tomados en el mes de mayo siendo este el mes más crítico, como se mencionó en el capítulo anterior.

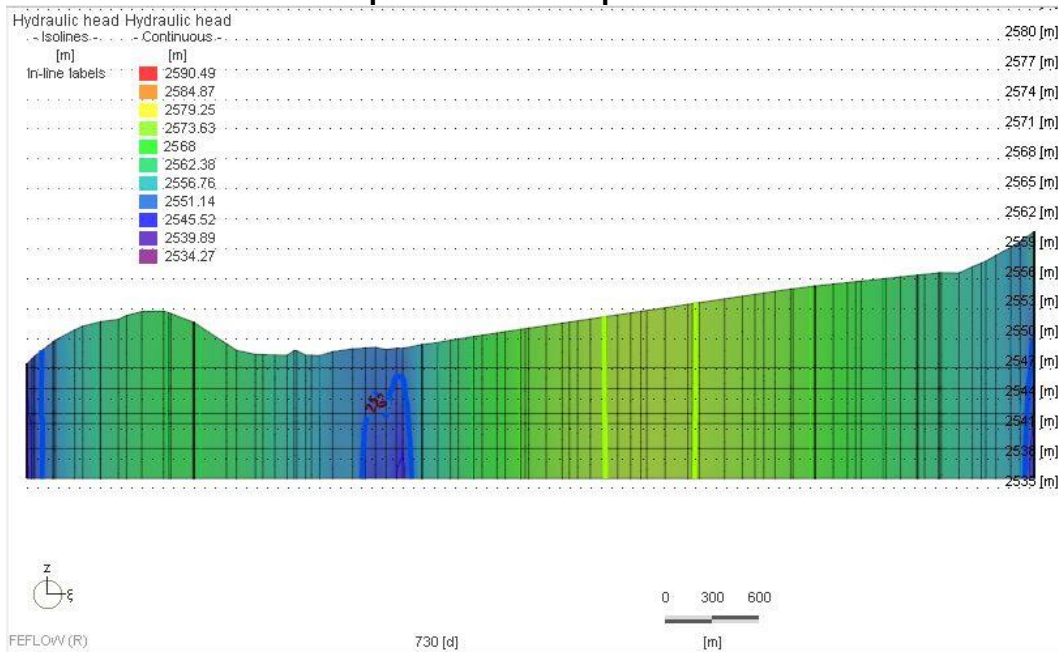
La variación del nivel piezométrico (Cargas hidráulicas) que se presenta tanto en planta como en perfil Figura 302y Figura 303 corresponden al escenario de impermeabilización que se ha proyectado para este estudio.

Figura 302 Variación del nivel piezométrico en planta



Fuente: WSP, 2020

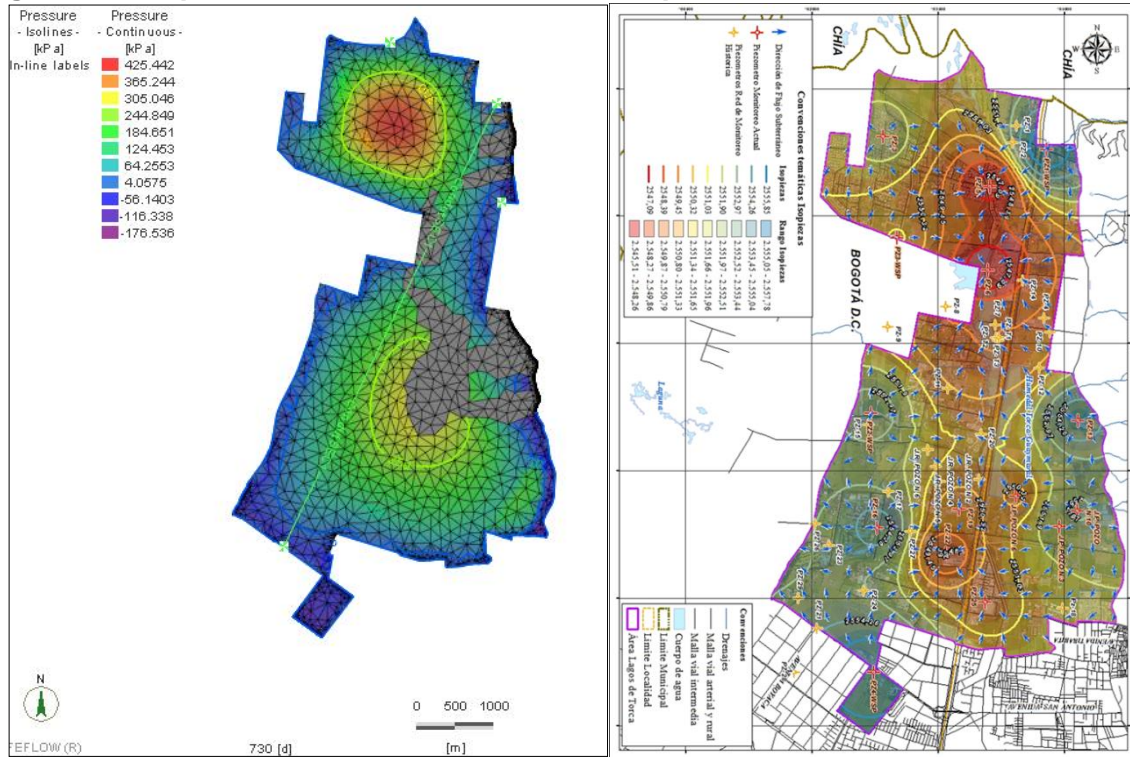
Figura 303 Variación del nivel piezométrico en perfil



Fuente: WSP, 2020

Al igual que en el estado estacionario, donde se compararon las isopiezas de modelación vs datos de campo, en este capítulo también se hará dicho contraste, tal como se observa en la Figura 304.

Figura 304 Isopiezas en estado transitorio Vs Isopiezas



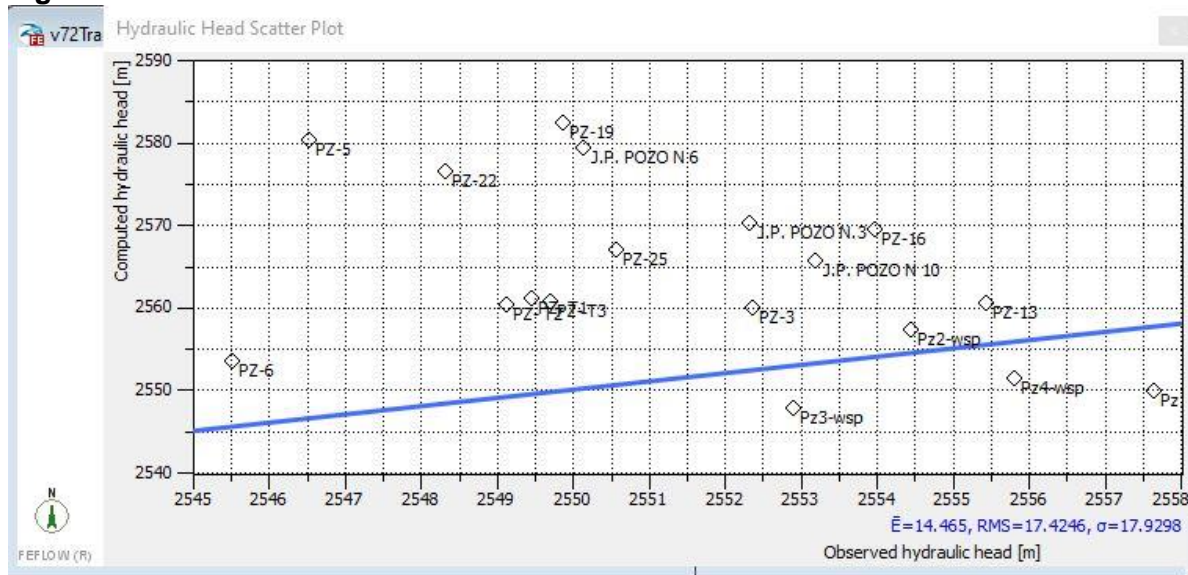
Fuente: WSP, 2020

En la **Figura 305** se observa que, hacia la zona norte, como hacia la zona centro sur el comportamiento de las isopiezas siguen una tendencia similar tanto a las calculadas con datos de campo, como las del estado estacionario, indicando que el modelo matemático satisface las condiciones reales e iniciales de la modelación hidrogeológica.

10.5.10.3.3 Calibración y balance de masas obtenido en estado transitorio

La siguiente figura corresponde a la calibración de las cabezas hidráulicas en estado transitorio, las cuales arrojan un error de calibración de 14.46 % dicho error numérico es suficientemente pequeño por lo que su ajuste se acepta como solución satisfactoria.

Figura 305 Calibración cabezas hidráulicas en modelo transitorio



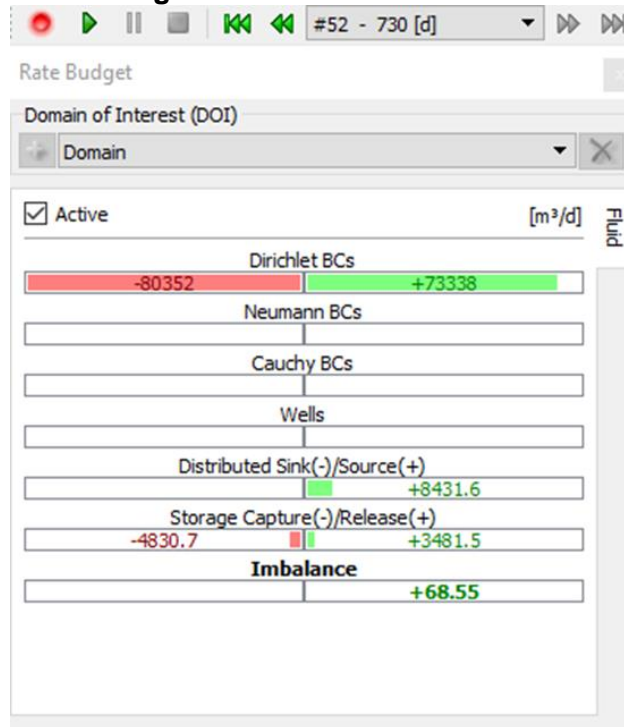
Fuente: WSP, 2020

A través del planteamiento y evaluación de diferentes escenarios para las propiedades de modelación y tomando como punto de partida las propiedades antes planteadas se evalúan los niveles mencionados para que en el error promedio no se supere el 20%. Para el modelo y de acuerdo con la gráfica (Figura 281) el ajuste está por debajo del porcentaje mencionado, con un error del **14.46%**, esto teniendo en cuenta que se tomó el escenario con mejor calibración, que incluye el escenario con impermeabilización.

Así como se verificaron diferentes balances de masas en el estado estacionario aquí se presentan los resultados del análisis numérico del balance hídrico general en estado transitorio una vez se lleva a cabo el proceso de impermeabilización, como se observa en la **Figura 306**.

De acuerdo con el análisis de balance de masas calculado en el estacionario y comparado con el transitorio se observa que una vez se da la impermeabilización de todas las zonas mencionadas en la Figura 289 (simulando las zonas con codificación 69 -98 como zonas impermeabilizadas), el balance de masas muestra una variación de la condición inicial a través del tiempo de simulación con una reducción del 13.03 % (es importante mencionar que dicha reducción se presentaría si se impermeabiliza el 86% aproximadamente del área de estudio), frente a la condición estacionaria, con la definición que la ecuación de balance muestra que en ambos estados los ingresos son mayores que las salidas, sin embargo se presenta las reducciones ya mencionadas, ver **Figura 306**.

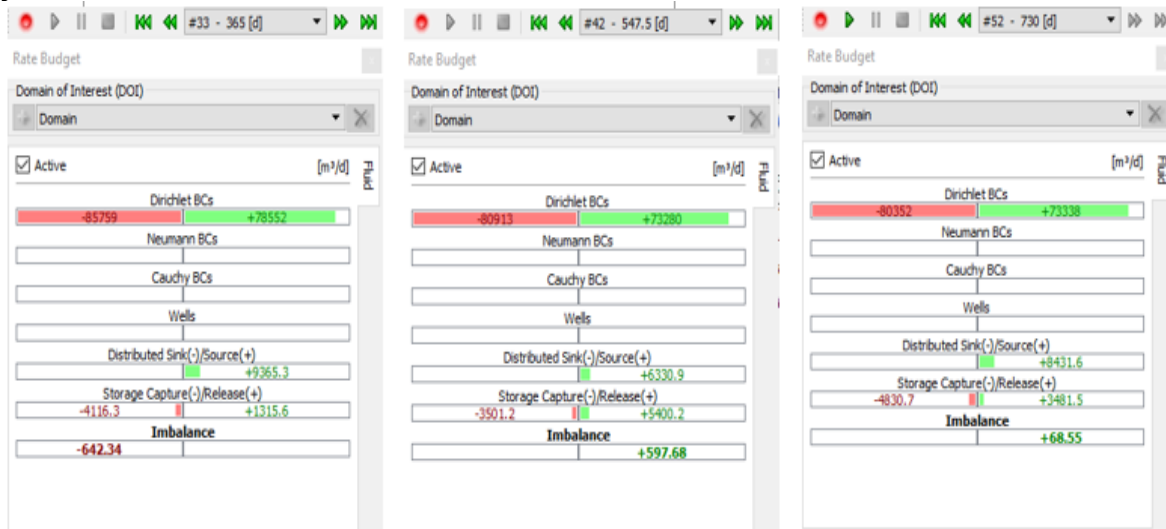
Figura 306 Balance de masas general en estado transitorio



Fuente: WSP, 2020

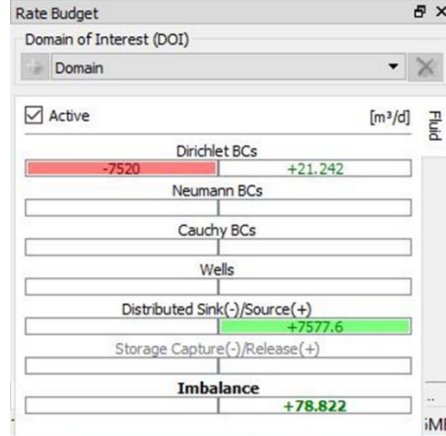
A continuación, se presentan 3 etapas de tiempo, (365, 547.5 y 730) del balance de masas general, simuladas en estado transitorio (**Figura 307**), comparadas con el resultado del estado estacionario, cabe resaltar que no se presenta el estado estacionario en variación de tiempo ya que como se ha mencionado en dicho proceso las variables respecto del tiempo permanecen invariantes, ver **Figura 308**.

Figura 307 Balance de masas general en estado transitorio en los tiempos 365, 547.5 y 730 días



Fuente: WSP, 2020

Figura 308 Balance de masas general en estado estacionario



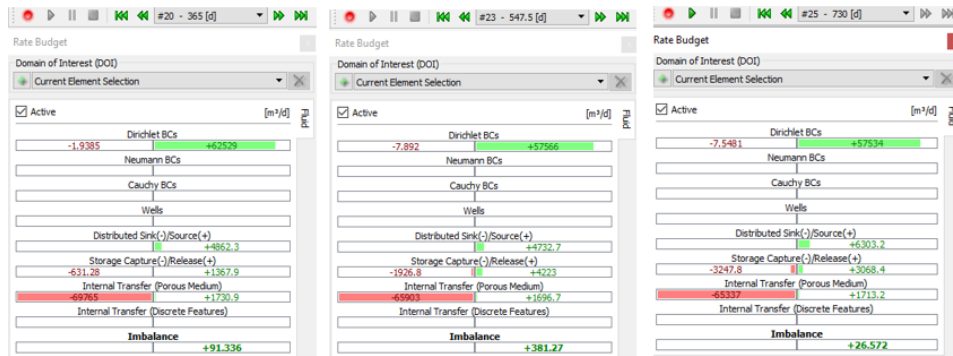
Fuente: WSP, 2020

Comparando los resultados que se presentan en las **Figura 307** vs **Figura 308** se puede identificar que la condición invariante, estado estacionario, presentan un valor y/o almacenamiento mayor respecto a el valor final (730d) del escenario transitorio, con una reducción del 13.03 % identificando además que corresponde a una disminución y no una perdida dentro de dicho balance.

Teniendo en cuenta el proceso de impermeabilización que en su gran mayoría excluye las zonas de humedal y áreas de cobertura vegetal de relevancia, se presenta a continuación el balance hídrico generado una vez se simula en estado transitorio, encontrando que persisten los ingresos mayores, por lo que se infiere que estos cuerpos de agua que actúan inicialmente como zonas parcialmente saturadas (Teniendo en cuenta que en la batimetrías se registraron niveles de lodos y no totalmente de agua) en estado proyectado actuarían como zonas saturadas, ver **Figura 309**.

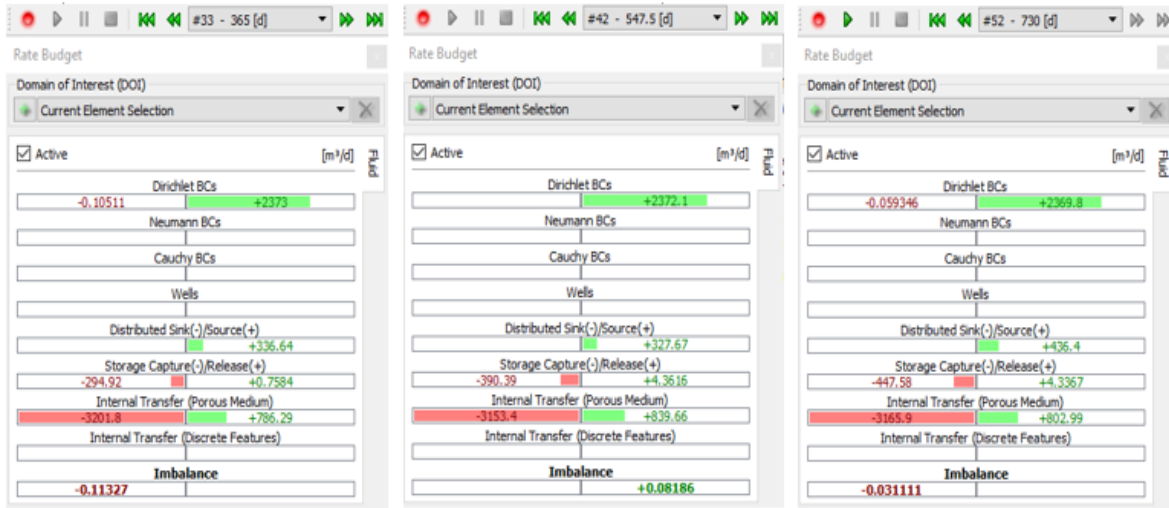
Es importante mencionar que la **Figura 309** hace referencia al balance de masas de la simulación que incluye específicamente las zonas de impermeabilización con las obras futuras a ejecutar, las cuales no comprenden el humedal. Y tampoco se contrastan con el escenario estacionario puesto que en dicha simulación no se insertan zonas impermeabilizadas, por no ser la condición futura si no inicial.

Figura 309 Balance de masas a través del tiempo en estado transitorio - zona impermeabilizada



En la **Figura 309** se presenta el balance de masas incluyendo la impermeabilización y se observa que a través del tiempo el almacenamiento vario, pero no se presentaron perdidas, esto se infiere a razón de que el *Imbalance*, permanece siempre positivo.

Figura 310 Balance de masas en estado transitorio - Humedal



Fuente: WSP, 2020

Si se evalúa el humedal el estado transitorio a través del tiempo se observa que se presentan pérdidas y ganancias a lo largo de la serie (resultados negativos y positivos de la **Figura 310**), finalizando con una reducción, con un valor mínimo como se observa en el tiempo (730d), **Figura 310**.

Si se hace un contraste con el balance generado en el estado estacionario se identifica que es el estado inicial no presenta perdidas (ver **Figura 311**), su resultado en positivo, sin embargo, es un valor mínimo. En estado transitorio el valor también es mínimo, indicando que, aunque su valor da negativo se infiere variaciones mínimas respecto al valor inicial.

Figura 311 Balance de masas en estado estacionario - Humedal



Fuente: WSP, 2020

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente documento se incluye una revisión, validación y actualización en algunos casos de la información relacionada con geología, geomorfología, análisis multitemporal, hidrogeología y geotecnia; lo anterior, con base en el Informe de Recopilación y Análisis de Información - Geología y Geotecnia. A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones para cada aspecto.

11.1 GEOLOGÍA

- Se concluye que el Mapa Geológico a escala 1:5000 realizado por realizado dentro de las actividades de la actualización del plano normativo de remoción en masa e incluida en la Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 (Secretaría Distrital de Planeación-Alcaldía de Bogotá D.C., 2018), se encuentra acorde a los análisis realizados, por lo cual se toma esta cartografía base para el mapa geológico del presente estudio (ver Figura 12).
- El área de estudio se encuentra conformada por rocas de edad Cretácica con la Formación Guaduas y Formación Plaeners aflorando en los sectores con más pendientes en el área de estudio, estas formaciones se encuentran cubiertas por los depósitos cuaternarios de diversas fuentes de origen que se encuentran en el área de estudio.
- El área de estudio no posee ninguna actividad neotectónica, esto se evidencia debido a que no hay lineamientos, fallamientos o diaclasas que se encuentren afectando unidades pre-neógenas.
- La mayor parte del área no posee fenómenos de remoción en masa debido a que su topografía es plana, sus pendientes son de bajo a muy bajo grado de inclinación, algunos sectores donde aflora la Formación Sabana (Qfa), presenta erosión laminar leve de carácter puntual por lo cual estos no son cartografiables. Finalmente, los cauces que disectan esta Formación en su mayoría se encuentran canalizados por lo cual no presenta un cambio en el mismo.

11.2 GEOMORFOLOGÍA

El mapa geomorfológico del Anexo 3 del subproducto 4.1.1 del Informe de Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá (Consorcio Borde Norte Bogotá, 2011), se tomó como base para el mapa geomorfológico del presente estudio, éste se modificó teniendo en cuenta el ortomosaico del año 2019 y los modelos de elevación digital (DEM); dicho mapa actualizado se incluye Anexo A Planos.

11.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Las principales conclusiones del análisis multitemporal son las siguientes:

- La afectación a los cauces y humedales se ha realizado antes de 1956.
- Se evidenció la disminución de la llanura de inundación de los cuerpos de agua.
- Las explotaciones agroindustriales y del sector educativo, dejan en evidencia la captación del recurso hídrico y el proceso de construcción de parcelaciones ha influenciado en el cambio de los cursos de los drenajes.
- Se observa un gran crecimiento del desarrollo Urbano en las últimas décadas, en las áreas circundantes al Humedal y algunas pocas construcciones dentro del humedal, para industria, vivienda y sector educativo.

11.4 HIDROGEOLOGÍA

En general, se encuentra que el área de estudio principalmente presenta sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular de acuerdo con el área que cubre cada sistema acuífero. Este sistema representa sedimentos permeables cuaternarios, en los cuales se pueden encontrar niveles de acuíferos libres somero de diferentes capas.

11.5 CAMPAÑAS DE MONITOREO

Luego de las lecturas de nivel freático realizadas a la red de piezómetros, se puede concluir que:

- De manera general, se aprecia que continúan patrones similares, con fluctuaciones progresivas y constantes dependientes del régimen de precipitación.
- Se evidencia un marcado descenso del nivel piezométrico desde principios de junio hasta mediados de septiembre, época que se puede asociar a una disminución del régimen de precipitación en el área de estudio y al régimen de infiltración.
- Los puntos donde el nivel freático se encuentra más cerca de la superficie son en el costado oriental cerca al piedemonte al norte del cementerio Jardines de Paz.
- Los puntos con el agua más profunda se ubican al costado occidental de la Autopista Norte, donde la cuenca se profundiza.
- En inmediaciones del Megaoutlet, se pueden apreciar pequeñas ondulaciones en el terreno lo que hace que el nivel freático tenga grandes variaciones en esta área.

La comparativa entre las isolíneas encontradas en las diferentes campañas muestran un cambio en el nivel de la tabla de agua subterránea, relacionado con los periodos secos y de lluvia.

Se puede observar que a pesar de las variaciones estas se mantienen uniformes siendo los sectores aledaños al piedemonte donde el nivel de agua se encuentra a menor profundidad. El sector donde se encuentra el nivel freático más profundo está en el costado occidental de la autopista norte, teniendo en cuenta el arreglo de cota y las isopiezas se puede concluir que las aguas del acuífero, más somero de la Sabana.

Por otra parte, los *Diver* fueron instalados el día 16 de abril, en la Tabla 56 se muestran los niveles de agua obtenidos para cada uno de los piezómetros en las campañas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. A nivel general y observando las curvas de abatimiento de los piezómetros se puede deducir un comportamiento similar en los piezómetros, mostrando que los primeros días de monitoreo el nivel se mantiene constante, a partir del 20 de abril se puede observar un aumento en el nivel del agua de aproximadamente 0.59 m que se mantiene constante hasta los días 14 y 15 de mayo donde nuevamente los piezómetros comienzan a registrar niveles más bajos en la tabla de agua, esto debido principalmente a que las aguas de recarga son menores en estas fechas como se evidencia en los cuatro registros. A diferencia de los PZ-WSP-1-PREDIO EAB, PZ-WSP-2-PREDIO FAC, PZ-WSP-3-PREDIO EL MIMBRE y PZ-WSP-4-PREDIO VALMARIA presenta una recuperación más lenta, esto se puede observar en la curva del 25 de mayo donde este punto necesito 17 horas para retomar sus valores iniciales, mientras los otros puntos en menos de una hora ya tenían recuperación del 100% de la columna de agua.

Entre el 30 de mayo y 2 de junio se presenta nuevamente un incremento acelerado en el nivel del agua y posteriormente, una disminución de manera gradual hasta mediados de septiembre.

De lo anterior es importante mencionar que con el set de datos registrados hasta la campaña 6, indican que a finales de mayo y principios de junio es en donde se evidencia el cambio en el régimen de recarga del sistema acuífero, se presenta una inflexión en la curva de registros lo que se traduce en el cambio de régimen y el inicio de la época de menor precipitación dando como resultado el inicio del decrecimiento constante en los niveles piezométricos.

Las curvas piezométricas en la Campaña 3 evidencian descenso del nivel piezométrico asociado a la disminución del régimen de precipitación e infiltración (recarga) en el área de estudio, se recomienda establecer la relación de esta disminución y la variabilidad de la precipitación en la zona.

Las curvas piezométricas en la Campaña 4, indican una tendencia en las direcciones de flujo, definiendo direcciones de flujo que definen las zonas de recarga al oriente y como principales zonas de descarga los sistemas de los humedales Torca – Guaymaral, se visualiza también una zona de tránsito que indica flujo hacia el cauce principal del río Bogotá.

Las curvas piezométricas de la campaña 5, indican que sigue el decrecimiento de los niveles piezométricos como resultado del cambio en el régimen de recarga a partir de la inflexión de la curva (finales de mayo principios de junio), durante la campaña 5 se registra un incremento en la curva lo que representa un descenso constante en los niveles piezométricos hasta mediados de septiembre.

Durante la campaña 6, se puede observar que el descenso en los niveles piezométricos registrados desde principios de junio empieza a verse cortado a mediados del mes de septiembre en donde se logra evidenciar que inicia un periodo de transición y un posible cambio en el régimen de precipitación que incide en la variación de los niveles piezométricos.

Finalmente, se recomienda continuar con el monitoreo de piezómetros y así obtener más registros de periodos prolongados de lluvia y periodos secos, con el fin de tener modelos mas robustos.

11.6 MODELO HIDROGEOLÓGICO

El modelo hidrogeológico conceptual aquí generado sugiere un área de recarga y descarga y zona de tránsito relacionada al área del sistema de humedales Torca-Guaymaral, las direcciones de flujo generadas a lo largo de las campañas sugieren una convergencia a los humedales y al cauce principal del río Bogotá, el tránsito del agua subterránea se da en las capas o niveles mas arenosos de las arcillas y limoarcillas de la Formación Sabana.

El modelo hidrogeológico conceptual generado está definido por una serie de arcillas intercaladas con algunos lentes arenosos que le asignan al acuífero somero (explorado hasta los 15 m de espesor) una alternancia de capas a partir de las cuales se da el paso del flujo subterráneo, esto teniendo en cuenta que los lentes arenosos están en la parte de la base de exploración de 15m.

De las campañas de monitoreo realizadas y la integración con el modelo hidrogeológico conceptual propuesto en este estudio se puede decir que, el sector donde se encuentra el nivel piezométrico más profundo está en el costado occidental de la Autopista Norte, teniendo en cuenta las isopiezas y las direcciones de flujo calculadas para este estudio.

Por otra parte, los *díver* fueron instalados el día 16 de abril, en la Tabla 56, se muestran los niveles de agua obtenidos para cada uno de los piezómetros en las campañas. La tendencia de las isolíneas varia en las primeras tres campañas entre abril y junio, donde las isolíneas son más someras, posiblemente por estar en una época de precipitaciones máximas y de transición, por lo que muchos de estos niveles se infieren como zonas de saturación parcial en condiciones estacionales y se compara con la condición climática. Para las campañas comprendidas entre julio-septiembre las isolíneas son casi homogéneas, siendo la zona occidental del área de estudio la de niveles más profundos, esto teniendo en cuenta que son evaluadas en épocas de bajas precipitaciones y de estiaje.

Los niveles piezométricos medidos mediante sonda Diver en los cuatro piezometros no superan una desviación de 0,56m (validando la precisión del registro de datos), con un valor máximo de todos los niveles medidos en los 4 piezómetros de 2.70m y mínimo de 0.75m, por lo cual se tendría una columna de agua aproximada de 1.95 m.c.a.

Respecto a la interpolación realizada para la definición de direcciones de flujo se alcanzó una mayor resolución en el área de estudio Lagos de Torca, de esta forma se logró establecer zonas de descarga locales e interacciones con la superficie.

El modelo hidrogeológico conceptual y posterior modelo 3D (numérico) fue concebido como una aproximación de la dinámica hidrogeológica con base en los análisis geofísicos, hidrogeoquímicos, monitoreo de piezómetros y definición de red de flujo, evidenciando dos tipos de sistemas hídricos en el área de estudio asociados a las condiciones climáticas (condición bimodal), geomorfológicas, hidroestratigráficas y topográficas. El primer sistema hídrico (abril a junio) actúa como variable de incremento en los niveles saturados de la zona por lo que en épocas de mayor precipitación, los niveles piezométrico y cabezas hidráulicas ascienden hacia la superficie; por el contrario, en el segundo sistema (junio a octubre), los niveles se profundizan hasta alcanzar la zona acuífera, razón por la cual los niveles piezométricos presentan un carácter perenne, condición que favorece la recarga continua del acuífero multicapa que caracteriza la zona.

Se desconoce en gran parte el papel de las fallas geológicas sobre la Formación Sabana, por tanto, se sugiere la realización de estudios de geofísica y neotectónica que permitan precisar hasta qué punto estas fallas pueden generar discontinuidades e interferir en la continuidad de las unidades y potencializar o minimizar la conectividad hidráulica con los diferentes cuerpos de agua.

A nivel general los niveles de la tabla de agua subterránea presentan fluctuaciones leves, que en época de estiaje se ven alimentadas por las fuentes subterráneas y en épocas de lluvia son alimentadas por las precipitaciones, sin embargo, los niveles son constantes y típicos dentro de sus estadísticas comparados con las condiciones climatológicas.

A nivel del cálculo de la recarga para el balance hídrico En el estudio se encontró un terreno con muy poca pendiente de 0 a 6%, con cobertura vegetal predominantemente de pastizales y con más de la mitad del área urbanizada (se consideró que las zonas urbanizadas y la infraestructura vial presentan una permeabilidad nula). La conductividad hidráulica de los suelos de la zona se calculó a 53,12 mm/día. Anualmente la precipitación fue de 786,83 mm/año, una escorrentía superficial de 201,92 mm/año y una evapotranspiración potencial de 396,43 mm/año, tras estas variables se encontró una recarga potencial anual de 11,97 mm/año.

11.7 CALIDAD DE AGUA

De acuerdo con los resultados de las análisis de los realizados en los 4 piezómetros construidos en el área de influencia del Proyecto Lagos de Torca, durante (4) campañas de monitoreo realizadas se puede establecer, con relación a los valores de pH reportados que el agua subterránea en las zonas analizadas, es posible destinarla para consumo humano y doméstico aplicando solamente procesos de desinfección (artículo 2.2.3.3.9.4).

Con respecto a los valores de temperatura registrados en los diferentes monitoreos, se puede establecer que estos fueron consistentes con la temperatura ambiente del momento en el que se tomó la muestra.

Los valores de Conductividad reportados, entre 143.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indican que el agua subterránea presenta una buena habilidad conductora de corriente eléctrica. Los resultados obtenidos para sulfatos refieren un comportamiento acorde con el agua natural y con la composición de la corteza terrestre en la zona de estudio; así mismo, no se evidencia influencia por parte de factores extrínsecos. Desde el punto de vista normativo,

las moléculas de sulfatos refieren cumplimiento de los criterios de calidad regulados en los artículos 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015.

Con respecto a coliformes totales, se puede observar que la mayoría de los puntos monitoreados cumplen cabalmente con lo estipulado Decreto 1076 de 2015, por lo tanto, el agua subterránea en la zona de los piezómetros es apta para el consumo humano y doméstico, exceptuando el piezómetro 3 – Guaymaral, dado que el valor registrado en la campaña IV Campaña, supera el límite máximo permisible.

Las concentraciones de Oxígeno Disuelto obtenidas en el agua subterránea extraída de los piezómetros se encuentran en un rango entre 2,3 mg O₂/L y 6,3 mg O₂/L, valores que indican que el agua subterránea en la zona estudiada presenta un nivel de oxigenación aceptable, que favorece el crecimiento y reproducción animal y vegetal.

Con respecto a la pseudomona aeruginosa y estreptococos fecales, se registraron concentraciones bajas y en varios puntos inferiores al límite de detección de la técnica analítica utilizada por el laboratorio.

Por otra parte, al comparar los resultados de las pruebas realizadas a muestras de agua superficial frente al monitoreo de agua subterránea, se evidencia una clara distinción entre el tipo de agua, esto teniendo en cuenta que mientras en las fuentes superficiales como quebradas el agua no supera un pH de 7,9 en las subterráneas alcanza 9,5; lo anterior, es un comportamiento generalizado para el resto de los parámetros evaluados. No obstante, si se observa los resultados de los humedales los niveles presentan una tendencia similar a las de los piezómetros, con valores de pH hasta de 8.7. Con este parámetro se infiere una posible interacción entre los dos tipos de sistemas, que como se vio en las direcciones de flujo los humedales actúan como zonas de descarga y zonas de tránsito para que se dé el proceso de recarga a los sistemas acuíferos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos es las diferentes campañas de monitoreo realizadas en los piezómetros, se puede establecer que el agua subterránea es posible destinarla para diferentes usos de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015.

11.8 GEOTECNIA

En primera instancia fue presentada la zonificación geotécnica del DECRETO 523 DE 2010 (Diciembre 16) “Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.” (Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C., 2010); de acuerdo con el citado decreto, la zona del proyecto se encuentra localizada en las zonas geotécnicas: LACUSTRE A, CAUCE, RELLENO, PIEDEMONTE A y CERROS A (ver Figura 38); dado que esta zonificación se considera reciente no se prevé su actualización.

Como parte de la revisión y validación de perforaciones ejecutadas dentro de la zona de estudio fueron encontradas 384 perforaciones que corresponden a las siguientes fuentes de información:

Tabla 97 Resumen de perforaciones ejecutadas en la zona de estudio

Fuente de información	Número de sondeos	Profundidad [m]		
		Mínima	Promedio	Máxima
Informe de Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011)	220	2.6	9.7	55.0
Sistema de Información Geotécnica SISGEO del Acueducto de Bogotá	129	1.2	13.7	50.0
Estudios y diseños de la Av. Boyacá (Av. Cra 72) desde la Av. San José (Calle 170) hasta la avenida San Antonio (Calle 183) en Bogotá D.C. (Consortio Estudios Avenida Boyacá, 2014)	19	4.2	20.0	9.5
Estudios y diseños de la Avenida San Antonio (AC 183) desde la Avenida Boyacá (AK 72) hasta la carrera 54D, en Bogotá D.C. (SP Concorcio, 2014)	10	4.5	6.0	5.1
Informe de factibilidad proyecto “Estudios y diseños para la Av. Boyacá desde la calle 183 a conectarse con la troncal del peaje y conexión Autonorte por Av. Guaymaral” (Consortio E&D Av Boyacá, 2018)	5	60.0	60.4	60.2
Estudio de Repuesta sísmica Local	1		50.0	

La campaña de exploración realizada en el proyecto de Factibilidad Borde Norte (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011) corresponde a la mayor realizada en el área del proyecto con el 57.3%; seguido de la base del Sistema de Información Geotécnica, SISGEO, de la EAB con un 33.6%. En general, cerca del 70% de las perforaciones (272) fueron realizadas hasta profundidad máxima de 10 m y el cerca del 6% (23) se ejecutaron con profundidades mayores a 30 m (de las cuales 10 superan los 50 m de profundidad).

Se recomienda que para adelantar los estudios a nivel de ingeniería básica (e incluso de detalle) de las vías y redes, el uso de las perforaciones relacionadas, a manera preliminar, en la Tabla 6 y en la cual, se presenta una asignación de perforaciones de acuerdo con cada una de los tramos viales analizados en la Factibilidad Borde Norte (Consortio Borde Norte Bogotá, 2011). Por otra parte, en la Tabla 98 se incluye un resumen de la asignación de perforaciones realizada y en el Anexo D se incluye la información recopilada de cada perforación; al respecto, se indica que en algunos casos se cuenta únicamente con la tabla resumen de resultados.

Para las etapas posteriores, será necesario adelantar pruebas de laboratorio para determinar comportamientos especiales y, además, definir parámetros de resistencia al corte a largo plazo, principalmente.

Tabla 98 Resumen de asignación de perforaciones por tramo vial

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO	6	6.0	40.0	11	1.2	29.0			1		60.0	60.0
CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE	7	5.5	15.0	3	5.3	10.0	4	10			4.5	15.0
AV. VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190	2	10.0	10.0									
AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO	3	4.9	9.0	1	21.0	21.0						
CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	7	6.0	6.2									
CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	5	6.0	6.3									
AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE	4	6.4	55.0	29	7.0	30.0			1		60.0	60.0

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7	2	6.0	6.1									
CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193	3	4.9	6.1	4	10.0	30.0						
CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1	2	6.0	6.3	2	2.4	4.0						
CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y CALLE 200 - TRAMO 2	3	6.0	6.0	5	3.2	7.0						
CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192	4	6.0	6.0									
CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	3	6.0	6.0									
AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200	4	6.0	6.0	2	4.0	4.0						
CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200	5	2.6	6.0	9	2.6	4.0						
CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11	4	6.0	6.0	5	4.3	6.2						

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1	5	3.5	6.1									
CRA. 7 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 222 - TRAMO 2	6	3.2	6.3									
AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS	4	6.0	43.5	1	14.4	14.4						
AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA	5	6.0	6.0	3					1		60.4	60.4
AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN	3	6.0	6.0									
AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA	8	6.0	40.0	5	7.0	20.2						
AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA	7	6.0	40.0	7	6.0	60.3						

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL	4	6.0	6.1						1		60.5	60.5
CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	5	6.0	15.0									
CRA 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	4	6.1	15.0									
CRA 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	3	7.0	7.3									
CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 1	5	7.0	40.0									
CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2	3	7.0	7.3									
CRA 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	4	7.0	7.0									

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
CRA 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	5	6.0	7.2									
AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7	3	7.0	38.0									
CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1	4	5.0	7.0									
CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2	3	7.0	7.0									
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210	6	7.0	15.0									
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1	5	7.0	15.0									
AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2	2	7.0	7.0									

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222)	6	15.0	15.0									
AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)	4	15.0	15.0									
AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN	7	7.0	12.0						2		60.0	60.5
HACIENDA SAN SIMÓN	4	6.3	7.1									
AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210)	5	7.0	7.1									
LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA	3	15.0	15.0									

TRAMO VIAL	FACTIBILIDAD BORDE NORTE (2011)			SIGEO EAB (1984-2014)			ESTUDIOS RECIENTES (2014 - 2018)					
	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	# Perf.	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]	IDU 1009 DE 2014	IDU 1267 DE 2014	FACT. AV. BOYACÁ	EST. RESP. LOCAL	Prof. Mín. [m]	Prof. Máx. [m]
AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN	2	7.0	7.0	4	7.0	20.2						
AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES	2	7.0	7.0	1	7.0	7.0				1	50.0	50.0

Fuente: WSP, 2019

12 REFERENCIAS

- Alcaldía de Bogotá D.C. (2004). *Decreto Distrital 190 de 2004 - Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito*. Bogotá.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, A. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10*.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. (2014). *NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES - LRFD - CCP14, adoptado mediante resolución No. 0000108, del 26 de enero de 2015, emanada del Ministerio de Transporte*.
- Bouwer, H., & Rice, R. (1976). A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research*, 423-428.
- Butler, S. (1957). *Engineering Hydrology*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Consortio Borde Norte Bogotá. (2011). *Factibilidad Técnica Ambiental Económica Y Financiera Para El Desarrollo De La Infraestructura De Acueducto Y Alcantarillado Sanitario Y Sistema De Drenaje Pluvial Del Borde Norte De La Ciudad De Bogotá*. Bogotá.
- Consortio E&D Av Boyacá. (2018). *Estudios y diseños para la Av. Boyacá desde la calle 183 a conectarse con la troncal del peaje y conexión autonorte por Av. Guaymaral Bogotá D.C. - Cundinamarca*. Bogotá D.C.
- Consortio Estudios Avenida Boyacá. (2014). *Estudios y diseños de la Av. Boyacá (Av. Cra 72) desde la Av. San José (Calle 170) hasta la avenida San Antonio (Calle 183) en Bogotá D.C*. Bogotá.
- Cooper, H. H., Bredehoeft, J. D., & Papadopoulos, S. S. (1967). Response of a Finite-Diameter Well to an Instantaneous Charge of Water. *Water Resources Research*, 263-269.
- Custodio, E. G., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega.
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2006). *Norma NP-040 - Rellenos*.
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2006). *Norma Técnica de Servicio NS—035 "Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado"*. Bogotá.
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2017). *Norma Técnica de Servicio NS-072 Entibados y Tablestacados*. Bogotá.
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2017). *NS-010 Requisitos para la elaboración y presentación de Estudios Geotécnicos*.
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2018). *Anexo No. 1 ESPECIFICACIONES PARTICULARES EAAB – LAGOS DE TORCA*. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) – Agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA). (2009). *Estudio del Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes basado en el manejo Integrado de Recursos Hídricos en la República de Colombia*. Bogotá.
- FAO. (2000). *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua Lluvia - Experiencias en América Latina*. Santiago: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. (2010). *Zonificación de la Respuesta sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo Resistente de Edificaciones*. Bogotá.
- García Petillo, M., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (14 de 02 de 2012). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Obtenido de Fagro.edu.uy:

- <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
- IDEAM. (2013). *Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua*.
- INGEOMINAS. (2001). *Caracterización Geoquímica e Isotópica de los Acuíferos de la Cuenca Alta de la Sabana de Bogotá*. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2002). *Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá*. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2004). *Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá*. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2004). *Proyecto Atlas de aguas subterráneas de Colombia*. Bogotá: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS. (2004). *Proyecto Compilación y Levantamiento de la información Geomecánica. Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación geomecánica de la Sabana de Bogotá*. Bogotá: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS. (2010). *Documento Metodológico para la elaboración de mapas geomorfológicos*.
- Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2017). *Prefactibilidad Av. Circunvalar de Oriente*. Bogotá.
- Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2018). *Repositorio Institucional IDU*. Obtenido de <https://webidu.idu.gov.co/jspui/>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER. (2018). *SIG PREDIAL - IDIGER*. Obtenido de <http://idiger.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=70acbce1a3cf4bbfad219be0cf5035f0>
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS. (2012). *NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS. Resolución 0001375 de 2014 del Ministerio de Transporte*.
- Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Revista Cenicafé*, 102-113.
- Lobo-Guerrero Uscátegui, A. (1992). Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. *Sociedad Colombiana de Ingenieros. Sociedad Colombiana de Geotecnia*.
- ONU. (1972). *Manual de Instrucciones, Estudios Hidrológicos*. San José: Naciones Unidas.
- PNUD-DAMA-Hidrogeocol. (1999). *Elaboración del modelo hidrogeológico para los acuíferos de Santa Fe de Bogotá, D.C*. Bogotá.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1981). Soil Water Characteristics. *American Society of Agricultural Papers*.
- Rodríguez, C. (1986). Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá y Sus Implicaciones Hidrogeológicas. *Geología Colombiana No. 15*.
- Sánchez, J. (2009). *Tema: Evapotranspiración*. Obtenido de Hidrología - Hidrogeología - Universidad de Salamanca: <http://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>
- Sánchez, J. (2014). *Conceptos Básicos de Hidrogeología, Universidad de Salamanca* (1 ed.). Salamanca, España.
- Sanders L. (1998). *A manual of Field Hydrogeology*. Prentice-Hall.
- Sanders, L. L. (1998). *A Manual of Field Hydrogeology*. Michigan: Prentice Hall.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 13-30.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 43-55.

- Secretaría Distrital de Ambiente. (2012). *Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2018). *MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO SUBSUPERFICIAL O SOMERO EN EL PERÍMETRO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C. (2010). *DECRETO 523 DE 2010 (diciembre 16) "Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C."*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C. (2018). *Resolución 0751 del 7 de junio de 2018 "Por la cual se actualiza el Mapa No. 3 "Amenaza por Remoción en Masa" del Decreto Distrital 190 de 2004"*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C. (2018). *Resolución 1060 de 19 de julio de 2018. "Por la cual se actualiza el Mapa No. 4 "Amenaza por Inundación" del Decreto Distrital 190 de 2004"*. Bogotá.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2010). *PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA ESCALA 1:100000*.
- SGC. (2015). *Geología de la Plancha 228 - Bogotá Noreste*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SP Concorcio. (2014). *Estudios y diseños de la Avenida San Antonio (AC 183) desde la Avenida Boyacá (AK 72) hasta la carrera 54D, en Bogotá D.C*. Bogotá.
- TECNOAMBIENTAL S.A.S. (2019). *Informe de Toma y Análisis de Muestras de Agua-Monitoreo realizado en abril de 2019*. Bogotá.
- USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- Van der Hammen y Heleen. (1995). *Secuencia litoestratigráfica, bioestratigrafía y cronoestratigrafía general de los sedimentos del Neógeno- Cuaternario del área de la Sabana de Bogotá. El límite Plioceno-Pleistoceno corresponde a 2.4 ma*. Bogotá.
- WSP. (2020). Bogotá.
- Zabala, M. E., Weinzettel, P., & Varni, M. (2006). *Utilización de ensayos de pulso para la estimación de la conductividad hidráulica en la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Asunción: VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea.

Anexo A Planos

No.	PLANO	TÍTULO
1	01DVGTEX01.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA UBICACION DE PERFORACIONES EXISTENTES PLANTA
2	01DVGTEX02.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PLANTA DE GEOLOGIA REGIONAL
3	01DVGTEX03.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA MAPA DE GEOMORFOLOGIA
4	01DVGTEX04.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA
5	01DVGTEX05.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 1960
6	01DVGTEX06.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 2007
7	01DVGTEX07.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 2010
8	01DVGTEX08.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 2014
9	01DVGTEX09.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 2016
10	01DVGTEX10.dwg	LAGOS DE TORCA GEOLOGIA ANALISIS MULTITEMPORAL AÑO 2019
11	01DVGTEX11.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA COORDENADAS DE PERFORACIONES EXISTENTES
12	01DVGTEX12.dwg	LAGOS DE TORCA HIDROGEOLOGIA RED DE PIEZOMETROS PLANTA
13	01DVGTEX13.dwg	LAGOS DE TORCA HIDROGEOLOGIA MAPA HIDROGEOLOGIA PLANTA
14	01DVGTPPE01.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO 1/2
15	01DVGTPPE02.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 184 Y AV. POLO 2/2
16	01DVGTPPE03.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 1/3
17	01DVGTPPE04.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 2/3
18	01DVGTPPE05.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 184 ENTRE AV. BOYACÁ Y AUTOPISTA NORTE 3/3
19	01DVGTPPE06.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE CALLES 184 Y 190 1/1
20	01DVGTPPE07.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE CALLES 190 Y AV. POLO 1/1
21	01DVGTPPE08.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/2
22	01DVGTPPE09.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 191 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 2/2
23	01DVGTPPE10.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL CALLE 195 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/1

No.	PLANO	TÍTULO
24	01DVGTPPE11.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE 1/2
25	01DVGTPPE12.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. POLO ENTRE AV. LOW MURTRA Y AUTOPISTA NORTE 2/2
26	01DVGTPPE13.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. VILLAS 1/1
27	01DVGTPPE14.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 1/3
28	01DVGTPPE15.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 2/3
29	01DVGTPPE16.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. ARRAYANES ENTRE AV. VILLAS Y AV. LOW MURTRA 3/3
30	01DVGTPPE17.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 1/1
31	01DVGTPPE18.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 1/2
32	01DVGTPPE19.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. EL JARDÍN (CALLE 222) ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 2/2
33	01DVGTPPE20.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 1/2
34	01DVGTPPE21.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y AV. LOW MURTRA 2/2
35	01DVGTPPE22.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AV. LOW MURTRA Y CRUCE EN "Y" DIAGONAL GUAYMARAL 1/1
36	01DVGTPPE23.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 1/3
37	01DVGTPPE24.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 2/3
38	01DVGTPPE25.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. ARRAYANES (CL 210) Y AV. EL JARDÍN (CL 222) 3/3
39	01DVGTPPE26.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 1/2
40	01DVGTPPE27.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA. ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 2/2
41	01DVGTPPE28.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN 1/2
42	01DVGTPPE29.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. LOW MURTRA ENTRE AV. GUAYMARAL Y HACIENDA SAN SIMÓN 2/2

No.	PLANO	TÍTULO
43	01DVGTPPE30.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL HACIENDA SAN SIMÓN 1/1
44	01DVGTPPE31.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AV. VILLAS ENTRE AV. POLO (CL 200) Y AV. ARRAYANES (CL 210) 1/1
45	01DVGTPPE32.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA 1/2
46	01DVGTPPE33.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL LOTE CORRESPONDIENTE A PREDIOS DE BAVARIA 2/2
47	01DVGTPPE34.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 1/2
48	01DVGTPPE35.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. ARRAYANES Y AV. EL JARDÍN 2/2
49	01DVGTPPE36.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO OCCIDENTAL AUTOPISTA NORTE ENTRE AV. POLO Y AV. ARRAYANES 1/1
50	02DVGTPPE01.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CALLE 200 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CARRERA 7 1/1
51	02DVGTPPE02.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 188 Y CALLE 193 1/1
52	02DVGTPPE03.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 1 1/1
53	02DVGTPPE04.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 17 ENTRE CALLE 193 Y 200 - TRAMO 2 1/1
54	02DVGTPPE05.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 15 ENTRE CALLE 188 Y DIAGONAL 192 1/1
55	02DVGTPPE06.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 15 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200 1/1
56	02DVGTPPE07.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. CRA 9 ENTRE DIAGONAL 192 Y CALLE 200 1/1
57	02DVGTPPE08.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 194 Y 200 1/1
58	02DVGTPPE09.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CALLE 190 ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 11 1/1
59	02DVGTPPE10.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 1 1/1
60	02DVGTPPE11.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 7 ENTRE CALLES 200 Y 222 - TRAMO 2 1 1/1
61	02DVGTPPE12.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 1/2

No.	PLANO	TÍTULO
62	02DVGTPPE13.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 2/2
63	02DVGTPPE14.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 1/2
64	02DVGTPPE15.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 2/2
65	02DVGTPPE16.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1/1
66	02DVGTPPE17.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL TRAMO 1 1/1
67	02DVGTPPE18.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE CALLE 222 Y AV. GUAYMARAL - TRAMO 2 1/1
68	02DVGTPPE19.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1 1/1
69	02DVGTPPE20.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 9 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2 1/1
70	02DVGTPPE21.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. GUAYMARAL ENTRE AUTOPISTA NORTE Y CRA. 7 1/1
71	02DVGTPPE22.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 1 1/1
72	02DVGTPPE23.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL CRA. 7 ENTRE AV. GUAYMARAL Y CERRO DE TORCA - TRAMO 2 1/1
73	02DVGTPPE24.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 1/2
74	02DVGTPPE25.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 200 Y CALLE 210 2/2
75	02DVGTPPE26.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 1/2
76	02DVGTPPE27.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 1 2/2
77	02DVGTPPE28.dwg	LAGOS DE TORCA GEOTECNIA PERFILES ESTRATIGRAFICOS PERFILES COSTADO ORIENTAL AV. JORGE URIBE BOTERO ENTRE CALLE 210 Y CALLE 222 - TRAMO 2 1/1



**Anexo B Mapa de localización de perforaciones existentes
respecto a la Zonificación Geotécnica**



Anexo C Listado de coordenadas y profundidad de perforaciones existentes



Anexo D Tabla resumen de resultados de ensayos de laboratorio y pruebas de campo e Información recopilada de cada perforación



**Anexo E Reportes diarios de construcción de piezómetros e
informe de instalación de piezómetros y divers**



Anexo F Certificados de calibración de los divers



Anexo G Fotografías empleadas en los análisis multitemporales (medio digital)



Anexo H Archivos extensión Shape (medio digital)



Anexo I Registros litológicos de Piezómetros (existentes y nuevos) y Pruebas de carga



Anexo J Coordenadas de los Piezómetros nuevos (Levantamiento topográfico)



Anexo K Monitoreo de Piezómetros: Informes de campañas y Registro fotográfico



**Anexo L Análisis de Muestras de Agua Superficial y Subterránea:
Acreditaciones de laboratorios y resultados de ensayos de
laboratorio**



**Anexo M Registro fotográfico – Campañas de monitoreo de
calidad de agua**



**Anexo N Modelo hidrogeológico: Mapa de Hidrogeología,
Memorias de cálculo de recarga y Archivos crudos de Modelo
Numérico**



Anexo O Información meteorológica



Anexo P Batimetrías de los humedales