



# **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO**

**EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA**

**METRO DE QUITO**

**EPMMQ**

**CAPÍTULO 6**

**LÍNEA BASE**

- 6.1 METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE
- 6.2 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO  
Incluye mapa de geomorfología
- 6.3 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIÓTICO
- 6.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL
- 6.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESCOMBRERAS
- 6.6 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO PATRIMONIAL HISTÓRICO CULTURAL
- 6.7 ESTUDIO DEL PATRIMONIO EDIFICADO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DEE QUITO

Quito, Noviembre de 2012

**CAPÍTULO 6  
LÍNEA BASE**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>6. LÍNEA BASE</b>	<b>6-1</b>
<b>6.1 METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE</b>	<b>6-1</b>
6.1.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	6-1
6.1.2 TRABAJO DE CAMPO	6-1
6.1.3 TRABAJO DE GABINETE	6-1
<b>6.2 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO</b>	<b>6-2</b>
6.2.1 CLIMATOLOGÍA	6-2
6.2.2 CALIDAD DEL AIRE	6-17
6.2.3 MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE	6-17
6.2.4 ANÁLISIS DE DATOS CORPAIRE	6-23
6.2.5 RUIDO Y VIBRACIONES	6-40
6.2.6 VIBRACIONES	6-56
6.2.7 SÍSMICA PASIVA	6-58
6.2.8 GEOLOGÍA	6-60
6.2.9 GEOTECNIA	6-74
6.2.10 HIDROLOGÍA	6-84
6.2.11 HIDROGEOLOGÍA	6-92
6.2.12 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	6-97
6.2.13 PIEZOMETRIA	6-100
6.2.14 DATOS HIDROQUÍMICOS DEL ACUÍFERO DE QUITO	6-100
6.2.15 CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO	6-101
6.2.16 TEMPERATURA MENSUAL MEDIA Y PRECIPITACIONES MENSUALES	6-101
6.2.17 COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN	6-102
6.2.18 SÍNTESIS DE ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS	6-102
6.2.19 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL	6-102
6.2.20 HIDROGEOLOGÍA LOCAL	6-103
6.2.21 SUELOS	6-110
6.2.22 GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE	6-142
6.2.23 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	6-147
6.2.24 CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS FLUVIALES	6-187
6.2.25 PAISAJE	6-202
<b>6.3 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIÓTICO</b>	<b>6-227</b>
6.3.1 VEGETACIÓN	6-227
6.3.2 FAUNA	6-236

<b>6.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL</b>	<b>6-240</b>
6.4.1 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	6-241
6.4.2 INDICADORES SOCIALES	6-243
6.4.3 ASPECTOS ECONÓMICOS	6-256
6.4.4 CARACTERIZACIÓN SOCIOCULTURAL	6-258
6.4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN CERCANA A LA RUTA DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO	6-259
6.4.6 MAPA DE ACTORES CLAVE PARA EL PROYECTO DEL METRO	6-271
6.4.7 PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN SOBRE EL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DEL METRO QUITO	6-285
<b>6.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESCOMBRERAS</b>	<b>6-288</b>
6.5.1 QUEBRADA EL BATÁN	6-288
6.5.2 QUEBRADA JATUNHUAYCO (MONTESERRÍN)	6-291
6.5.3 QUEBRADA SIBAUCO (PEAJE VALLE DE LOS CHILLOS)	6-293
<b>6.6 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO PATRIMONIAL HISTÓRICO CULTURAL</b>	<b>6-295</b>
6.6.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	6-295
6.6.2 METODOLOGÍA	6-310
6.6.3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	6-311
<b>6.7 ESTUDIO DEL PATRIMONIO EDIFICADO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO</b>	<b>6-319</b>
6.7.1 ANTECEDENTES	6-319
6.7.2 INTRODUCCIÓN	6-319
6.7.3 INTERVENCIONES PREVISTAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO	6-320
6.7.4 METODOLOGÍA	6-320
6.7.5 RESULTADOS	6-320
6.7.6 CONCLUSIONES	6-321

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 6.1 EFECTO FOEHN	6-2
FIGURA 6.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL	6-3
FIGURA 6.3 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES	6-5
FIGURA 6.4 ISOTERMAS DE LA CIUDAD DE QUITO	6-7
FIGURA 6.5 TEMPERATURA MEDIA MULTIANUAL DMQ. AÑOS 1971-2000	6-7
FIGURA 6.6 TEMPERATURA MEDIA ESTACIÓN IZOBAMBA. AÑOS 1971-2000	6-7
FIGURA 6.7 DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIÓN QUITO-OBSERVATORIO. AÑOS 1971-2000	6-8
FIGURA 6.8 DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIÓN QUITO – INAMHI. AÑOS 1975-2000	6-8



FIGURA 6.9 DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIÓN QUITO-AEROPUERTO. AÑOS 1971-2000 .....	6-8	FIGURA 6.44 RELACIÓN ENTRE ESTACIONES EN CONCENTRACIONES CO .....	6-33
FIGURA 6.10 TENDENCIA TEMPERATURA MEDIA IZOBAMBA. AÑOS 1962-2010 .....	6-8	FIGURA 6.45 ESTACIÓN COTOCOLLAO .....	6-34
FIGURA 6.11 TENDENCIA TEMPERATURA MEDIA QUITO OBSERVATORIO. AÑOS 1891 - 1999 .....	6-9	FIGURA 6.46 ESTACIÓN BELISARIO .....	6-34
FIGURA 6.12 TENDENCIA TEMPERATURA MEDIA QUITO INAMHI. AÑOS 1975-2007 .....	6-9	FIGURA 6.47 ESTACIÓN EL CAMAL .....	6-35
FIGURA 6.13 TENDENCIA TEMPERATURA MEDIA ANUAL QUITO AEROPUERTO. AÑOS 1961-2007 .....	6-9	FIGURA 6.48 ESTACIÓN CENTRO .....	6-35
FIGURA 6.14 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN. AÑOS 1971-2000 .....	6-10	FIGURA 6.49 ESTACIÓN GUAMANÍ .....	6-35
FIGURA 6.15 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN EN QUITO .....	6-10A	FIGURA 6.50 RELACIÓN ENTRE ESTACIONES EN CONCENTRACIONES DE NO <sub>2</sub> .....	6-35
FIGURA 6.16 TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIÓN IZOBAMBA. AÑOS 1965-2008 .....	6-11	FIGURA 6.51 ESTACIÓN COTOCOLLAO .....	6-36
FIGURA 6.17 TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUITO-OBSERVATORIO. AÑOS 1891-2006 .....	6-11	FIGURA 6.52 ESTACIÓN BELISARIO .....	6-36
FIGURA 6.18 TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIÓN QUITO-INAMHI. AÑOS 1975-2008 .....	6-11	FIGURA 6.53 ESTACIÓN EL CAMAL .....	6-37
FIGURA 6.19 TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIÓN IZOBAMBA. AÑOS 1965-2006 .....	6-11	FIGURA 6.54 ESTACIÓN CENTRO .....	6-37
FIGURA 6.20 PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL .....	6-12	FIGURA 6.55 RELACIÓN ENTRE ESTACIONES EN CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (PM <sub>2.5</sub> ) .....	6-37
FIGURA 6.21 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL .....	6-13	FIGURA 6.56 ESTACIÓN COTOCOLLAO .....	6-38
FIGURA 6.22 EVAPORACIÓN PROMEDIO MENSUAL .....	6-13	FIGURA 6.57 ESTACIÓN BELISARIO .....	6-38
FIGURA 6.23 NUBOSIDAD PROMEDIO MENSUAL .....	6-13	FIGURA 6.58 ESTACIÓN EL CAMAL .....	6-39
FIGURA 6.24 NUBOSIDAD PROMEDIO MENSUAL .....	6-13	FIGURA 6.59 ESTACIÓN CENTRO .....	6-39
FIGURA 6.25 ROSA DE LOS VIENTOS DE IZOBAMBA .....	6-14	FIGURA 6.60 ESTACIÓN GUAMANÍ .....	6-39
FIGURA 6.26 ROSA DE LOS VIENTOS DE IÑAQUITO .....	6-14	FIGURA 6.61 RELACIÓN ENTRE ESTACIONES EN CONCENTRACIONES DE O <sub>3</sub> .....	6-39
FIGURA 6.27 TIPOS DE CLIMA EN QUITO .....	6-15	FIGURA 6.62 PUNTOS DE MONITOREO SECTOR SUR .....	6-42A
FIGURA 6.28 TENDENCIAS DÍAS SECOS CONSECUTIVOS .....	6-15	FIGURA 6.63 PUNTOS DE MONITOREO SECTOR NORTE .....	6-42B
FIGURA 6.29 TENDENCIAS DÍAS MUY HÚMEDOS .....	6-15	FIGURA 6.64 PUNTOS DE MONITOREO SECTOR CENTRO .....	6-43
FIGURA 6.30 TENDENCIAS DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS .....	6-16	FIGURA 6.65 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN SOLANDA .....	6-46
FIGURA 6.31 TENDENCIAS DÍAS CÁLIDOS .....	6-16	FIGURA 6.66 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN EL CALZADO .....	6-47
FIGURA 6.32 TENDENCIAS NOCHES CÁLIDAS .....	6-16	FIGURA 6.67 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN QUITUMBE .....	6-47
FIGURA 6.33 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LA REMMAQ .....	6-25	FIGURA 6.68 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN MORÁN VALVERDE .....	6-48
FIGURA 6.34 ESTACIÓN DE COTOCOLLAO .....	6-30	FIGURA 6.69. FOTOGRAFÍA DE MUESTREO MAGDALENA .....	6-49
FIGURA 6.35 ESTACIÓN BELISARIO .....	6-30	FIGURA 6.70 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN RECREO .....	6-49
FIGURA 6.36 ESTACIÓN EL CAMAL .....	6-31	FIGURA 6.71 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO LABRADOR .....	6-50
FIGURA 6.37 ESTACIÓN CENTRO .....	6-31	FIGURA 6.72 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN JIPIJAPA .....	6-50
FIGURA 6.38 RELACIÓN ENTRE ESTACIONES EN CONCENTRACIONES SO <sub>2</sub> .....	6-31	FIGURA 6.73 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN LA CAROLINA .....	6-51
FIGURA 6.39 ESTACIÓN COTOCOLLAO .....	6-32	FIGURA 6.74 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN LA PRADERA .....	6-52
FIGURA 6.40 ESTACIÓN BELISARIO .....	6-32	FIGURA 6.75 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN IÑAQUITO .....	6-52
FIGURA 6.41 ESTACIÓN EL CAMAL .....	6-33	FIGURA 6.76 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN SAN FRANCISCO .....	6-53
FIGURA 6.42 ESTACIÓN CENTRO .....	6-33	FIGURA 6.77 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN ALAMEDA .....	6-54
FIGURA 6.43 ESTACIÓN GUAMANÍ .....	6-33	FIGURA 6.78 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN EL EJIDO 1 .....	6-55



FIGURA 6.79 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN EL EJIDO 2.....	6-55	FIGURA 6.108 VISTA PANORÁMICA DE LA DESCARGA DEL ACUÍFERO NORTE VERTIENTES EL BATÀN .....	6-96
FIGURA 6.80 FOTOGRAFÍA DE MUESTREO ESTACIÓN SOLANDA UNIVERSIDAD CENTRAL .....	6-56	FIGURA 6.109 UBICACIÓN DE PUNTOS DE AGUA .....	6-97
FIGURA 6.81 CORRELACIÓN VALORES PICOS MEDIDOS CON LA NORMA RELATIVA A AFECTACIÓN EDIFICIOS.....	6-57	FIGURA 6.110 COMPARACIÓN DE LA CIRCULACIÓN ENTRE LOS ACUÍFEROS NORTE Y SUR .....	6-103
FIGURA 6.82 GRADO DE AFECTACIÓN A HUMANOS EN FUNCIÓN DE LA PROGRESIVA.....	6-58	FIGURA 6.111 UBICACIÓN DE ÁREAS ACUÍFERAS .....	6-104
FIGURA 6.83 MAPA DE ISOPERIODOS A LO LARGO DE LA RUTA DE ESTUDIO .....	6-59	FIGURA 6.112 VISTA PANORÁMICA DE LA ZONA DE RECARGA ATACAZO Y ZONA DE TRÁNSITO ACUÍFERO SUR YACIMIENTO EL PINTADO .....	6-104
FIGURA 6.84 PERFIL TOPOGRÁFICO Y POSICIÓN DE ESTACIONES (ARRIBA), PERÍODO FUNDAMENTAL (ABAJO) EN FUNCIÓN DE LA PROGRESIVA.....	6-60	FIGURA 6.113 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICA TIPO DEL SECTOR SUR SUBSECTOR YACIMIENTO EL PINTADO .....	6-105
FIGURA 6.85 CARACTERÍSTICAS DEL CONTACTO ENTRE LAS PLACAS DE NAZCA Y SUDAMERICANA EN LA ZONA DEL ECUADOR.....	6-61	FIGURA 6.114 VISTA PANORÁMICA DE LA ZONA DE RECARGA ATACAZO Y ZONA DE TRÁNSITO ACUÍFERO SUR YACIMIENTO GUAMANÌ .....	6-105
FIGURA 6.86 VALLE INTERANDINO .....	6-62	FIGURA 6.115 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICA TÍPICAS DEL ACUÍFERO SUR YACIMIENTO GUAMANÌ.....	6-105
FIGURA 6.87 Fm. MACHÁNGARA.....	6-63	FIGURA 6.116 VISTA PANORÁMICA DEL ACUÍFERO CENTRO NORTE DE QUITO .....	6-106
FIGURA 6.88 Fm. CANGAHUA .....	6-65	FIGURA 6.117 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS TIPO DEL SECTOR CENTRO NORTE.....	6-107
FIGURA 6.89 DISPOSICIÓN DE ESTRATOS INCLINADOS HACIA EL ESTE (20 A 30 GRADOS, LITOLÓGICAMENTE SON DE PÓMEZ (BLANCO) Y CENIZA VOLCÁNICA LIMOSA, LOS ESTRATOS PRESENTAN PLANOS DE FALLA IMBRICADOS (GRADAS), SE DISPONEN DE ACUERDO A LA PALEO-MORFOLOGÍA .....	6-66	FIGURA 6.118 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS TIPO DEL SECTOR CENTRO NORTE.....	6-107
FIGURA 6.90 DISPOSICIÓN DE ESTRATOS DE POTENCIA VARIABLE Y DISCONTINUOS DE PÓMEZ (BLANCO) INCLINADOS AL ESTE, INTERCALADOS CON CENIZA VOLCÁNICA, FLUJO PIROCLÁSTICO Y FLUJOS DE ESCOMBROS EN LAS COORDENADAS: 790269E; 9992374 N. LA INCLINACIÓN DE LOS ESTRATOS ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA PALEO-MORFOLOGÍA, EN ESTE CASO ESTÁN INCLINADOS HACIA EL ESTE. ....	6-66	FIGURA 6.119 MODELO CONCEPTUAL ACUÍFERO DE QUITO (SUR-CENTRO).....	6-109A
FIGURA 6.91 MAPA GEOLÓGICO PROYECTO METRO QUITO LÍNEA 1 .....	6-68A	FIGURA 6.120 EXPRESIÓN MORFOLÓGICA DE LAS COLINAS DE PUENGASÍ, LUMBISÍ, EL BATAN – LA BOTA MAPA DE PENDIENTES DEL DMQ.....	6-143
FIGURA 6.92 MAPA TECTÓNICO DEL VALLE DE QUITO, VILLAGÓMEZ (2003). ....	6-69	FIGURA 6.121 UBICACIÓN DE LAS ANTIGUAS QUEBRADAS DE QUITO.....	6-143
FIGURA 6.93 FALLA ILUMBISÍ.....	6-71	FIGURA 6.122 GEOMORFOLOGÍA SECTOR SUR PROYECTO METRO QUITO .....	6-144A
FIGURA 6.94 QDA. EL BATÁN- VISTA SUPERIOR DE LA QUEBRADA EL BATÁN.....	6-71	FIGURA 6.123 MAPA DE PENDIENTES DE QUITO .....	6-145
FIGURA 6.95 SECTORES CENTRO Y SUR DE QUITO .....	6-72	FIGURA 6.124 PORCENTAJES QUE DETERMINAN EL TIPO DE RELIEVE.....	6-146
FIGURA 6.96 ZONA SUR DE QUITO. ....	6-72	FIGURA 6.125 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	6-147
FIGURA 6.97 MAPA CON ACERCAMIENTO A LA CIUDAD DE QUITO Y GUAYLLABAMBA, QUE MUESTRA LOS SISMOS RECIENTES, CERCANOS A LA ZONA DE ESTUDIO. ....	6-73	FIGURA 6.126 VARIACIÓN MEDIA DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS SUBCUENCAS AFLUENTES DEL RÍO MACHÁNGARA.....	6-157
FIGURA 6.98 UBICACIÓN DE LOS EVENTOS OCURRIDOS EL 12 DE ENERO DE 2010 .....	6-73	FIGURA 6.127 VARIACIÓN MEDIA DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS SUBCUENCAS AFLUENTES DEL RÍO MACHÁNGARA.....	6-157
FIGURA 6.99 TÚNEL PARA ENCAUZAMIENTO DEL RÍO MACHÁNGARA, SECTOR EL TRÉBOL.....	6-76	FIGURA 6.128 DUREZA MEDIDA MUESTRAS ENVIADAS A LABORATORIO, 2012 .....	6-158
FIGURA 6.100 EXCAVACIÓN EN SUELOS VOLCÁNICOS DE LA FORMACIÓN CANGAHUA .....	6-76	FIGURA 6.129 ESTACIÓN DE MUESTREO MS-01 .....	6-188
FIGURA 6.101 CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR QUITUMBE .....	6-85	FIGURA 6.130 ESTACIÓN DE MUESTREO MS-02 .....	6-188
FIGURA 6.102 ESQUEMA GENERAL DE UNA SUBCUENCA CONSIDERADA PARA MODELACIÓN HIDROLÓGICA .....	6-87	FIGURA 6.131 ESTACIÓN DE MUESTREO MS-03.....	6-189
FIGURA 6.103 HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIONES E HIDROGRAMAS DE SALIDA DE LA SUBCUENCA 9 .....	6-87	FIGURA 6.132 METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES DE PAISAJE .....	6-203
FIGURA 6.104 RUTA Y ESTACIONES DEL METRO DE QUITO .....	6-88	FIGURA 6.133 VISIBILIDAD Y CUENCA VISUAL DE LA ACTUACIÓN EN ESTUDIO .....	6-204
FIGURA 6.105 ÁREAS DE INFLUENCIA ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	6-89	FIGURA 6.134 UNIDAD PAISAJÍSTICA DE QUITUMBE .....	6-206
FIGURA 6.106 DIAGRAMA DEL PROCESO DE MODELACIÓN .....	6-93	FIGURA 6.135 DETALLE DE LA UNIDAD PAISAJÍSTICA DE QUITUMBE .....	6-207
FIGURA 6.107 MAPA ESTRUCTURAL SIMPLIFICADO DEL ECUADOR CON ÉNFASIS EN LA ESTRUCTURA IAV (MODIFICADO DE WINKLER ET AL, 2002). SE INDICA LA ZONA DE ESTUDIO. (VILLAGÓMEZ ET AL, 2002A)....	6-94	FIGURA 6.136 UNIDAD PAISAJÍSTICA PLAYA ALTA-GUÁPULO.....	6-215
		FIGURA 6.137 PLAZA SAN FRANCISCO .....	6-216
		FIGURA 6.138 CUMBRE DE EL PANECILLO .....	6-217
		FIGURA 6.139 QUITO DESDE EL PANECILLO.....	6-218
		FIGURA 6.140 VISIBILIDAD Y CUENCA VISUAL DE LA ACTUACIÓN EN ESTUDIO.....	6-226



FIGURA 6.141 ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO ORDENADAS CON BASE EN LOS HÁBITOS DE CRECIMIENTO .....	6-231
FIGURA 6.142 ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO ORDENADAS CON BASE EN EL ORIGEN.....	6-231
FIGURA 6.143 ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO ORDENADAS EN BASE AL TIPO DE USO.....	6-232
FIGURA 6.144 RIQUEZA DE FAMILIAS Y ESPECIES EN CADA ORDEN .....	6-239
FIGURA 6.145 MAPA DE POBREZA POR SECTORES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (2001 – 2006).....	6-244
FIGURA 6.146 PORCENTAJE DE ANALFABETISMO.....	6-245
FIGURA 6.147 DESPLAZAMIENTOS MOTORIZADOS AL HIPERCENTRO .....	6-244A
FIGURA 6.148 CONFIGURACIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE COLECTIVO.....	6-248
FIGURA 6.149 MAPA ZONAL- POBLACIÓN .....	6-262
FIGURA 6.150 DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS DE SALUD EN LA ZONA DE ELOY ALFARO .....	6-265
FIGURA 6.151 ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS Y PRIVADOS DE SALUD EN LA ZONA DE ELOY ALFARO .....	6-265
FIGURA 6.152 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ESTUDIANTIL POR SECTOR.....	6-266
FIGURA 6.153 POBLACIÓN POR GRUPOS ÉTNICOS ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ.....	6-267
FIGURA 6.154 TASA DE ALFABETIZACIÓN ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ .....	6-267
FIGURA 6.155 CLASIFICACIÓN DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ .....	6-267
FIGURA 6.156 TIPOS DE INSTITUCIONES DE SALUD ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ .....	6-268
FIGURA 6.157 TIPOS DE VIVIENDAS ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ .....	6-269
FIGURA 6.158 UBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS ZONA CENTRO MANUELA SÁENZ .....	6-269
FIGURA 6.159. DISTRIBUCIÓN DE LOS SERVICIOS DE SALUD PARROQUIAS ZONA NORTE .....	6-271

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 6.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONSIDERADAS .....	6-4
TABLA 6.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	6-4
TABLA 6.3 TEST DE DETERMINACIÓN DE CARÁCTER ALEATORIO DE LA PRECIPITACIÓN .....	6-6
TABLA 6.4 TEST DE DETERMINACIÓN DE CARÁCTER ALEATORIO DE LA TEMPERATURA.....	6-6
TABLA 6.5 ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO .....	6-12
TABLA 6.6 PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS ABSOLUTAS REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	6-12
TABLA 6.7 TIPOS DE CLIMA EN QUITO .....	6-14
TABLA 6.8 METODOLOGÍA APLICADA .....	6-18
TABLA 6.9 COORDENADAS PUNTO CALIDAD DE AIRE – SISTEMA GEOGRÁFICO UTM - WGS84 .....	6-18

TABLA 6.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	6-18
TABLA 6.11 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES .....	6-20
TABLA 6.12 DATOS DE CAMPO .....	6-20
TABLA 6.13 RESULTADOS .....	6-22
TABLA 6.14 CONDICIONES METEOROLÓGICAS .....	6-22
TABLA 6.15 FUNETES DE CONTAMINACIÓN OBSERVADAS .....	6-23
TABLA 6.16 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA REMMAQ.....	6-24
TABLA 6.17 CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES COMUNES QUE DEFINEN LOS NIVELES DE ALERTA, DE ALARMA Y DE EMERGENCIA EN LA CALIDAD DEL AIRE (1) .....	6-26
TABLA 6.18 LÍMITES NUMÉRICOS DE CADA CATEGORÍA DEL IQCA (MG/M <sup>3</sup> ).....	6-27
TABLA 6.19 RANGOS, SIGNIFICADOS Y COLORES DE LAS CATEGORÍAS DEL IQCA.....	6-28
TABLA 6.20 IDENTIFICACIÓN DE INDIVIDUOS SENSIBLES POR TIPO DE CONTAMINANTE DEL AIRE .....	6-28
TABLA 6.21 EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA EL CÁLCULO DEL IQCA.....	6-29
TABLA 6.22 UBICACIÓN GEOGRÁFICA, DIRECCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE ANÁLISIS .....	6-29
TABLA 6.23 CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ).....	6-30
TABLA 6.24 CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	6-32
TABLA 6.25 CONCENTRACIONES DE DIÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO <sub>2</sub> ).....	6-34
TABLA 6.26 CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (PM <sub>2.5</sub> ) .....	6-36
TABLA 6.27 CONCENTRACIONES DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS (O <sub>3</sub> ) .....	6-38
TABLA 6.28 REGISTRO DE EMISIONES DE RUIDO EN QUITO. AÑOS 2005 Y 2006.....	6-40
TABLA 6.29 PROMEDIOS DE MONITOREO REGISTRADOS EN ESTACIONES EN EL DMQ .....	6-41
TABLA 6.30 LÍMITES PARA EMISIONES DE RUIDO EN FUENTES MÓVILES .....	6-41
TABLA 6.31 DESEMPEÑO DE LA REVISIÓN DE TRÁNSITO VEHICULAR.....	6-41
TABLA 6.32 PUNTOS DE MUESTREOS DE RUIDO SELECCIONADOS .....	6-42
TABLA 6.33 NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO PERMISIBLES SEGÚN USO DEL SUELO.....	6-44
TABLA 6.34 NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO PERMISIBLES SEGÚN ORDENANZA 213 .....	6-44
TABLA 6.35 ZONIFICACIÓN DEL ÁREA EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO .....	6-44
TABLA 6.36 CORRECCIÓN POR NIVEL DE RUIDO DE FONDO.....	6-45
TABLA 6.37 RESULTADOS DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTE .....	6-45
TABLA 6.38 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN SOLANDA.....	6-46
TABLA 6.39 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN EL CALZADO .....	6-46
TABLA 6.40 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN EL QUITUMBE .....	6-47
TABLA 6.41 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN MORÁN VALVERDE .....	6-48
TABLA 6.42 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN MAGDALENA .....	6-48
TABLA 6.43 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN EL RECREO .....	6-49



TABLA 6.44 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN LABRADOR .....	6-50	TABLA 6.79 REFERENCIA RÁPIDA PARA SUMIDEROS DE REJA NORMALIZADOS (0,61x0,90) DEPRESIÓN 5 CM .....	6-91
TABLA 6.45 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN JIPIJAPA.....	6-50	TABLA 6.80 CAUDALES APROXIMADOS DE EXCESO (M <sup>3</sup> /S) QUE INGRESARÍAN A LAS BOCAS DEL METRO QUITO .....	6-91
TABLA 6.46 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN LA CAROLINA .....	6-51	TABLA 6.81 CAUDALES APROXIMADOS DE EXCESO (M <sup>3</sup> /S) QUE INGRESARÍAN A LAS BOCAS DEL METRO-QUITO .....	6-92
TABLA 6.47 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN LA PRADERA .....	6-51	TABLA 6.82 INVENTARIO DE POZOS .....	6-94
TABLA 6.48 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN IÑAQUITO .....	6-52	TABLA 6.83 INVENTARIO DE MANANTIALES .....	6-96
TABLA 6.49 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN SAN FRANCISCO .....	6-53	TABLA 6.84 POROSIDAD EFECTIVA PARA LA CANGAHUA.....	6-97
TABLA 6.50 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN ALAMEDA.....	6-54	TABLA 6.85 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS CALCULADOS EN LOS POZOS REPORTADOS POR LA EPMAPS PROYECTO RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFERO QUITO, AÑO 1989, PROCESADOS EN FUNCIÓN DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE QUITO C. DE MIGUEL FERNÁNDEZ, 2002.....	6-98
TABLA 6.51 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN EL EJIDO1 .....	6-54	TABLA 6.86 VALORES DE TRANSMISIVIDAD DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUÍFERO DE QUITO A PARTIR DE LOS DATOS APORTADOS POR METRO QUITO DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS POR HIGGECO 212 .....	6-99
TABLA 6.52 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN EL EJIDO2 .....	6-55	TABLA 6.87 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS CALCULADOS EN LOS POZOS PARA INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS, REPORTADOS POR HIGGECO 2012.....	6-99
TABLA 6.53 RESULTADOS DE MONITOREO ESTACIÓN UNIVERSIDAD CENTRAL .....	6-56	TABLA 6.88 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO SEGÚN TIPO DE ACUÍFERO.....	6-100
TABLA 6.54 RESUMEN DE ENSAYOS DE CAMPO REALIZADOS .....	6-78	TABLA 6.89 DATOS DE LAS CAMPAÑAS REPRESENTATIVAS DE RECOGIDA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	6-101
TABLA 6.55. VALORES N DEL SPT (SMQ-3 A SMQ-25).....	6-78	TABLA 6.90 VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA Y TEMPERATURA MEDIA MENSUAL UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN E INFILTRACIÓN.....	6-102
TABLA 6.56 VALORES N DEL SPT (SMQ-28 A SMQ-51) .....	6-79	TABLA 6.91 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS SUELOS PRESENTES EN EL CANTÓN QUITO.....	6-112
TABLA 6.57 VALORES N DEL SPT (SMQ-56 A SMQ-69) .....	6-79	TABLA 6.92 SITIOS DE MUESTREO DE SUELOS.....	6-117
TABLA 6.58. PERMEABILIDAD LEFRANC.....	6-80	TABLA 6.93 PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE SUELOS .....	6-117
TABLA 6.59 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-3 A SMQ-17) .....	6-80	TABLA 6.94 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO .....	6-118
TABLA 6.60 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-21 A SMQ-26) .....	6-80	TABLA 6.95 PUNTOS DE MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO .....	6-148
TABLA 6.61 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-28 A SMQ-34) .....	6-81	TABLA 6.96 PUNTOS DE MUESTREO DE SEDIMENTOS EN EL ÁREA DEL PROYECTO .....	6-188
TABLA 6.62 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-42 A SMQ-24) .....	6-81	TABLA 6.97 PROTOCOLO DE MUESTREO DESARROLLADO PARA LA FASE DE MUESTREO EN EL PROYECTO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO.....	6-190
TABLA 6.63 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-48 A SMQ-63) .....	6-81	TABLA 6.98 RESULTADOS DE LABORATORIO GRUNTEC PARA SEDIMENTOS .....	6-191
TABLA 6.64 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-65 A SMQ-67) .....	6-81	TABLA 6.99 ESQUEMA DE PERCEPCIÓN HUMANA .....	6-203
TABLA 6.65 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS (SMQ-68 A SMQ-69) .....	6-82	TABLA 6.100 PRINCIPALES ELEMENTOS PATRIMONIALES NÚCLEO SAN FRANCISCO .....	6-217
TABLA 6.66 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS (SMQ-3 A SMQ-17).....	6-82	TABLA 6.101 PUNTOS DE OBSERVACIÓN Y VALORACIÓN DE SU SENSIBILIDAD .....	6-220
TABLA 6.67 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS (SMQ-21 A SMQ-26).....	6-82	TABLA 6.102 CALIDAD DE LOS RECURSOS PAISAJÍSTICOS .....	6-221
TABLA 6.68 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS (SMQ-28 A SMQ-42).....	6-82	TABLA 6.103 RELACIÓN ENTRE CALIDAD DE LOS RECURSOS PAISAJÍSTICOS Y OBJETIVOS DE CALIDAD .....	6-221
TABLA 6.69 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS (SMQ-44 A SMQ-63).....	6-83	TABLA 6.104 OBJETIVOS DE CALIDAD PAISAJÍSTICA .....	6-222
TABLA 6.70 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS (SMQ-67 A SMQ-69).....	6-83	TABLA 6.105 VALORACIÓN DE LA CALIDAD PAISAJÍSTICA .....	6-222
TABLA 6.71 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS.....	6-83	TABLA 6.106 VALORACIÓN GLOBAL DE LA CALIDAD PAISAJÍSTICA.....	6-223
TABLA 6.72 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA SUBCUENCAS .....	6-85	TABLA 6.107 VALORACIÓN DE CADA COMPONENTE DE LAS UNIDADES DE PAISAJE .....	6-224
TABLA 6.73 DATOS DE LAS SUBCUENCAS DE ESTUDIO UTILIZADAS EN EL MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS .....	6-86		
TABLA 6.74 CAUDALES MÁXIMOS (M <sup>3</sup> /S) EN SUBCUENCAS DE LAS QUEBRADAS PARA DIFERENTES TR.....	6-87		
TABLA 6.75 UBICACIÓN DE LAS ENTRADAS DE LAS BOCAS DE LAS ESTACIONES DEL METRO-QUITO .....	6-88		
TABLA 6.76 PARÁMETROS HIDROLÓGICOS REQUERIDOS POR EL MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS 3.2 .....	6-90		
TABLA 6.77 CAUDALES DE CRECIDA PARA TR DEFINIDAS, CALCULADOS EN LAS ENTRADAS DE LAS BOCAS DEL METRO ...	6-90		
TABLA 6.78 CAUDALES DE CRECIDA PARA TR DEFINIDAS, CALCULADOS EN LAS ENTRADAS DE LAS BOCAS DEL METRO ...	6-90		



TABLA 6.108 RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE LAS UNIDADES DE PAISAJE Y OBJETIVOS DE CALIDAD .....	6-225	TABLA 6.143 UNIDADES DE EXCAVACIÓN POR ÁREA ESPECIAL .....	6-311
TABLA 6.109 OBJETIVOS DE LA CALIDAD PAISAJÍSTICA PROPUESTOS .....	6-225	TABLA 6.144 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN SAN FRANCISCO .....	6-312
TABLA 6.110 CALIDAD Y OBJETIVOS DE LA CALIDAD PAISAJÍSTICA PROPUESTOS PARA LAS UNIDADES DE PAISAJE .....	6-227	TABLA 6.145 UNIDADES DE EXCAVACIÓN CON REGISTRO DE MATERIAL CULTURAL EN LA ESTACIÓN SAN FRANCISCO ....	6-313
TABLA 6.111 ZONAS ECOLÓGICAS DE VIDA DEL ÁREA DE ESTUDIO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO .....	6-228	TABLA 6.146 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN EL RECREO .....	6-313
TABLA 6.112 UBICACIÓN DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN COMPONENTE BIÓTICO (VEGETACIÓN Y FAUNA) .....	6-229	TABLA 6.147 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN MORÁN VALVERDE.....	6-314
TABLA 6.113 LISTA DE ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	6-230	TABLA 6.148 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN EL EJIDO .....	6-314
TABLA 6.114 ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO .....	6-238	TABLA 6.149 PL POSITIVAS Y MATERIAL CULTURAL REGISTRADO EN ESTACIÓN EL EJIDO .....	6-315
TABLA 6.115 POBLACIÓN DE QUITO SEGÚN CENSO 2010 .....	6-242	TABLA 6.150 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS COCHERAS DEL METRO QUITO.....	6-315
TABLA 6.116 PROYECCIONES DE POBLACIÓN PARA EL DMQ.....	6-242	TABLA 6.151 PL POSITIVAS Y MATERIAL CULTURAL REGISTRADO ESTACIÓN COCHERA QUITUMBE .....	6-316
TABLA 6.117 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE DMQ POR ETNIA EN PORCENTAJES.....	6-243	TABLA 6.152 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA ESPECIAL SOLANDA .....	6-316
TABLA 6.118 INDICADORES DE POBREZA EN PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN TOTAL .....	6-243	TABLA 6.153 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA ESPECIAL EL CALZADO.....	6-317
TABLA 6.119 SERVICIOS PÚBLICOS EN EL DMQ .....	6-244	TABLA 6.154 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA ESPECIAL PANECILLO.....	6-317
TABLA 6.120 UNIDADES POR TIPO DE SERVICIO DE TRANSPORTE .....	6-248		
TABLA 6.121 DEMANDA DE TRANSPORTE DIARIA TOTAL DMQ .....	6-255		
TABLA 6.122 ACTIVIDADES ECONÓMICAS .....	6-256		
TABLA 6.123 CRECIMIENTO ANUAL DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO .....	6-257		
TABLA 6.124 EVOLUCIÓN DE LOS INGRESOS MEDIOS (USD/HAB/MES).....	6-258		
TABLA 6.125 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ZONA DE QUITUMBE.....	6-262		
TABLA 6.126 INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO PERÍODO 2011-2012 .....	6-263		
TABLA 6.127 10 PRIMERAS CAUSAS DE MORBILIDAD. PERÍODO 2010 - 2011 .....	6-264		
TABLA 6.128 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ZONA DE ELOY ALFARO.....	6-264		
TABLA 6.129. 10 PRIMERAS CAUSAS DE MORBILIDAD. PERÍODO 2010 - 2011 .....	6-265		
TABLA 6.130 INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO PERÍODO 2011-2012 .....	6-266		
TABLA 6.131 INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO PERÍODO 2011-2012 .....	6-268		
TABLA 6.132 PRIMERAS CAUSAS DE MORBILIDAD. PERÍODO 2010 - 2011 .....	6-268		
TABLA 6.133 INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO PERÍODO 2011-2012 .....	6-270		
TABLA 6.134 10 PRIMERAS CAUSAS DE MORBILIDAD. PERÍODO 2010 - 2011 .....	6-271		
TABLA 6.135 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES SOCIALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO METRO QUITO .....	6-279		
TABLA 6.136 PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA SOBRE EL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DEL METRO QUITO..	6-286		
TABLA 6.137. ETAPAS FUNDAMENTALES DE LA HISTORIA DE LA TIERRA .....	6-297		
TABLA 6.138 ORDEN: XENARTHROS .....	6-302		
TABLA 6.139 ORDEN PROBOSCIDEA.....	6-303		
TABLA 6.140 UBICACIÓN DE LAS CINCO ESTACIONES DEL METRO DE QUITO .....	6-311		
TABLA 6.141 UBICACIÓN DE LAS CUATRO ÁREAS ESPECIALES DEL METRO QUITO .....	6-311		
TABLA 6.142 UNIDADES DE EXCAVACIÓN PROYECTADAS Y EXCAVADAS POR ESTACIÓN .....	6-311		



## 6. LÍNEA BASE

Es importante seleccionar los componentes ambientales que son susceptibles a ser afectados por la ejecución de las actividades propuestas en el proyecto. Luego de determinados estos componentes se procedió con el levantamiento de información y caracterización de la línea base ambiental que incluye estos componentes ambientales.

Este capítulo recoge la descripción del medio en su estado actual, sin ejecutar el proyecto. El capítulo 8 identifica y describe las áreas sensibles, para los distintos factores del medio, que puede afectar la construcción, operación y abandono de la primera línea del Metro de Quito

### 6.1 Metodología para el Levantamiento de la Línea Base

Para efectos del estudio de la caracterización ambiental del Proyecto de la Primera Línea del Metro de Quito, se ejecutaron las fases de:

1. Revisión de Información Secundaria
2. Trabajo de Campo
3. Trabajo de Gabinete

A continuación se describen las actividades realizadas en cada una de estas fases:

#### 6.1.1 Revisión de Información Secundaria

Se procedió a la recopilación de información de fuentes secundarias existente en las diversas instituciones que han efectuado estudios en la zona y sobre los temas de interés del EsIA. Cada investigador, en el área de su especialidad, realizó la recopilación de toda la información disponible y que ha sido levantada previamente en el área de influencia de la Primera Línea del Metro de Quito.

#### 6.1.2 Trabajo de Campo

Se procedió al levantamiento de información de fuentes primarias, es decir aquellas obtenidas mediante la observación directa de las áreas evaluadas, mediciones, muestreos, encuestas, etc. Para esto, cada investigador formuló y ejecutó un plan de trabajo específico.

#### 6.1.3 Trabajo de Gabinete

Se procedió al levantamiento de información de fuentes primarias (mediciones, muestreos, encuestas), como secundarias existente en las diversas instituciones que han efectuado estudios en la zona y sobre los temas de

interés del EsIA. Además se elaboró mapas para caracterizar la zona del Trazado de la Primera Línea del Metro de Quito y sus áreas de influencia.

A continuación se presenta el listado de los estudios particulares realizados dentro de cada uno de los componentes: Físico, Biótico y Socioeconómico Cultural.

**Medio Físico.**- Se ha considerado como las condiciones que presenta la naturaleza independientemente de la actividad o la intervención humana. Dentro del medio físico se encuentran todas las condiciones del agua, aire, el suelo y el clima. En el estudio de línea base se detallan los siguientes subcomponentes:

- Climatología
- Calidad del Aire
- Monitoreo de la Calidad del Aire Ambiente
- Ruido y Vibraciones
- Geología
- Geotécnica
- Hidrología
- Hidrogeología
- Suelos
- Geomorfología y Relieve
- Calidad del Agua
- Caracterización de sedimentos fluviales
- Paisaje

**Medio Biótico.**- Se describe al medio biótico como las condiciones presentes en la flora, fauna y sus habitats que están presentes en el área del proyecto. Los subcomponentes considerados dentro del presente estudio son:

- Vegetación
- Fauna

**Medio Socio Económico y Cultural.**- El estudio socioeconómico presenta los aspectos sociales, económicos y culturales de la población del ámbito de intervención del proyecto. Esta información constituye la línea base en los temas referentes a arqueología, organización socio económica, etc., entre otros que se mencionan a continuación:

- Características del Medio Socioeconómico y Cultural
- Aspectos Demográficos
- Indicadores Sociales
- Aspectos Económicos
- Caracterización Socio-Cultural
- Caracterización de la Población cercana a la ruta de la Primera Línea de Metro de Quito
- Mapa de Actores Sociales

La metodología específica para cada uno de los componentes del estudio se detallará en la caracterización particular de cada aspecto.

## 6.2 Caracterización del Medio Físico

### 6.2.1 Climatología

#### Clima de Quito

La ciudad de Quito se encuentra ubicada en la región Sierra o Interandina del Ecuador. Está atravesada por la cordillera de los Andes que la recorre de norte a sur. La cordillera se divide en dos sistemas paralelos: Cordillera Oriental y Occidental, separados por una llanura longitudinal dividida en varios valles por nudos transversales, que se constituyen en gigantescas murallas montañosas con alturas que varían desde los 1.200 hasta los 4.000 msnm. Esta diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, origina una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias.

Los periodos de registro de parámetros climatológicos son poco uniformes, lo que dificulta definir un periodo común para los análisis climatológicos espaciales sobre la base de las series existentes, particularmente debido a que muchas estaciones no han funcionado de manera regular.

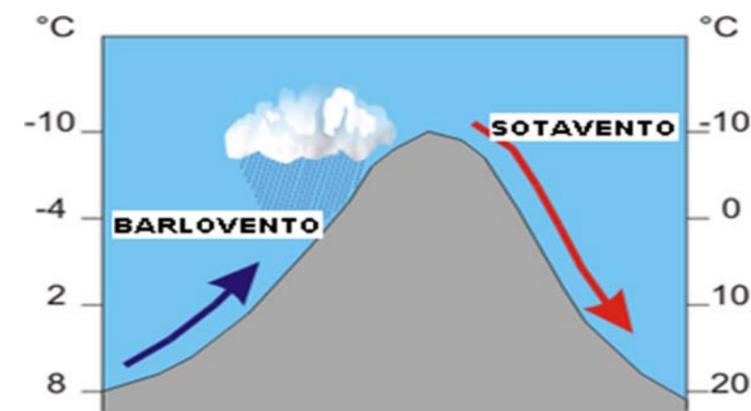
#### Influencias Orográficas

La configuración orográfica origina un efecto denominado de viento foehn o föhn, que se produce en relieves montañosos cuando una masa de aire cálido y húmedo es forzada a ascender para salvar ese obstáculo. Esto hace que el vapor de agua se enfríe y sufra un proceso de condensación o sublimación inversa precipitándose en las laderas de barlovento donde se forman nubes y lluvias orográficas.



Cuando esto ocurre existe un fuerte contraste climático entre dichas laderas, con una gran humedad y lluvias en las de barlovento, y las de sotavento en las que el tiempo está despejado y la temperatura aumenta por el proceso de compresión adiabática. Este proceso está motivado porque el aire ya seco y cálido desciende rápidamente por la ladera, calentándose a medida que aumenta la presión al descender y con una humedad sumamente escasa. El efecto foehn o föhn es el proceso descrito en las laderas de sotavento y resulta ser un viento "secante" y muy caliente.

Figura 6.1 Efecto Foehn



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

La topografía obliga a la masa de aire a ascender, condensando el vapor de agua y dando lugar a lluvias orográficas (efecto barrera). A sotavento el aire ya seco desciende rápidamente aumentando la presión atmosférica y la temperatura.

Con mucha frecuencia, toda la humedad procedente de las laderas de barlovento no se convierte en nubes y lluvia sino que gran parte de esas nubes pasa hacia el lado de sotavento, donde se "desparraman" con un proceso totalmente inverso al que ocurrió en barlovento. En efecto, las nubes orográficas que descienden por el lado de sotavento se calientan y desaparecen al llegar a cierta altura cuando se supera la temperatura del punto de rocío. Se forma así un tipo de nubes estables que forman una especie de "techo" en el que los contrastes de temperatura pueden ser muy fuertes con una variación de altura muy escasa.

Esta situación es muy común en los valles que conforman la ciudad de Quito, en donde las precipitaciones son muy inferiores a las que se producen en la ciudad de Quito y aún más en las laderas situadas al oeste de la ciudad.

También es importante la influencia de la latitud y de la altitud. La primera, debido a la ubicación de Quito alrededor de la latitud cero, que recibe los rayos del sol más horas al año y, lo que es más generalmente, los rayos son más perpendiculares en la mayor parte del tiempo. Mientras que por la altitud, la temperatura disminuye

a un valor de 6°C, razón por la cual la temperatura de Quito tiene una temperatura media que oscila entre los 13°C y 14°C.

En esta región, se presentan dos tipos de masas de aire, las masas de aire templadas, que se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido muy irregular de humedad, se sitúan en los valles interandinos y las masas de aire frío que se asientan en las mesetas andinas y en las cimas altas de las montañas (más de 3000 msnm); en estas últimas, las temperaturas son menores o iguales a 0°C y la humedad depende de la influencia de las masas de aire que recibe.

Se encuentra bajo la influencia alterna de "Masas de Aire Tropical Marítimo" (MATM) y "Masas de Aire Tropical Continental" (MATC).

### Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

Es una franja nubosa cuyo desplazamiento es entre los 10° Norte y 10° Sur de la zona ecuatorial. Es el sistema que define el inicio de la época lluviosa en el Ecuador y por ende en la ciudad de Quito. Cuando esta zona presenta cambios a largo plazo, puede dar lugar a graves sequías o inundaciones en la zona de afectación.

Desde inicios de septiembre, la ZCIT (que se encuentra en esa época del año sobre el Hemisferio Norte y en proceso de alcanzar el Ecuador), después de rechazar los alisios del sureste, moviliza hacia el continente las MATM. Estos al sumarse los alisios del nordeste dan inicio a la estación lluviosa.

A fines de diciembre, la ZCIT que aún se encuentra en el Hemisferio Norte, detiene el movimiento anterior, y sin que haya mayor ingreso de aire marítimo húmedo, provoca una ligera recesión de la pluviometría que corresponde al llamado "veranillo del Niño" de fines de diciembre-enero.



**Figura 6.2 Ubicación de la zona de convergencia intertropical**



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Mientras tanto, debido a las fuertes temperaturas, las MATC de la llanura amazónica siguen reforzándose; al verse empujadas luego hacia la cordillera, ingresan en parte al callejón interandino y dan lugar a un segundo pico lluvioso a partir de marzo.

En las hoyas interandinas, tienen el mismo régimen anteriormente expuesto de una estación lluviosa con dos picos separados por una corta estación seca. Sin embargo, por estar mejor abrigadas, por recibir aire marítimo o continental casi totalmente descargado de humedad y porque ahí reinan "Masas de Aire Templado Continental", el total de las precipitaciones es menor y el clima más estable y seco.

### Perturbaciones de la Amazonía

Ocasionalmente se presentan grandes masas de aire cálido y húmedo arrastradas por el viento a grandes alturas desde la región amazónica, las mismas que producen grandes tormentas y precipitaciones en la ciudad de Quito.

Los factores indicados anteriormente, producen un reforzamiento de las precipitaciones originadas normalmente por la presencia de la Zona de Convergencia Intertropical, cuya presencia o alejamiento, condiciona el inicio de la época lluviosa o época seca respectivamente.



## Estabilidad Atmosférica

La ciudad de Quito se encuentra rodeada por grandes elevaciones que estabilizan los efectos de la temperatura.

La temperatura media anual en Quito es de 14,6°C, con poca variación media mensual pero con una fuerte variación durante el día, con valores que oscilan entre 9,9°C y 21,5°C, y que pueden llegar desde 4°C hasta 25°C, principalmente en los meses de agosto y septiembre.

Por otra parte, la precipitación media multianual es de 1126,7 mm con dos estaciones lluviosas.

Que va desde febrero a mayo y

Que va de octubre a noviembre

Por su parte, junio, julio y agosto son los meses de menor precipitación, menor número de días con lluvia y de mayor insolación. El promedio mensual de precipitación va de 80 a 180 mm. El potencial de evapotranspiración es de 1178 mm.

Asociado con esto se producen inversiones térmicas, ocasionadas principalmente por el enfriamiento de la tierra durante las noches de cielo despejado, lo que favorece la fuga de calor del suelo y de las capas atmosféricas adyacentes al mismo, hacia capas más altas de la troposfera, principalmente en el verano (julio, agosto y septiembre) y en el veranillo de "El Niño" (que se produce entre noviembre y diciembre). Estas inversiones provocan estabilidad atmosférica de tipo temporal, que favorecen el estancamiento de los contaminantes, pero al disiparse, normalmente antes del medio día, inicia la dispersión de los mismos, siempre y cuando no haya otra fuerza que los haga permanecer pegados al suelo.

Las velocidades del viento varían entre 1 y 2 m/s, pudiendo alcanzar los valores de 2 y 4 m/s entre las 13h00 y 16h00. Durante el mes de agosto los promedios diarios se incrementan y varían entre 2 y 4 m/s, pudiendo alcanzar valores m/s desde las 13j00 hasta las 16h00. Sin embargo, no se puede hablar de direcciones dominantes o velocidades promedio debido a que estos parámetros meteorológicos son muy variables en Quito y dependen de la estación y la zona en la se los midan.

Cabe destacar que existen microclimas urbanos diferentes dentro de la misma ciudad de Quito y particularidades notables en cuanto al clima en todo el DMQ. Esto se debe principalmente a las condiciones topográficas de la ciudad, que en general se establecen como desfavorables para la dispersión de los contaminantes. La topografía favorece el "atrapamiento" de los contaminantes, el régimen de los vientos poco contribuye a la circulación del aire sobretodo en el centro histórico, y las inversiones térmicas son capaces de bloquear el aire a nivel del suelo.

## Metodología

El análisis del clima se realizó con los datos existentes en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para las estaciones Izobamba (003) e Iñaquito (024), ya que ellas son las que presentan la mayor

cantidad de parámetros climáticos para analizar. Esta última estación es la más cercana a la zona de estudio. El análisis corresponde a los nueve años (2000-2008) anteriores para los siguientes parámetros: temperatura (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), nubosidad (octavos) y vientos (m/s).

Los datos de cada parámetro fueron promediados a efectos de obtener la media mensual por año. Esta media mensual es el valor estadístico utilizado de base para interpretar la evolución del clima durante ese periodo.

La información correspondiente a cada estación se muestra en la Tabla 6.1 donde consta la información de: coordenadas, altitud, período de disponibilidad de datos, código, tipo de estación e institución responsable de la operación.

**Tabla 6.1 Estaciones meteorológicas consideradas**

ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD	CÓDIGO (1)	TIPO (1)	INSTITUCIÓN
	LATITUD	LONGITUD	MSNM			
Izobamba	00°21'45" S	78°33'11" W	3.058	M-003	AP	INAMHI
Quito – INAMHI	00°10'28" S	78°29'08" W	2.812	M-024	CE	INAMHI

Fuente: EMAAP-Q, 2008 (1) El tipo y código corresponde a la denominación de las estaciones establecida por el INAMHI:

AP – AGROMETEOROLÓGICA

CE - CLIMATOLÓGICA ESPECIAL

En la zona de estudio existen alrededor de 15 estaciones pluviométricas, tres de INAMHI, una de la Dirección de Aviación Civil, una de la Politécnica Nacional y 10 de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito- EPMAPS, como se observa en la Tabla 6.2 y la ubicación de las estaciones en la zona se muestra en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2 Estaciones meteorológicas en la zona de estudio**

Nº	Código	Estación	Registro de precipitación	Nº años	Latitud Sur	Longitud Oeste	Elevación msnm	Propiedad
1	M003	Izobamba	1964-2010	43	772361.59	9959896.04	3058	INAMHI
2	M024	Iñaquito- INAMHI	1975-2010	36	780131.471	9981253.09	2789	INAMHI
3	M055	Quito Aeropuerto	1958-2008	51	779946.220	9984510.77	2794	DAC
4	M335	La Chorrera	1982-2010	28	774376.196	9976889.97	3165	INAMHI
5	M054	Quito - Observatorio	1971-2000	30	778274.437	9976643.49	2820	Politécnica Nacional



Nº	Código	Estación	Registro de precipitación	Nº años	Latitud Sur	Longitud Oeste	Elevación msnm	Propiedad
6	PC5	Bellavista	2000-2010	11	782 675	9980340	2962	EPMAPS
7	P3	Rumihurcu	2000-2010	11	774550	9985125	3575	EPMAPS
8	P8	Rumipamba	2000-2010	11	776350	9980525	3200	EPMAPS
9	P11	Antenas	2000-2010	11	775860	9982013	3760	EPMAPS
10	P12	Toctiuco	2000-2010	11	775485	9977570	3225	EPMAPS
11	P14	Zámbiza	2000-2010	11	784313	9984264	2640	EPMAPS
12	P23	Atacazo	2000-2010	11	767195	9965170	3865	EPMAPS
13	P25	Troje	2000-2010	11	772390	9959890	3060	EPMAPS
14	P26	Puengasí	2000-2010	11	779 300	9974185	2 980	EPMAPS
15	P28	Cruz Loma	2000-2010	11	772390	9959890	3060	EPMAPS

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Figura 6.3 Ubicación de las estaciones



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Los periodos de registro no son uniformes por lo que no es fácil definir un periodo común para los análisis climatológicos espaciales sobre la base de las series existentes, particularmente debido a que muchas estaciones no han funcionado de manera regular. Los registros de datos no son continuos, existen años incompletos y, en algunos casos lagunas de varios meses e incluso años con datos faltantes.

El análisis de los datos se realizó sobre la base de los momentos estadísticos, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría que definen si un grupo de estaciones tienen datos con similar distribución de



probabilidad, determinando grupos estadísticamente homogéneos con relación a las precipitaciones anuales. Cabe indicar que estos grupos no obedecen a consideraciones de ubicación geográfica sino únicamente a la distribución estadística de los datos observados.

Para el análisis de consistencia, se tomó como base la estación de la zona homogénea cuyos datos tengan mejores registros para el periodo considerado. Con este criterio, se construyeron las curvas de doble masa para todas las series de precipitación.

Las series tanto de precipitación como temperatura media, fueron sometidas a la aplicación de los test de determinación del carácter aleatorio simple de las series de observaciones o, dicho en otras palabras, si las observaciones han sido obtenidas de la misma población y que todas son independientes entre sí. Los test aplicados fueron el test de “Correlación serial” que permite determinar la persistencia a corto plazo (de un término a otro) y el test de “Spearman” que permite determinar la tendencia a largo plazo.

Aplicado ambos test a las series de precipitación y temperatura media, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 6.3 Test de determinación de carácter aleatorio de la precipitación**

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN	
	TESTS	
	CORRELACIÓN SERIAL	SPEARMAN
Izobamba	Existe persistencia	No existe tendencia
Quito Observatorio	Existe persistencia	No existe tendencia
Quito Aeropuerto	No existe persistencia	No existe tendencia
Quito INAMHI	Existe persistencia	No existe tendencia

Fuente: Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología y Bombeo para el proyecto Metro Quito, Entregable 1, Enero 2012

**Tabla 6.4 Test de determinación de carácter aleatorio de la temperatura**

ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA	
	TESTS	
	CORRELACIÓN SERIAL	SPEARMAN
Izobamba	Existe persistencia	Existe tendencia
Quito Observatorio	Existe persistencia	Existe tendencia
Quito Aeropuerto	Existe persistencia	Existe tendencia
Quito INAMHI	Existe persistencia	Existe tendencia

Fuente: Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología y Bombeo para el proyecto Metro Quito, Entregable 1, Enero 2012

De la tabla 3 se puede deducir que en cuanto a la precipitación, en lo que se refiere a la determinación de la persistencia a corto plazo, solamente la estación de Quito Aeropuerto no muestra persistencia; en lo referente a la tendencia a largo plazo, en este parámetro no existe tendencia en ninguna de las estaciones consideradas.

Como consecuencia, se puede decir que, sobre todo en los últimos años, las precipitaciones intensas se van incrementando y sus valores inducen a pensar que son precipitaciones que no pertenecen a la misma población (a corto plazo), y éstas no son claras aún a largo plazo.

En cambio en la tabla 4, en la cual se exponen los resultados de los test para el parámetro de temperatura media, se aprecia que los dos test son consistentes, presentándose tanto una persistencia de la temperatura media a corto plazo como una tendencia creciente a largo plazo.

## Resultados

### Temperatura

Las temperaturas medias son variables y los valores máximos por lo general se producen en el mes de agosto, en tanto que los menores valores de temperatura media no tienen un mes concreto en el que se producen (ver Figuras).

La distribución espacial de la temperatura se representa gráficamente mediante el trazado de las isotermas o líneas que unen los puntos con igual temperatura (mensual, estacional o anual). En este caso, el método empleado para la obtención de las isotermas ha sido el de función radial de base. Las isotermas obtenidas se recogen en la figura 6.4.

La temperatura media por lo general se incrementa de sur a norte, excepto en Quito Aeropuerto, en donde se aprecia un pequeño descenso, debido a que la estación se encuentra ubicada en un lugar libre de grandes obstáculos.



Figura 6.4 Isotermas de la ciudad de Quito

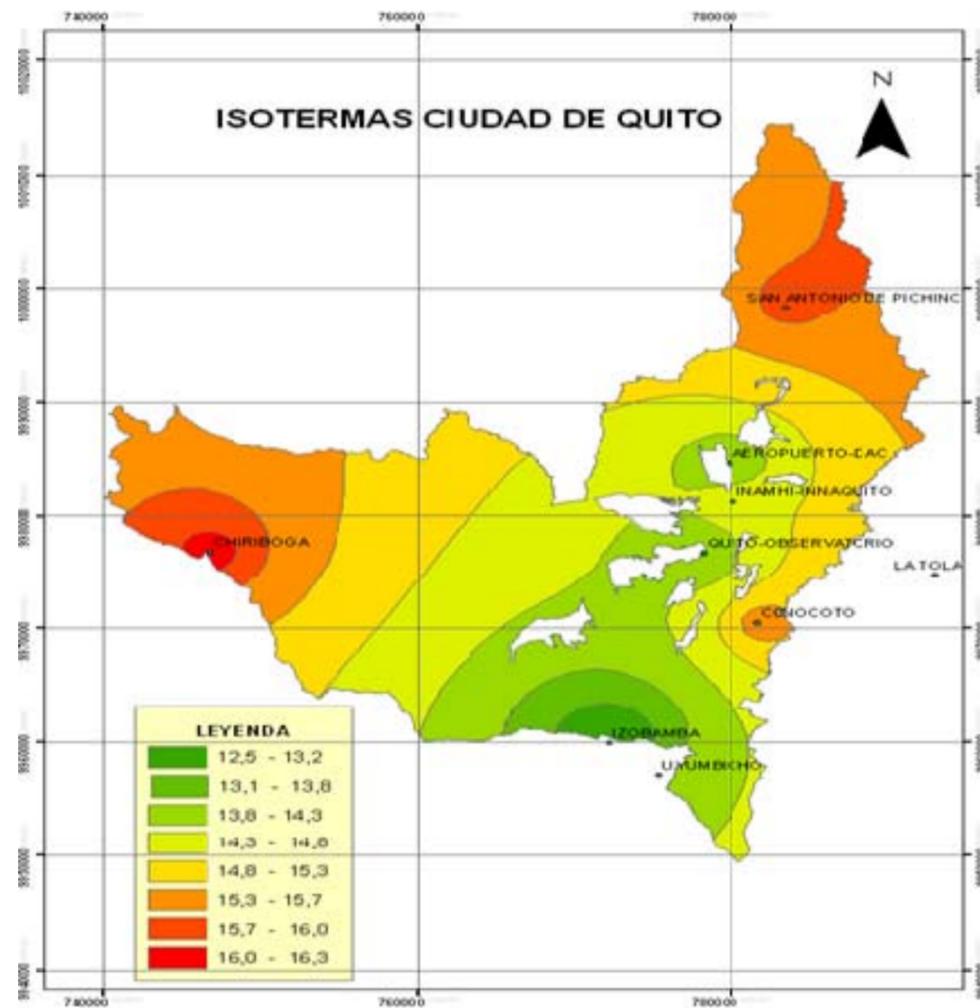
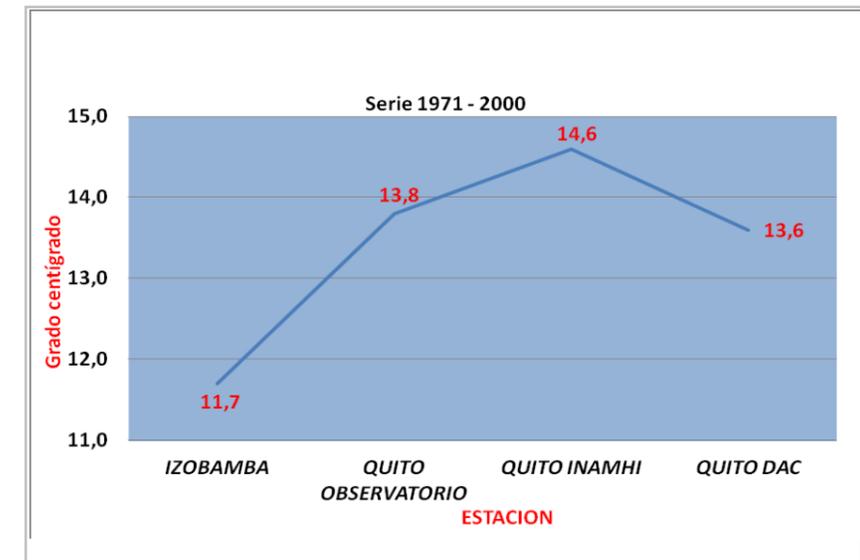


Figura 6.5 Temperatura media multianual DMQ. Años 1971-2000



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

La tendencia de la temperatura media es a incrementarse, notándose mayores valores de cambio o tendencia de incremento en las estaciones que se encuentran ubicadas dentro de la ciudad. Los valores de cambio o de incremento oscilan entre 0,8°C en Izobamba y 1,5°C en Quito Observatorio (Ver Figuras).

Figura 6.6 Temperatura media estación Izobamba. Años 1971-2000

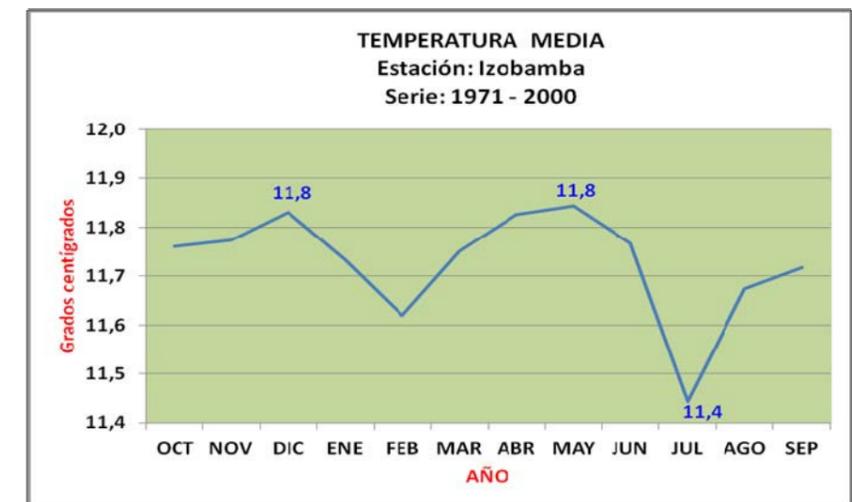




Figura 6.7 Distribución de la temperatura media Estación Quito-Observatorio. Años 1971-2000

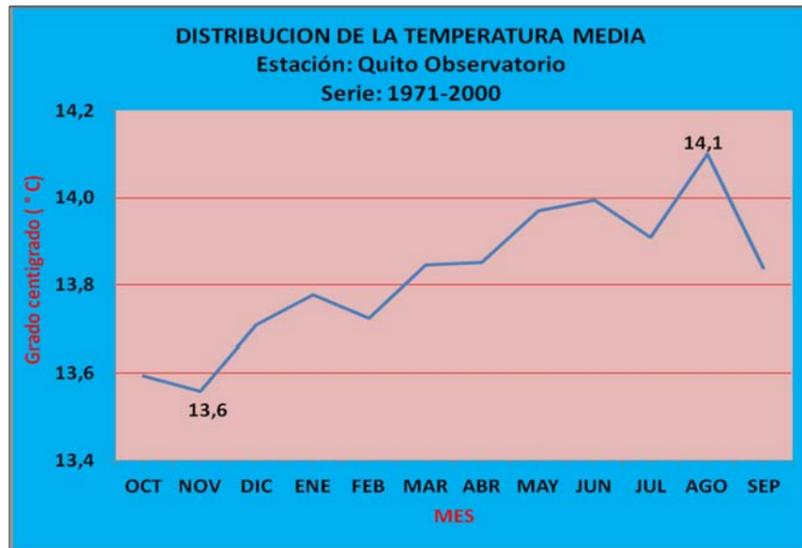


Figura 6.9 Distribución de la temperatura media Estación Quito-Aeropuerto. Años 1971-2000

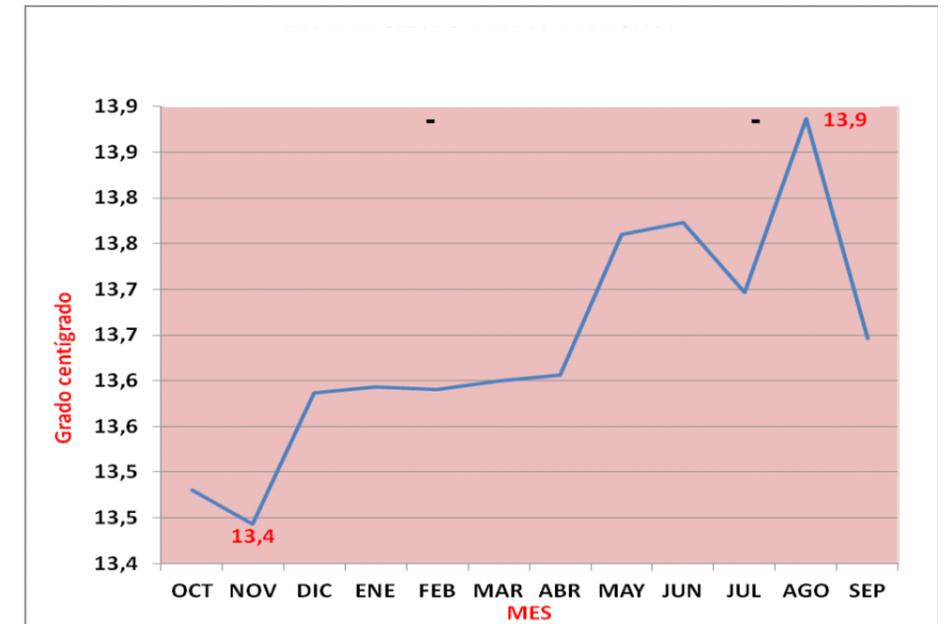


Figura 6.8 Distribución de la temperatura media Estación Quito – INAMHI. Años 1975-2000

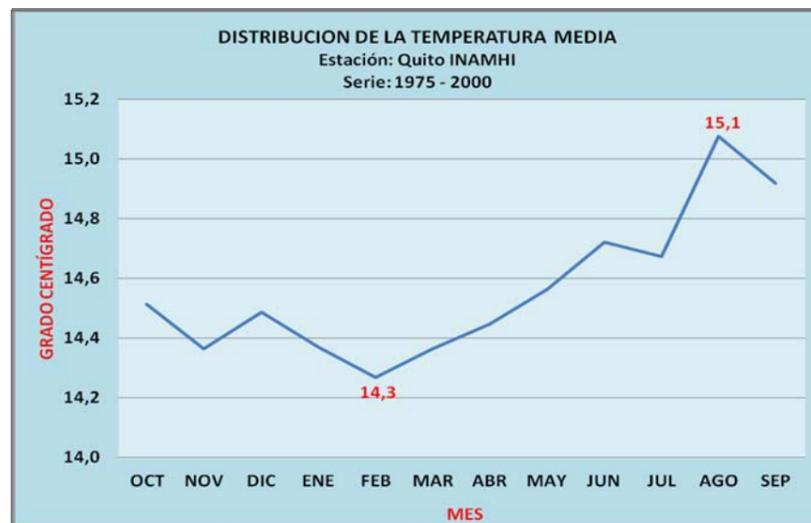


Figura 6.10 Tendencia temperatura media Izoabamba. Años 1962-2010

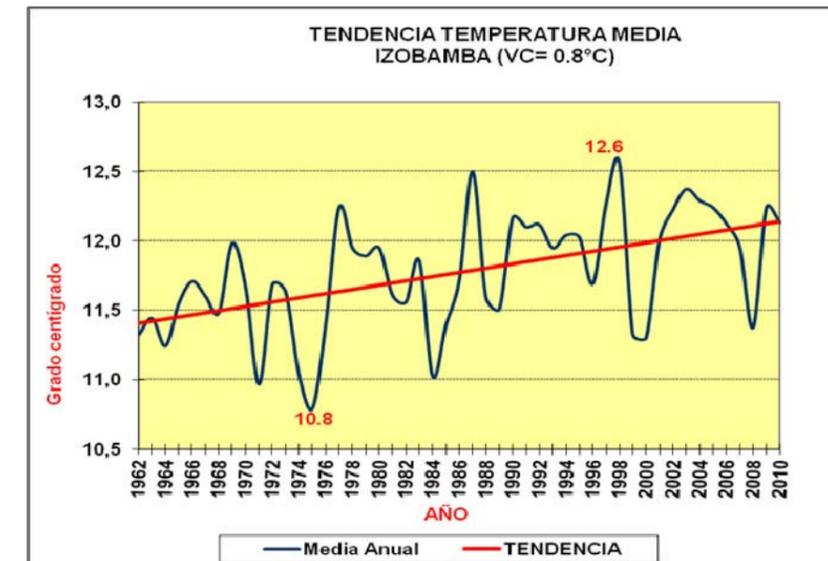


Figura 6.11 Tendencia temperatura media Quito Observatorio. Años 1891 - 1999

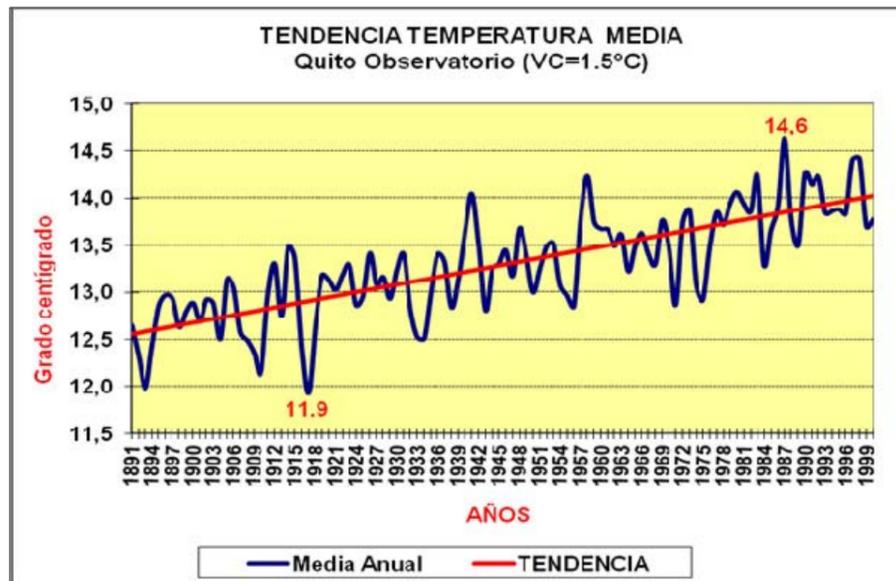


Figura 6.12 Tendencia temperatura media Quito INAMHI. Años 1975-2007

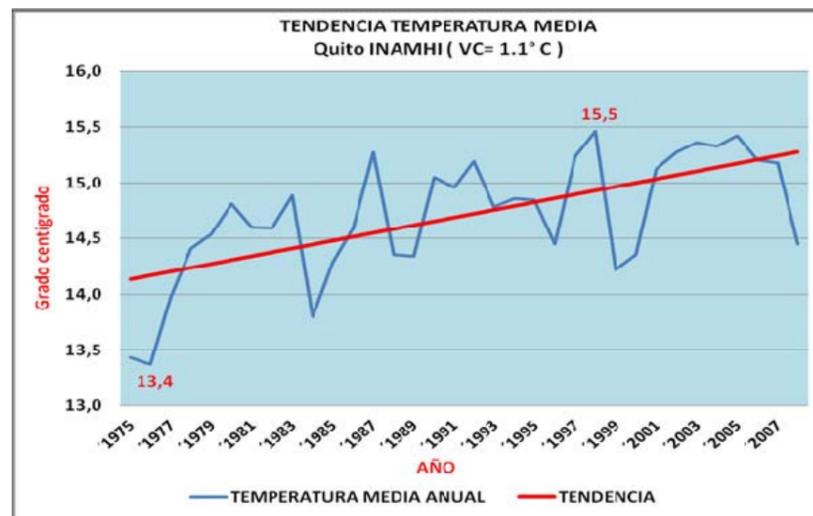
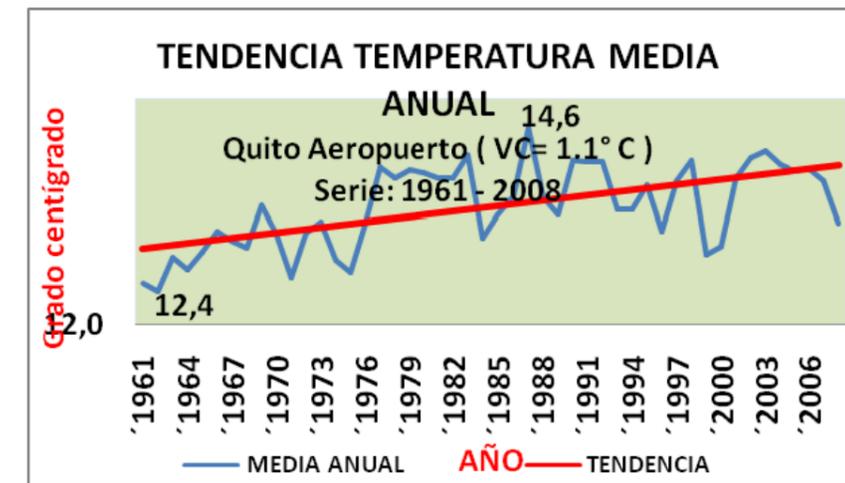


Figura 6.13 Tendencia temperatura media anual Quito Aeropuerto. Años 1961-2007



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

En cuanto a los mayores valores de temperaturas máxima absoluta media se produce entre los meses de agosto y septiembre, en tanto que los menores valores no tienen un mes concreto de ocurrencia. Por lo general, la temperatura máxima absoluta media presenta una variabilidad espacial, produciéndose el valor más bajo al sur de la ciudad.

La tendencia de la temperatura máxima absoluta media es a incrementarse en todo el DMQ, con valores que oscilan entre 0,4°C en Quito Aeropuerto y 1,1°C en la estación Quito Observatorio.

Por su parte, los mayores valores de temperatura mínima absoluta media por lo general se registran en el mes de abril, los mismos que oscilan entre 3,9°C en Izobamba y 10,1°C en Iñaquito; los menores valores se producen entre los meses de julio a septiembre, cuyos valores están entre 1,9°C en Izobamba y 9,2°C en Iñaquito.

La temperatura mínima absoluta media presenta un incremento general en el DMQ, cuyos valores más altos se registran en la parte urbana del Distrito, los mismos que oscilan entre 0,9° C en Izobamba y 3.2° C en Quito Aeropuerto.

Por lo general se nota una tendencia creciente de sur a norte, con valores medios que oscilan entre 2,7°C en la estación de Izobamba y 9,5°C en la estación de Quito INAMHI.

La serie de temperatura media, fue sometida a la aplicación de los test de determinación del carácter aleatorio simple de las series de observaciones o dicho en otras palabras si las observaciones han sido obtenidas de la misma población y que todas son independientes entre sí. El test de correlación serial permite determinar la persistencia a corto plazo (de un término a otro) y el test de Spearman permite determinar la tendencia a largo plazo.

Aplicados ambos test a la serie de temperatura media, se aprecia que los dos tests son consistentes, presentándose tanto una persistencia de la temperatura media tanto a corto plazo como una tendencia creciente a largo plazo.

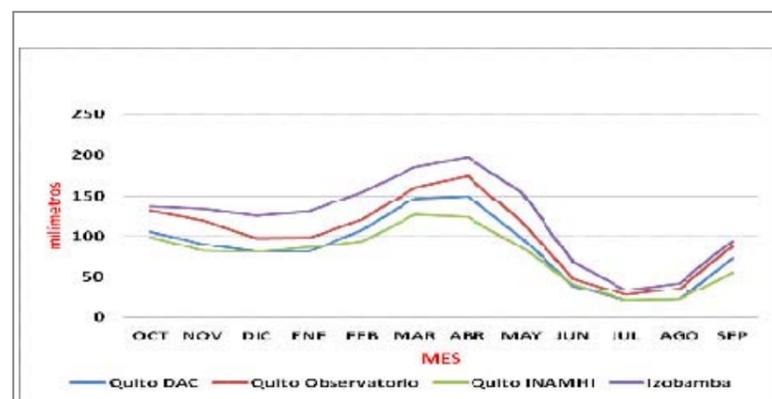
En los últimos años, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se ha visto afectado por inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra que han surgido de la confluencia de la variabilidad climática y el cambio climático. Como se observa en los gráficos, se estima que entre 1891 y 1999 la temperatura media en la parte urbana del DMQ aumentó entre 1,2°C y 1,4°C, mientras que la precipitación presentó una tendencia general al decrecimiento. Los impactos extremos y graduales del cambio climático afectan directa e indirectamente a los ecosistemas frágiles (como los páramos y bosques tropicales), así como a la disponibilidad de agua, la salud humana, la seguridad alimentaria y la generación hidroeléctrica, entre otros.

Asimismo, el Comité Nacional Sobre el Clima del Ministerio de Ambiente ratifica en la Comunicación Nacional de la República del Ecuador Sobre el Cambio Climático que existe una tendencia de aumento de temperatura con el tiempo basado en información de 14 estaciones localizadas en diferentes regiones geográficas. Además, dicha Comunicación indica que la tendencia de la precipitación con el tiempo es bastante irregular.

### Precipitación

Las precipitaciones tienen una distribución espacial muy variable debido tanto a su orografía como a los factores que condicionan las mismas. En general, la estación lluviosa se inicia en el mes de octubre y se prolonga hasta mayo con una distribución bimodal, con dos picos máximos de precipitaciones que se producen en los meses de octubre y abril-marzo, siendo el mes más lluvioso marzo-abril, cuyos valores promedios oscilan entre 169,2 mm (Izobamba) y 126,2 mm (Quito INAMHI), tal como se muestra en la Figura 6.14.

**Figura 6.14 Distribución mensual de la precipitación. Años 1971-2000**



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

La época seca se extiende desde el mes de junio hasta septiembre. El mes más seco es el mes de julio cuando se registran valores en promedio que oscilan entre 20,2 mm (Quito INAMHI) y 27,0 mm (Quito Observatorio).

Los mayores valores, tanto de precipitación mensuales como anuales se producen en la parte sur del distrito y las mismas van decreciendo conforme avanzan hacia el norte, en tanto que en la parte oeste se producen mayores precipitaciones y decrecen hacia el este (ver Figura 6.15).

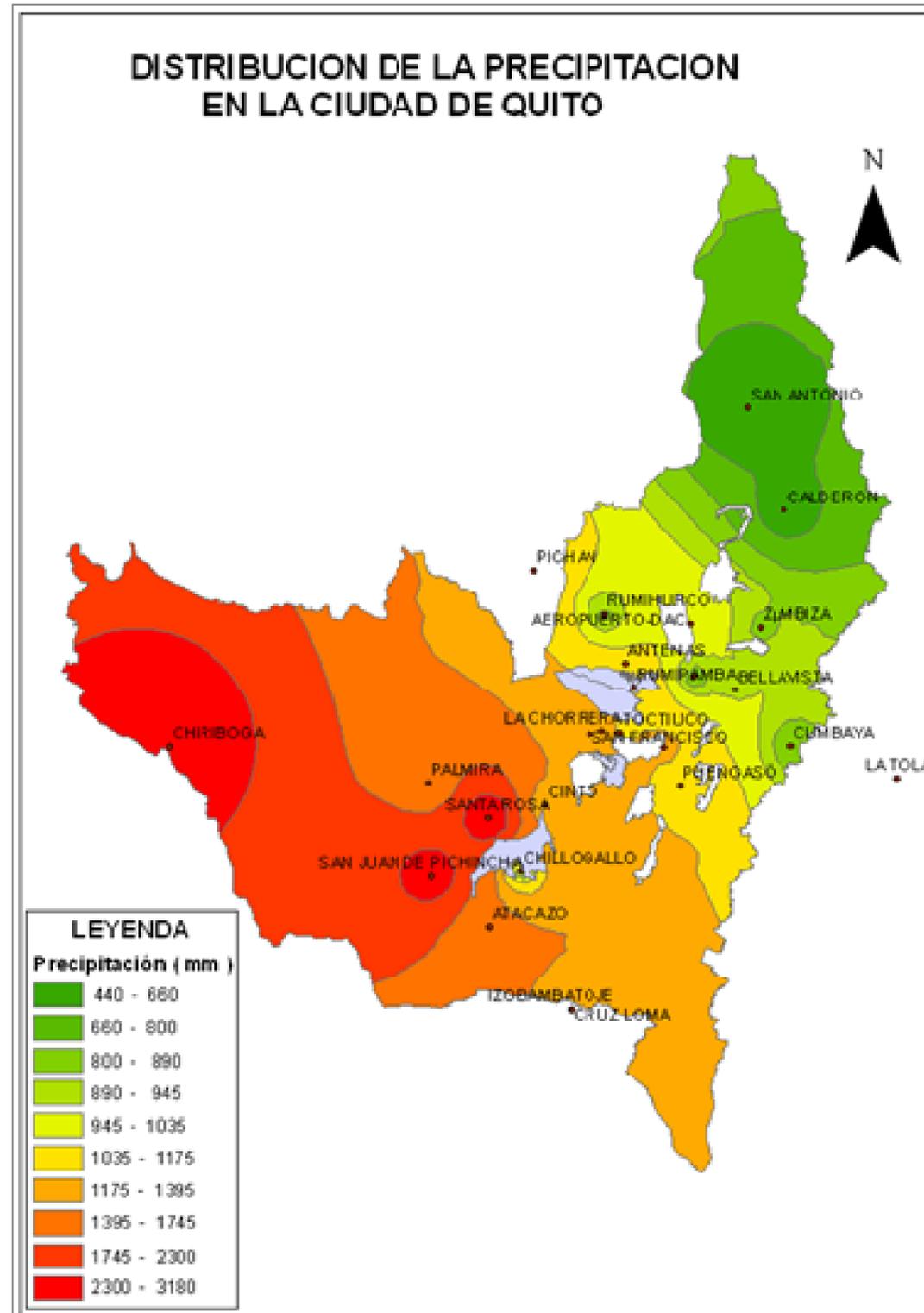
También es importante señalar que las mismas se incrementan en sentido este-oeste, debido al efecto Foehn, ya que las masas de aire cálido-húmedo que avanzan de la Amazonía, al chocar con las mayores elevaciones (La Chorrera, Chiriboga, San Juan de Pichincha) se condensan y producen mayores precipitaciones.

Comparando el resultado de los estudios efectuados por el INAMHI, para las comunicaciones nacionales (primera y segunda) sobre Cambio Climático presentado a las Naciones Unidas, la tendencia que presenta el parámetro de precipitación a través del tiempo es por lo general a disminuir, siendo más notorio en la estación de Quito Observatorio, debido a que el análisis de la tendencia corresponde a una serie más extensa (1891-2008), como se muestra en las Figuras 6.16 a 6.19.

Las series tanto de precipitación como temperatura media fueron sometidas a la aplicación de los test de determinación del carácter aleatorio simple de las series de observaciones o dicho en otras palabras si las observaciones han sido obtenidas de la misma población y que todas son independientes entre sí, los cuales

Figura 6.15 Distribución espacial de la precipitación en Quito

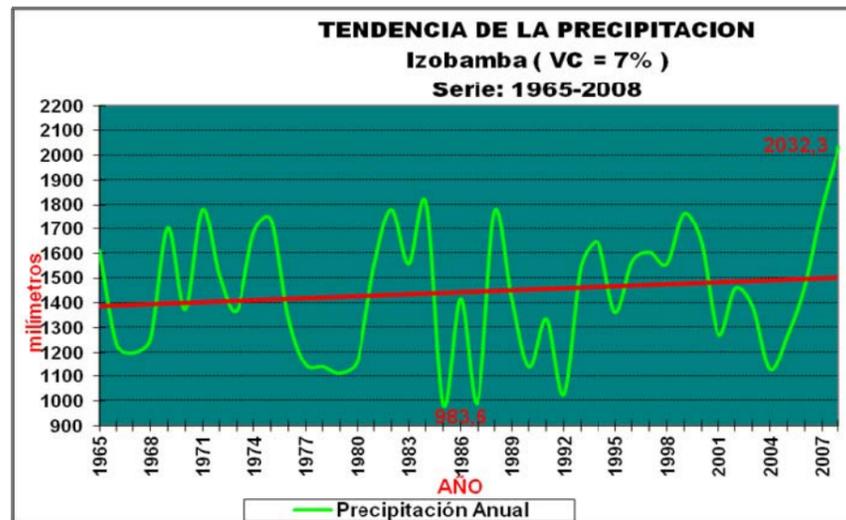
Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012



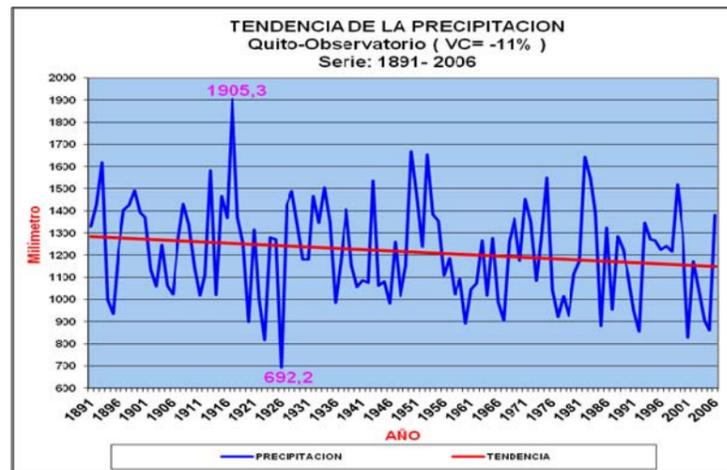
fueron el test de *Correlación serial* que permite determinar la persistencia a corto plazo (de un término a otro) y el test de *Spearman* que permite determinar la tendencia a largo plazo.

Aplicado ambos test a las series de precipitación y temperatura media, se obtuvieron los siguientes resultados:

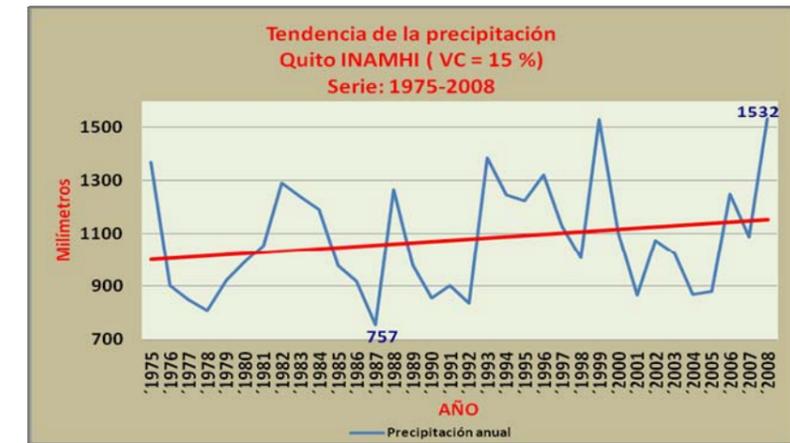
**Figura 6.16 Tendencia de la precipitación Estación Izobamba. Años 1965-2008**



**Figura 6.17 Tendencia de la precipitación Estación quito-Observatorio. Años 1891-2006**



**Figura 6.18 Tendencia de la precipitación Estación Quito-INAMHI. Años 1975-2008**



**Figura 6.19 Tendencia de la precipitación Estación Izobamba. Años 1965-2006**



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

En lo que se refiere a la determinación de la persistencia de la precipitación a corto plazo, solamente la estación de Quito Aeropuerto no la presenta. En lo referente a la tendencia a largo plazo no existe en ninguna de las estaciones consideradas, lo que permite concluir lo que en realidad se viene presentando, sobre todo en los últimos años, las precipitaciones intensas se van incrementando y sus valores inducen a pensar que son precipitaciones que no pertenecen a la misma población (a corto plazo), y éstas no son claras aún a largo plazo.

Según datos de la estación Izobamba, la temporada de mayor precipitación se inicia en el mes de octubre hasta abril, siendo el mes de noviembre el de mayor precipitación con 326,2 mm y julio el de menor precipitación con 62,6 mm.

En el área de estudio, en la estación meteorológica de Iñaquito se reporta que la temporada de mayor precipitación se inicia en el mes de octubre hasta mayo, siendo el mes de mayor precipitación con 177,1 mm y en agosto se registra la menor precipitación (15,1 mm), tal como se aprecia en la Figura 6.19

**Figura 6.20 Precipitación promedio mensual**



Fuente: Elaboración propia, 2011

De otra parte, la intensidad de la lluvia influye notoriamente en el uso del suelo. Las lluvias de gran intensidad y de corta duración pueden ocasionar importantes daños, degradación de la estructura del suelo, erosión, inundaciones, daños en cultivos, etc.

El estudio de las precipitaciones máximas es necesario en múltiples aplicaciones. Así, en hidrología para la estimación de avenidas es necesario conocer el valor de la máxima precipitación probable registrada para un determinado período de retorno. El período de retorno o de recurrencia (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez (Elías y Ruiz, 1979).

Tanto para el estudio de la erosión, como para el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos e hidráulicas, es necesario el estudio de las precipitaciones máximas. El período de retorno será mayor cuanto mayor sea la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Así, la necesidad de disponer de amplios períodos de retorno contrasta con la disponibilidad de series de datos climatológicos, por lo que se debe recurrir a estimaciones estadísticas.

Las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio se encuentran distribuidas de norte a sur en el área de influencia, cuyos periodos de información varían de acuerdo a la instalación de la estación en el tiempo, siendo la estación con mayor cantidad de información Quito Observatorio M054, pero no se cuenta con este tipo de información, seguido por la estación Quito Aeropuerto con 51 años de observación, como las más antiguas. En la Tabla 6.5 se indican las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

**Tabla 6.5 Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio**

Nº	Código	Estación	Registro de precipitación	Nº años	Coordenadas		Elevación msnm
					E	N	
1	M003	Izobamba	1964-2010	43	772361.5973	9959896.0400	3.058
2	M024	Iñaquito-INAMHI	1975-2010	36	780131.4716	9981253.0940	2.789
3	M055	Quito Aeropuerto	1958-2008	51	779946.2204	9984510.7731	2.794
4	M335	La Chorrera	1982-2010	28	774376.196	9976889.97	3.165

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Para el análisis de eventos de lluvias máximas diarias (24 horas) se utilizaron todas las series históricas de cada una de las estaciones, obteniéndose los máximos de todos los años mes a mes, dichos valores se observan en la Tabla 6.6.

**Tabla 6.6 Precipitaciones máximas en 24 horas absolutas registradas en las estaciones de la zona de estudio**

Estación	Altitud	Precipitación máxima diaria absoluta observada - mm											
		En	Fe.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Izobamba	3.058	50,3	71	84,5	47,8	66,8	35,8	44	35,1	38,8	47	54,7	71,4
Iñaquito-INAMHI	2.789	40,4	60,3	44,4	60,2	54	56,8	37,1	71,6	55,1	61,6	44,6	52,9
Quito-Aeropuerto	2.794	45,1	60,8	76,2	59,0	61,8	46,1	26,4	29,4	45,6	65,5	51,6	60,9
La Chorrera	3.165	53	67,5	60,1	78	90,2	90,3	25,5	60	32	94	140	50

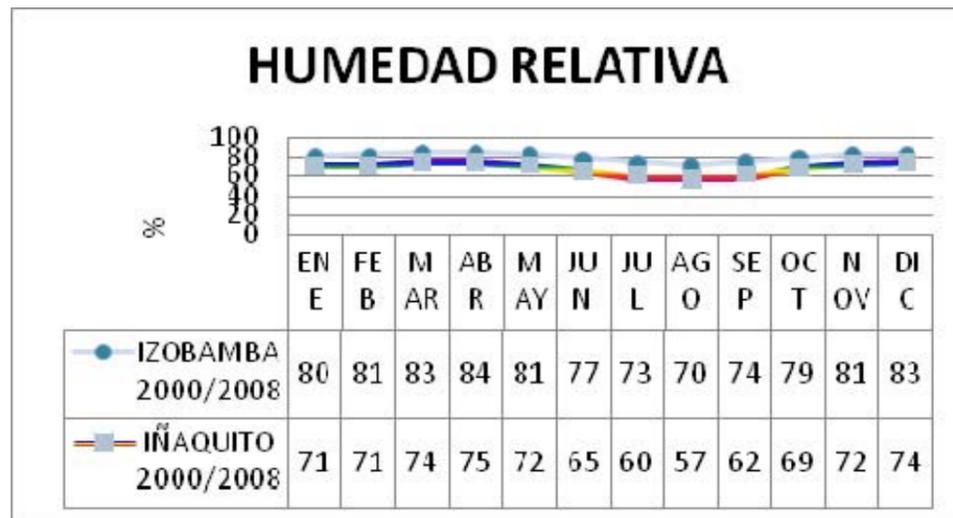
Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

### Humedad relativa

Según la estación meteorológica de Izobamba, la zona se caracteriza por un alto grado de humedad relativa y aún en épocas de estiaje la humedad sigue siendo alta, mientras que en la estación meteorológica de Iñaquito, a pesar de tener una humedad relativa alta es más baja, como puede verse en la Figura 6.21.



**Figura 6.21 Humedad relativa promedio mensual**

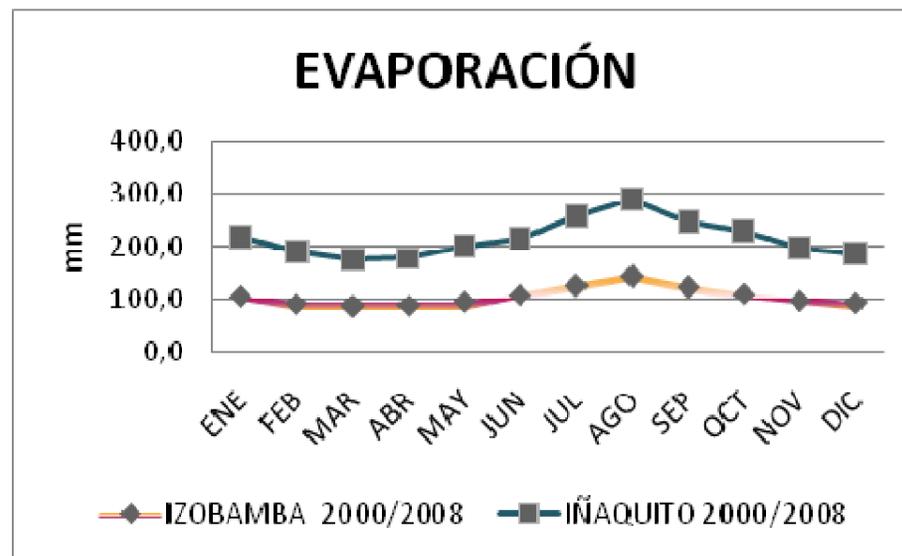


Fuente: Elaboración propia, 2011

**Evaporación**

La evaporación de la estación meteorológica de Izobamba en relación a la evaporación de la estación meteorológica de Iñaquito es baja, como se observa en la Figura 6.22

**Figura 6.22 Evaporación promedio mensual**

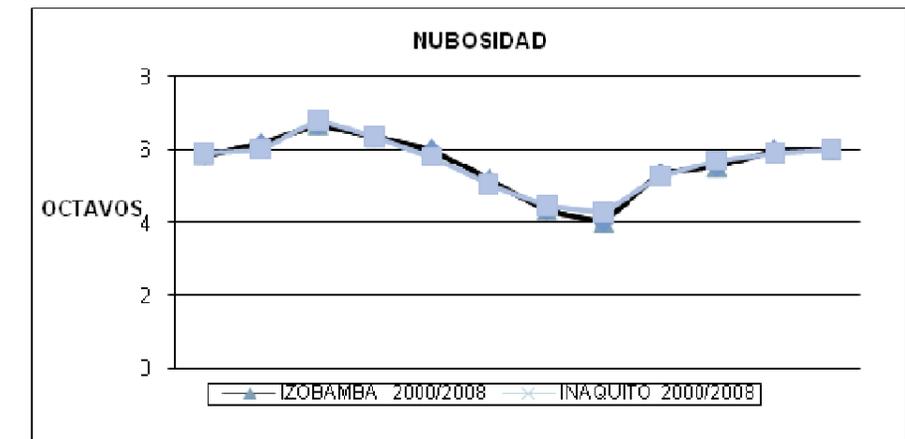


Fuente: Elaboración propia, 2011

**Nubosidad**

Comparando la nubosidad de la estación meteorológica de Izobamba con la de Iñaquito, se observa la misma tendencia durante el periodo de estudio (ver Figura 6.23).

**Figura 6.23 Nubosidad promedio mensual**

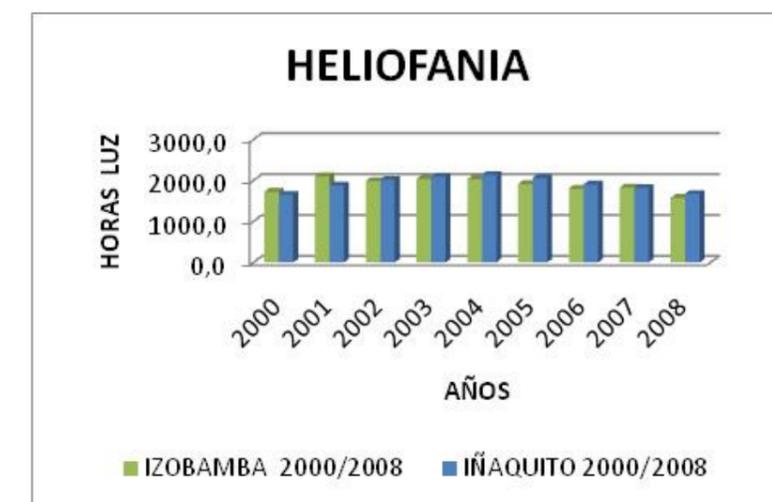


Fuente: Elaboración propia, 2011

**Heliofanía**

Las horas luz tanto para la estación meteorológica de Izobamba como la de Iñaquito son similares.

**Figura 6.24 Nubosidad promedio mensual**



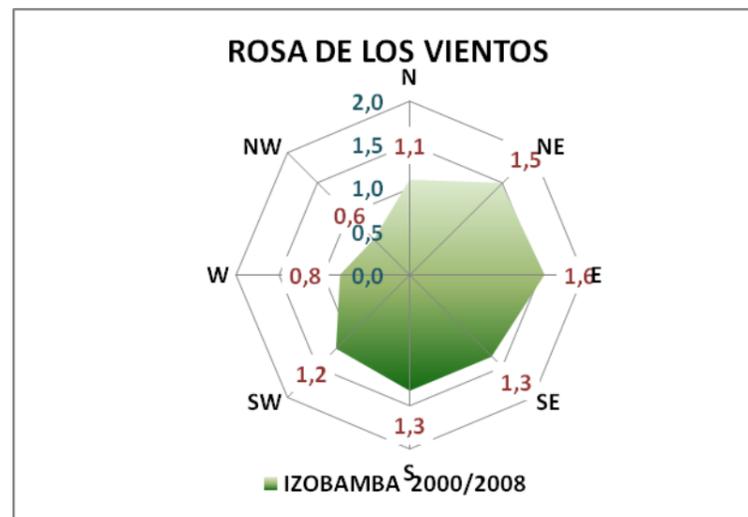
Fuente: Elaboración propia, 2011



### Vientos

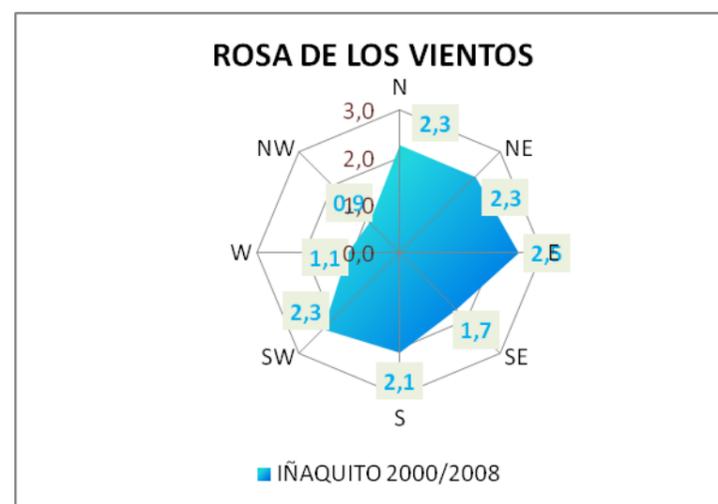
Para la mayor parte del periodo en estudio, los vientos dominantes soplan desde el norte con 1,1 m/s, noreste con una velocidad de 1,5 m/s, este con una velocidad de 1,6 m/s, sureste y sur con 1,3 m/s y hasta al suroeste 1,2 m/s, mientras que los vientos pocos dominantes provienen del oeste con 0,8 m/s hasta el noroeste con una velocidad de 0,6 m/s (ver Figura 6.25), mientras que en la estación meteorológica de Iñaquito los vientos son superiores (ver Figura 6.26)

Figura 6.25 Rosa de los vientos de Izobamba



Fuente: Elaboración propia, 2011

Figura 6.26 Rosa de los vientos de Iñaquito



Fuente: Elaboración propia, 2011

### Clasificación climática de Pichincha

La ciudad de Quito se ubica en un valle interandino, con una altitud que oscila entre los 2.850 msnm en los lugares llanos y los 3.100 msnm en los barrios más elevados. Está limitada por algunas estribaciones de la Cordillera de los Andes, al este por las lomas de Puengasí, Guanguiltagua e Itchimbia; así como también, la principal cadena montañosa perteneciente al volcán Pichincha, que encierra la urbe al oeste con sus tres diferentes elevaciones: Guagua Pichincha (4.794 msnm), Rucu Pichincha (4.698 msnm) y Cóndor Guachana.

Según la clasificación propuesta por Pourrut (1994), el clima de Quito corresponde al tipo Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo a húmedo y en sus partes más altas sería Ecuatorial Frío de alta montaña (Tabla 6.7).

Tabla 6.7 Tipos de clima en Quito

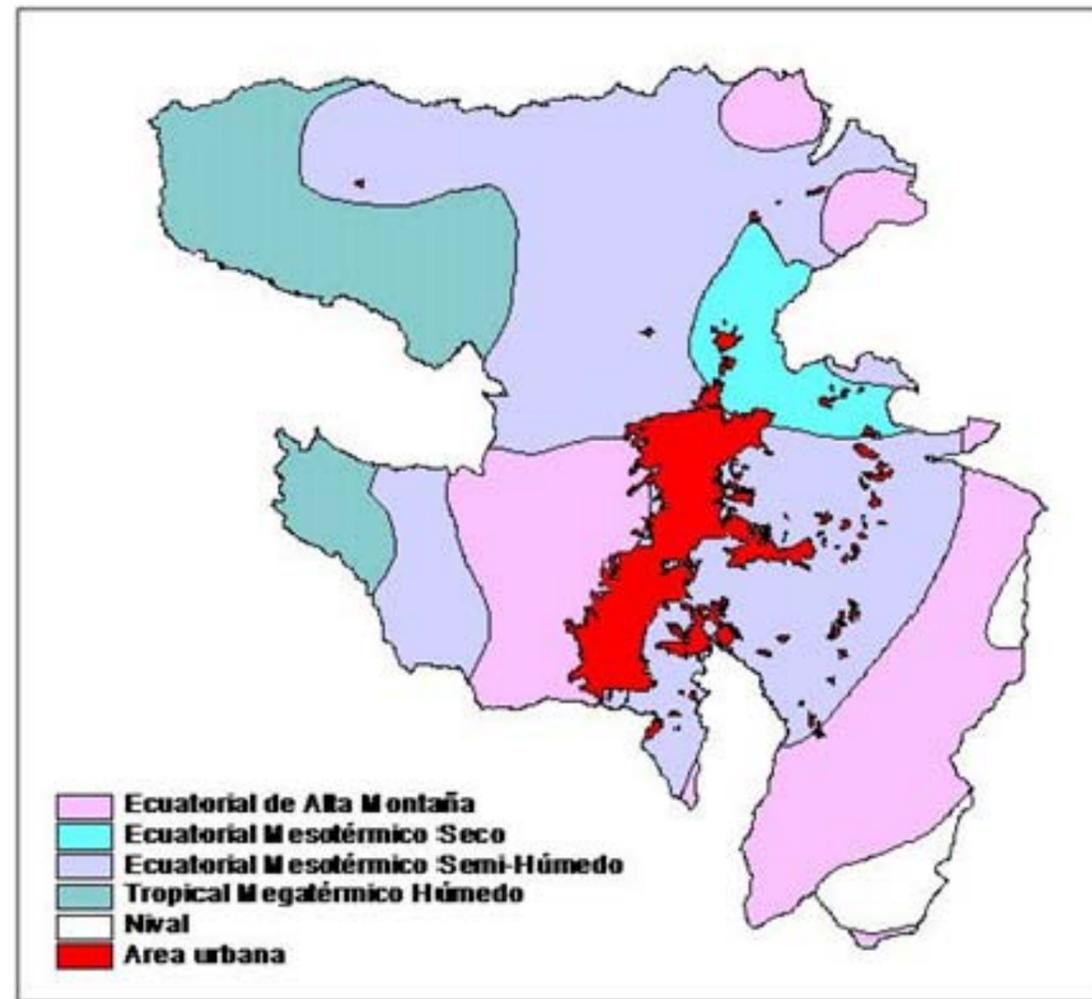
TIPOS DE CLIMA	ÁREA (ha)	%
Ecuatorial Frío de alta montaña	107.985	25,52
Ecuatorial Mesotérmico seco	22.086	5,22
Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo	215.079	50,83
Tropical Megatérmico húmedo	65.983	15,59
Nival	12.015	2,84
<b>Total</b>	<b>423.149</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Dinaren, 2002

1. Tropical Megatérmico (>2.000 mm de precipitación)
2. Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo (600-2.000 mm de precipitación)
3. Ecuatorial Mesotérmico seco (<750 mm de precipitación)
4. Ecuatorial de alta montaña (750-2.000 mm de precipitación)

Existe un predominio del clima Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo. La parte montañosa hacia el occidente de la ciudad corresponde al clima Ecuatorial de alta montaña y hacia el nororiente existe una pequeña área con clima Ecuatorial Mesotérmico seco (ver Figura 6.27).

Figura 6.27 Tipos de clima en Quito



Fuente: Dinaren, 2002

**Índices climáticos**

El INAMHI, mediante el software FCLIMDEX, obtuvo índices climáticos, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

Para Quito, se puede apreciar el incremento de días muy húmedos y extremadamente húmedos, lo que hace referencia que para la región de análisis (Quito) simultáneamente el número de días secos consecutivos se incrementa, y a la vez esto ocurre con las lluvias extremas. Esto puede apuntar a conclusiones como las que se aprecian en general en otras partes del planeta, en la que se tiende a una disminución del número de días con precipitación, pero que cuando éstas ocurren, lo hacen en mayor cantidad (Figuras 6.28 a 6.30), mientras que de acuerdo a las Figuras 6.31 y 6.32 se aprecia un incremento de los días y noches cálidas.

Figura 6.28 Tendencias días secos consecutivos

**Tendencias: Días Secos Consecutivos**

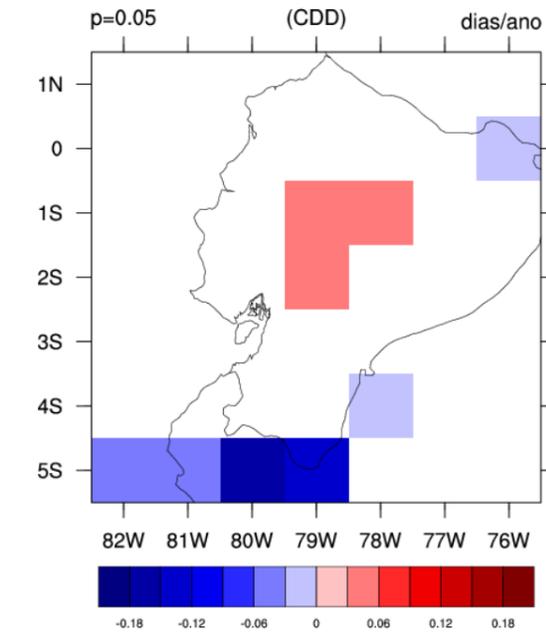


Figura 6.29 Tendencias días muy húmedos

**Tendencias: Días Muy Húmedos**

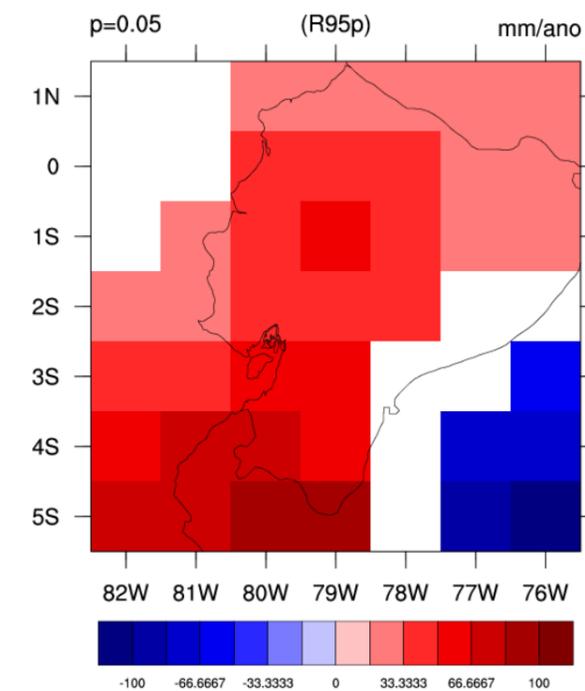


Figura 6.30 Tendencias días extremadamente húmedos

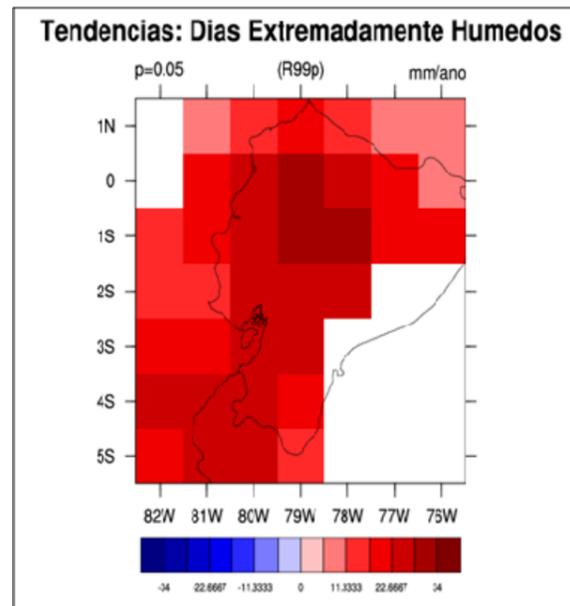


Figura 6.31 Tendencias días cálidos

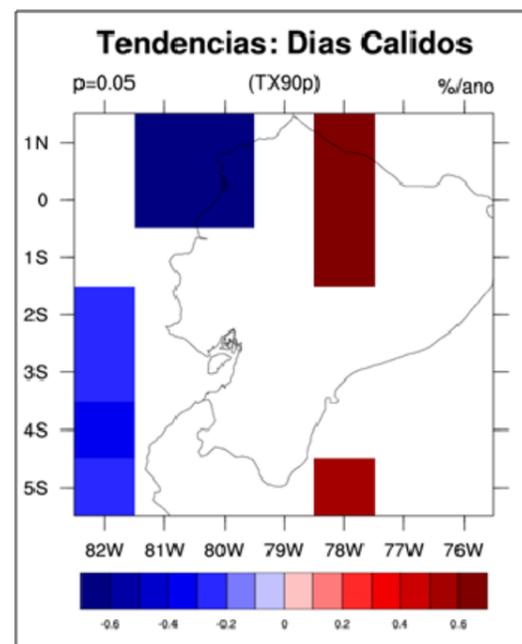
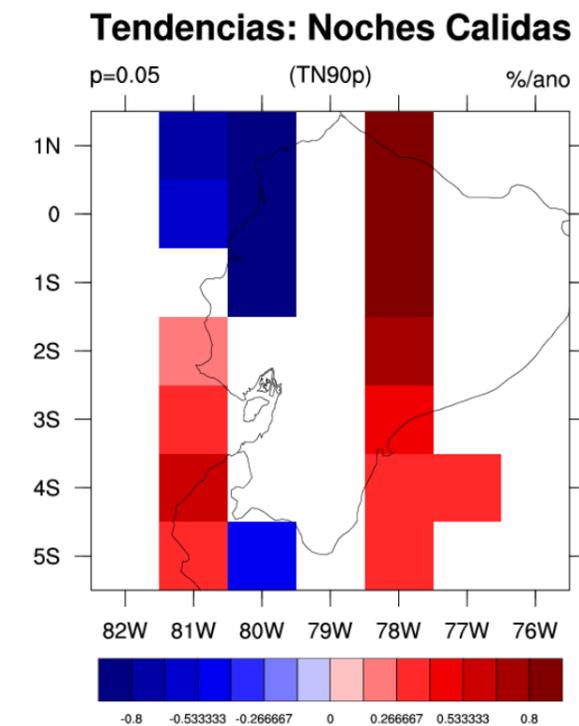


Figura 6.32 Tendencias noches cálidas



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

### Conclusiones

Las precipitaciones en la ciudad de Quito presentan una distribución bimodal, con dos máximos valores en los meses de octubre y marzo – abril, por lo que durante estos meses se deben tomar precauciones si se emprende en la construcción de obras.

En los últimos años, las precipitaciones intensas se van incrementando y sus valores inducen a pensar que son precipitaciones que no pertenecen a la misma población (a corto plazo), y éstas no son claras aún a largo plazo.

Las precipitaciones de la estación Izobamba que se encuentra ubicada en la zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) hay mayor precipitación que en la estación de INAQUITO, estación que se encuentra en la parte Centro Norte de DMQ.

La época lluviosa se inicia en el mes de octubre y finaliza el mes de mayo, siendo los meses más lluviosos marzo-abril, cuyos valores promedios oscilan entre 169.2 mm. (Izobamba) y 126.2 mm. (Quito INAMHI).

La época seca se extiende desde el mes de junio hasta septiembre. El mes más seco es el mes de julio en donde se registran valores en promedio que oscilan entre 20.2 mm. (Quito INAMHI) y 27.0 mm (Quito Observatorio)



Los valores de precipitaciones disminuyen de sur a norte y de oeste a este.

Los datos de precipitación presentan persistencia a corto plazo mediante la aplicación del test estadístico de correlación serial, resultado congruente con el incremento de la intensidad de las precipitaciones. A largo plazo no presentan tendencia.

Por su parte la temperatura media registra los mayores valores en el mes de agosto, en tanto que los menores valores no tienen un mes concreto de ocurrencia.

Al contrario que la precipitación, la temperatura media aumenta de sur a norte y de oeste a este.

Las mayores temperaturas se registran en el mes de septiembre y los mínimos entre los meses de julio a septiembre.

La temperatura presenta tanto persistencia a corto plazo, como tendencia a largo plazo, resultados que corroboran que se está experimentando un incremento permanente de la temperatura.

Los índices climáticos obtenidos señalan un incremento de días y noches cálidas, así como la presencia de mayor número de días muy húmedos, lo que denota menor número de días con lluvias, pero incremento de número de días con mayores intensidades.

Comparando la nubosidad de la estación meteorológica de Izobamba con la de Iñaquito, se observa la misma tendencia durante el periodo de estudio,

El comportamiento de la dirección del viento en el Distrito Metropolitano de Quito tanto para las estaciones de Izobamba e Iñaquito es similar, iniciando su dirección desde el Norte hacia al Sur.

La evaporación de la estación meteorológica de Izobamba es lenta en relación a la evaporación de la estación meteorológica de Iñaquito.

### 6.2.2 Calidad del aire

Como parte de la caracterización del área de estudio, del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Metro de Quito Línea 1, se ha realizado una evaluación ambiental que corresponde a la descripción de la situación actual de calidad de aire ambiente de la zona del proyecto.

El monitoreo de calidad aire ambiente fue realizado desde el 12 de abril de 2012 y finalizó el 17 de abril de 2012, cumpliendo las 24 horas, 8 horas y 1 hora de monitoreo para los parámetros a ser evaluados, según la exigencia de la Normativa Ambiental Local, incluyendo la medición de la concentración de contaminantes en diferentes puntos del área de influencia del proyecto y su comparación con los límites establecidos para Calidad de Aire Ambiente del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

El análisis efectuado se enmarca en lineamientos y políticas establecidas por la Empresa Consultora encargada de la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, procedimientos técnicos internos del Laboratorio de Aire-Emisión, metodologías validadas por organismos internacionales (EPA) y en sistemáticas especificadas en la legislación ambiental nacional (TULSMA).

### 6.2.3 Monitoreo de calidad de aire ambiente

El informe técnico que se presenta, corresponde a la evaluación de la Calidad del Aire, que se realizó en el área de influencia del proyecto del Estudio de Impacto Ambiental PROYECTO METRO DE QUITO LÍNEA 1.

En el presente reporte se incluyen los datos de campo, los resultados, la explicación de los cálculos y las recomendaciones pertinentes; se adjuntan los certificados de calibración actualizados del equipo electrónico con el que se efectuó el trabajo.

Las especificaciones del trabajo de Análisis y Caracterización de los datos registrados en la evaluación de la calidad del aire, se describen en la Tabla 6.8.

### Marco Legal

- Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental<sup>1</sup> - TULSMA: Libro VI, Anexo 4.I; Norma para Calidad de Aire Ambiente
- Título IV Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental D.E. 3399 R.O. 725, Diciembre 16, 2002 y D.E. 3516 R.O. Edición Especial No 2 del 31 de Marzo 2003.

### Objetivos

- Evaluar la Calidad del Aire en el área de influencia, bajo las condiciones actuales en que se encuentra el área de estudio.
- Caracterización de los valores de concentración de contaminantes en los puntos de monitoreo establecidos, en un período total de una hora en el punto identificado.

### Descripción del trabajo de monitoreo

Las especificaciones del trabajo de Monitoreo Ambiental realizado, se describen en la Tabla 6.8.

<sup>1</sup> TULAS; Libro VI Anexo 4.

**Tabla 6.8 Metodología aplicada**

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	LIMITE DE DETECCIÓN
SO <sub>2</sub>	Fluorescencia	0,001 ppm
NO <sub>x</sub>	Quimiluminiscencia	0,0001 ppm
CO	Infrarrojo No Dispersivo	0,01 ppm
Ozono O <sub>3</sub>	Absorción Ultravioleta	0,0001 ppm
Material Particulado PM <sub>10</sub>	Beta Atenuación	0,1 ug
Material Particulado PM 2,5	Beta Atenuación	0,1 ug

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

**Descripción de las áreas de monitoreo**

La ubicación de los puntos de monitoreo se detallan en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9 Coordenadas punto calidad de aire – Sistema Geográfico UTM - wgs84**

TIPO DE MONITOREO	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS		ALTITUD
		ESTE	NORTE	m.s.n.m.
Calidad de aire ambiente	P1.- Liga Barrial Solanda	774278	9970631	2.845
Calidad de aire ambiente	P2.- Estacionamiento CCI	780061	9980455	2.790
Calidad de aire ambiente	P3.- Plaza de San Francisco	776563	9975556	2.840

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

**Metodología**

Las mediciones se las realizó bajo condiciones de actividad normal en las zonas de evaluación, **Proyecto Metro De Quito Línea 1.**

Para el monitoreo se utilizó equipo *electrónico de análisis*, basado en principios de determinación a través de metodologías aprobadas y validadas por la EPA<sup>2</sup> y aprobadas por TULSMA<sup>3</sup>, para la detección de Temperatura, Humedad Relativa, Punto de Rocío, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Material Particulado PM<sub>10</sub>, Material Particulado PM<sub>2,5</sub>, Material Particulado Sedimento. Los procedimientos de monitoreo se basaron en metodologías nacionales e internacionales<sup>4</sup> y en las especificadas dadas por los fabricantes de los equipos utilizados.

En la Tabla 6.10 se indican los Métodos de Medición aplicados para el monitoreo y evaluación de Calidad de Aire y sus métodos de referencia.

**Tabla 6.10 Características de los equipos e instrumentos de medición**

EQUIPO	PARÁMETRO	MÉTODO ANÁLISIS	LIMITE DE DETECCIÓN
 Horiba APOA 370	Ozono O <sub>3</sub>	Absorción Ultravioleta	0,0001 ppm
 E-BAM Mass Monitor Met One Instruments	Material Particulado PM <sub>10</sub>	Beta Atenuación	0,1 ug
	Material Particulado PM 2,5		0,1 ug
 Horiba APSA 370	SO <sub>2</sub>	Fluorescencia	0,001 ppm
 Horiba APMA 370	CO	Absorción de Energía Infrarroja	0,01 ppm

<sup>2</sup> EPA, Environmental Protection Agency (USA).<sup>3</sup> TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria.<sup>4</sup> Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental, Libro VI, Anexo #4 y metodologías EPA CFR 40 Parte 50 - 60.



EQUIPO	PARÁMETRO	MÉTODO ANÁLISIS	LÍMITE DETECCIÓN
 Horiba APNA 370	NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>X</sub>	Quimiluminiscencia	0,0001 ppm

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

Se realizó la toma de las muestras de la concentración de los gases contaminantes, sujetos de control, en cada uno de los puntos determinados para el monitoreo de Calidad de Aire, esto incluyó: óxido de carbono, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y sedimentables), dióxido de carbono, temperatura ambiente y ozono.

#### Resultados de la evaluación de la calidad del aire

En las tablas de resultados que se presentan, se indican los valores promedios de los parámetros medidos durante la evaluación ambiental de la Calidad del Aire, y su respectivo valor transformado a las unidades correspondientes que la norma específica<sup>5</sup> y con la que se está comparando la concentración de contaminantes máxima permitida.

Los cálculos realizados sobre los resultados obtenidos en campo para cada contaminante, se efectúan con el promedio de los datos medidos en los monitoreos de campo.

#### Resultados de la calidad del aire obtenida en el área de influencia bajo condiciones normales.

#### RESULTADOS PROMEDIO

#### Determinación de Puntos

Los puntos de monitoreo determinados a lo largo del trayecto del proyecto Metro de Quito línea 1 son:

- Tres puntos ubicados en el Sur, Norte y Centro de la Ciudad

#### Control de Calidad

El control de calidad de los resultados obtenidos se realizará aplicando lo que se señala dentro del Procedimiento AFHPE15 en su punto 11.- Control de Calidad.

Procedimiento de Medición del Laboratorio, entre las actividades contempladas, están:

- **Calibración de los equipos de monitoreo.**- Semestralmente se realiza su calibración en las instalaciones del laboratorio.
- **Encerado de Equipos.**- Antes de empezar el monitoreo en cada punto se enceran los equipos utilizando un Generador de Aire Cero Environics 7000.
- **Respaldo de datos.**-Codificación adecuada de datos descargados de los equipos para permitir una rápida y correcta identificación de los archivos, así como el respaldo tanto en la computadora portátil, como en una memoria externa.
- **Personal Técnico Calificado.**- Para el manejo e instalación de equipos se tiene el personal calificado por el laboratorio para la realización del monitoreo.
- **Chequeo de equipos.**- Se realiza un chequeo de equipos antes de salir del laboratorio, así como un chequeo constante durante la realización del monitoreo de 24 horas para identificar posibles señales de alarma de los equipos y tomar las acciones correctivas que apliquen.

#### Normativa

La Normativa aplicada en Calidad de Aire para el Monitoreo, está referenciada al Acuerdo Ministerial 050 del 07 de Junio de 2011, Tabla 6.11.

<sup>5</sup>TULAS: Libro VI, Anexo 4, Parte 4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente



Tabla 6.11 Límites máximos permisibles

CONTAMINANTE	LEGISLACIÓN
PM10	El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder 100 µg/m <sup>3</sup> .
PM 2,5	El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder 50 µg/m <sup>3</sup> .
NO2	La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder 200 µg/m <sup>3</sup> .
SO2	La concentración SO2 en 24 horas no deberá exceder 125 µg/m <sup>3</sup> .
CO	La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder 10 .000 µg/m <sup>3</sup> .
O3	La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un período de (8) ocho horas, no deberá exceder de 100 µg/m <sup>3</sup> ,

Fuente: Acuerdo Ministerial 050 MAE, junio 2011

Elaboración: AFH Services., abril 2012

## Resultados

### Datos de Campo

Tabla 6.12 Datos de Campo

#### P1 – Liga barrial Solanda – Ajaví entre Estandoque y J. María Alemán

Lugar	LIGA BARRIAL SOLANDA, Ajaví entre Estandoque y J. María Alemán		
Fecha inicio:	12 de Abril de 2012	Hora inicial	11:00:00 horas
Fecha Final:	13 de Abril de 2012	Hora final	11:00:00 horas
Área de monitoreo:	P1.- Tras Arco Norte . Sector Calle Ajaví	Presión Atmosférica	520 mm Hg

CO		NO		NO2		SO2		Ozono		PM10	PM2,5	TSP	Temp.	Hora
ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	ug/m3	ug/m3	ug/m3	mg/cm2 X 30 d	°C	hh:mm
0.60	686.75					0.004	10.32	0.0000	0.00	25	5		16.2	12:00
0.60	686.75					0.004	9.77	0.0034	6.67	3	38		17.4	13:00
1.14	1304.82	0.0478	58.58	0.0307	57.76	0.003	7.99	0.0040	7.85	23	35		17.3	14:00
1.19	1362.05					0.003	8.10	0.0019	3.73	15	28		17.7	15:00
0.59	675.30					0.002	6.02	0.0026	5.10	6	13		16.4	16:00
0.63	721.08					0.002	5.62	0.0021	4.12	8	15		14.5	17:00
1.54	1762.65					0.002	4.11	0.0006	1.18	13	26		15.2	18:00
0.48	549.40					0.002	5.50	0.0005	0.98	17	14		13.8	19:00
						0.002	4.71			3	13		12.9	20:00
						0.003	7.43			17	14		12.1	21:00
						0.002	5.16			8	15		12.4	22:00
						0.001	3.56			15	24		12.1	23:00
						0.002	4.00			19	14		11.6	0:00
						0.001	2.62			14	13		11.2	1:00
						0.001	2.98			4	12		10.7	2:00
						0.001	2.23			15	11		9.9	3:00
						0.001	1.57			17	23		9.5	4:00
						0.000	1.24			11	12		9.7	5:00
						0.001	1.71			30	27		10.0	6:00
						0.002	4.75			52	48		9.8	7:00
						0.003	9.15			52	40		11.2	8:00
						0.003	7.47			57	55		15.1	9:00
						0.003	6.61			34	59		18.6	10:00
						0.003	9.03			24	36		18.6	11:00
0.85	968.60	0.0478	58.58	0.0307	57.76	0.002	5.49	0.0019	3.70	20.1	24.6	-	13.5	Promedio
ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ppm	°C	Unidad
CO		NO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		Ozono		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	TSP	Temp.	Parámetro

Hora	NO		NO2	
	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)
13:10	0.0206	25.26	0.0268	50.39
13:20	0.0718	88.05	0.0339	63.74
13:30	0.0240	29.43	0.0235	44.19
13:40	0.0514	63.03	0.0353	66.38
13:50	0.0758	92.96	0.0338	63.56
14:00	0.043	52.73	0.0310	58.29
Promedio	0.0478	58.58	0.0307	57.76



**P2 – Estacionamiento CCI- Av. Naciones Unidas y Japón**

Lugar:	ESTACIONAMIENTO CCI- Naciones Unidas y Japón			
Fecha Inicio:	13 de Abril de 2012	Hora Inicio:	12:00:00 horas	
Fecha Final:	14 de Abril de 2012	Hora final:	12:00:00 horas	
Área de monitoreo:	P2- Estacionamiento CCI	Presión Atmosférica:	623 mm Hg	

CO		NO		NO2		SO2		Ozono		PM10	PM2,5	TSP	Temp.	Hora
ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	ug/m3	ug/m3	ug/m3	mg/cm2 X 30 d	°C	hh:mm
0.26	286.14					0.003	7.46	0.0010	1.98	26	74		17.3	13:00
2.07	2389.27	0.0563	69.08	0.0357	67.16	0.003	7.88	0.0009	1.77	21	36		17.6	14:00
1.01	1168.02					0.002	5.37	0.0051	10.01	3	18		20.1	15:00
1.49	1706.42					0.002	5.51	0.0018	3.14	16	20		20.4	15:00
1.90	2174.89					0.001	3.92	0.0003	0.69	29	27		18.1	17:00
1.98	2288.28					0.002	4.45	0.0002	0.39	28	19		16.7	19:00
1.43	1638.71					0.001	2.60	0.0013	2.66	38	22		13.8	19:00
1.70	1846.78					0.001	2.69	0.0005	0.98	32	14		12.4	23:00
						0.002	4.15			33	28		12.1	21:00
						0.004	9.24			23	14		11.8	22:00
						0.002	4.36			18	13		12.0	23:00
						0.002	4.57			23	11		11.7	0:00
						0.002	6.41			7	8		11.8	1:00
						0.004	9.52			23	8		11.6	2:00
						0.01	27.95			20	18		11.0	3:00
						0.003	3.37			27	21		11.0	4:00
						0.003	3.92			20	19		10.3	6:00
						0.003	3.37			28	19		10.1	6:00
						0.003	3.40			34	20		10.6	7:00
						0.004	9.53			11	21		13.8	6:00
						0.007	18.35			24	28		18.7	6:00
						0.000	16.22			20	10		20.3	13:00
						0.008	16.17			32	11		20.2	11:00
						0.008	15.09			38	23		18.3	12:00
1.48	1692.54	0.0563	69.08	0.0357	67.16	0.003	9.06	0.0014	2.67	24.0	21.2	-	14.6	Promedio
ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ppm	°C	Unidad
CO	NO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozono		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP	Temp.			Parámetro

Hora	NO		NO2	
	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)
13:10	0.0293	35.93	0.0152	28.58
13:20	0.0888	108.90	0.0445	83.68
13:30	0.0432	52.98	0.0492	92.51
13:40	0.0721	88.42	0.0420	78.98
13:50	0.0540	66.22	0.0344	64.68
14:00	0.0506	62.05	0.0290	54.53
<b>Promedio</b>	<b>0.0563</b>	<b>69.08</b>	<b>0.0357</b>	<b>67.16</b>

**P3 – Plaza de San Francisco – Calles Bolívar y Cuenca**

Lugar:	PLAZA DE SAN FRANCISCO- Calles Bolívar y Cuenca			
Fecha Inicio:	16 de Abril de 2012	Hora Inicio:	11:00:00 horas	
Fecha Final:	17 de Abril de 2012	Hora final:	11:00:00 horas	
Área de monitoreo:	P3- Plaza de San Francisco	Presión Atmosférica:	620 mm Hg	

CO		NO		NO2		SO2		Ozono		PM10	PM2,5	TSP	Temp.	Hora
ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)	ppm	ug/m3	ug/m3	ug/m3	mg/cm2 X 30 d	°C	hh:mm
0.01	11.46					0.016	38.69	0.0147	28.94	0	0		16.4	12:00
0.08	91.67	0.0163	18.80	0.0323	60.77	0.004	11.59	0.0218	42.77	10	87		16.9	13:00
0.07	80.12					0.004	10.93	0.0248	48.88	10	48		17.5	14:00
0.29	391.89					0.006	12.73	0.0180	37.28	3	38		20.8	16:00
0.66	743.87					0.006	16.59	0.0116	22.66	286	11		18.9	16:00
0.23	263.26					0.003	8.00	0.0141	27.87	27	24		16.4	17:00
0.33	377.71					0.003	7.69	0.0128	24.72	12	3		16.8	18:00
0.72	824.08					0.004	10.31	0.0129	26.31	9	8		14.9	19:00
						0.003	8.22			3	2		14.3	20:00
						0.002	5.43			23	1		13.8	21:00
						0.001	2.73			17	19		13.6	22:00
						0.000	1.13			37	26		13.4	23:00
						0.001	1.43			9	6		13.3	0:00
						0.000	0.80			11	26		13.2	1:00
						0.000	1.11			0	0		13.1	2:00
						0.000	0.54			19	14		13.4	3:00
						0.003	8.05			22	34		13.3	4:00
						0.001	1.76			0	0		13.4	5:00
						0.002	5.16			24	48		11.7	6:00
						0.004	11.20			8	25		11.7	7:00
						0.004	9.25			32	15		16.7	8:00
						0.004	10.46			46	7		18.4	9:00
						0.004	10.46			78	16		19.4	10:00
						0.004	10.46			6	20		19.7	11:00
0.30	340.51	0.0153	18.80	0.0323	60.77	0.003	8.53	0.0164	32.23	29.2	18.8	-	15.3	Promedio
ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	(ug/m <sup>3</sup> )	ppm	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ppm	°C	Unidad
CO	NO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozono		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP	Temp.			Parámetro

Hora	NO		NO2	
	ppm	(ug/m3)	ppm	(ug/m3)
12:10	0.0111	13.61	0.0295	55.47
12:20	0.0264	32.38	0.0471	88.57
12:30	0.0239	29.31	0.0498	93.64
12:40	0.0106	13.00	0.0305	57.35
12:50	0.0070	8.58	0.0167	31.40
13:00	0.013	15.94	0.0203	38.17
<b>Promedio</b>	<b>0.0153</b>	<b>18.80</b>	<b>0.0323</b>	<b>60.77</b>

Fuente: AFH Services, marzo 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012.



### Correcciones aplicables

Los datos recolectados en campo están en condiciones de presión y temperatura de la localidad del monitoreo, para realizar la comparación respectiva con los límites máximos permitidos se deben llevar estos valores a Condiciones de Referencia esto es: a 25 °C de temperatura y 760 mm. Hg. de presión.

Para esta corrección se aplica la siguiente ecuación:

$$C_c = C_o * \frac{760mmHg}{Pbl} * \frac{(273.15 + t^{\circ}C)K}{298.15K}$$

Donde:

$C_c$  = Concentración Corregida

$C_o$  = Concentración Observada

$Pbl$  = Presión Atmosférica Local

$t^{\circ}C$  = Temperatura Local

### Reporte de resultados

Los valores reportados en las siguientes tablas corresponden al valor promedio de datos recolectados durante el monitoreo continuo de 24 horas en cada uno de los puntos ubicados en el área de estudio.

Tabla 6.13 Resultados

Nombre de la Empresa		LIGA BARRIAL SOLANDA, Ajaví entre Estandoque y J. María Alemán						
Periodo / Año		12 de abril de 2012			13 de abril de 2012			
Nombre del Laboratorio		AFH Services						
Punto de Muestreo	Fecha	CO	NOx	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP
P1.- Tres Arco Norte. Sector Calle Ajaví		(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	mg/cm <sup>2</sup> X 30 d
Valor	12/04/2012	988.6	147.8	5.49	3.70	28.22	34.54	N/R
Norma	al	10000	200	125	100	100	50	-
Cumplimiento	13/04/2012	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	-

Nombre de la Empresa		ESTACIONAMIENTO CCI. Naciones Unidas y Japón						
Periodo / Año		13 de abril de 2012			14 de abril de 2012			
Nombre del Laboratorio		AFH Services						
Punto de Muestreo	Fecha	CO	NOx	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP
P2.- Estacionamiento CCI		(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	mg/cm <sup>2</sup> X 30 d
Valor	13/04/2012	1692.5	173.1	9.06	2.67	33.85	29.91	N/R
Norma	al	10000	200	125	100	100	50	-
Cumplimiento	14/04/2012	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	-

Nombre de la Empresa		PLAZA DE SAN FRANCISCO. Calles Bolívar y Cuenca						
Periodo / Año		15 de abril de 2012			17 de abril de 2012			
Nombre del Laboratorio		AFH Services						
Punto de Muestreo	Fecha	CO	NOx	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP
P3.- Plaza de San Francisco		(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	(ug/m <sup>3</sup> )	mg/cm <sup>2</sup> X 30 d
Valor	12/04/2012	340.5	88.6	6.53	32.23	41.25	26.63	N/R
Norma	al	10000	200	125	100	100	50	-
Cumplimiento	17/04/2012	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	si cumple	-

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

### Condiciones Meteorológicas

En los puntos monitoreados se tuvieron los siguientes datos meteorológicos durante el monitoreo.

Tabla 6.14 Condiciones meteorológicas

IDENTIFICACION DEL PUNTO	TENDENCIA DEL VIENTO	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO	CLIMA
P1.- Liga Barrial Solanda – Ajaví entre Estandoque y J. María Alemán	Proveniente del Noroeste	1.2 m/s	No se registraron lluvias durante el monitoreo
P2.- Estacionamiento CCI. Av. Amazonas y Japón	Proveniente del Noreste	1.7 m/s	No se registraron lluvias durante el monitoreo
P3.- Plaza San Francisco. Calles Bolívar y Cuenca	Proveniente del Noroeste	1.0 m/s	No se registraron lluvias durante el monitoreo.

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

Las fuentes de emisión de contaminantes en los diferentes puntos fueron las siguientes :



**Tabla 6.15 Funetes de contaminación observadas**

IDENTIFICACION DEL PUNTO	FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES OBSERVADAS
P1.- Liga Barrial Solanda – Ajaví entre Estandoque y J. María Alemán	Vehículos que circulan por las Calles aledañas
P2.- Estacionamiento CCI. Av. Amazonas y Japón	Vehículos que circulan por las Calles aledañas
P3.- Plaza San Francisco. Calles Bolívar y Cuenca	Vehículos que circulan por las Calles aledañas

Fuente: AFH Services., abril 2012

Elaboración: AFH Services., abril 2012

Es importante señalar que en el Estudio de Viabilidad Socio Económica incluido en el Estudio de Factibilidad de la Primera Línea del Metro de Quito, en la ciudad de Quito el tráfico vehicular es el responsable del 65% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el 28% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), el 98% de las emisiones de monóxido de carbono (CO), el 44% de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el 15% de las partículas de material de tamaño inferior a 10 micras.

El dióxido de carbono (33.223 Gg) proviene principalmente de los sectores energético (55,9%), dentro del sector energético, el transporte es responsable del 47,7% de las emisiones, complementadas por aquellas generadas por la combustión a pequeña escala (29,48%), la industria (16,50%) y la energía de la transformación (6,36%).

Por lo tanto, cualquier disminución en el tráfico rodado en Quito será sustancial, ya que contribuirá significativamente a la reducción de la emisión de este tipo de gases a la atmósfera. Por ello, la influencia que se prevé en estos aspectos en lo que se refiere al metro va a ser positiva.

Se prevé que en esta fase, las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en la fase de construcción sean aproximadamente de 100.000 toneladas. De estas unas 75.000 toneladas procederán de las tuneladoras que tendrán una potencia media instalada de 10.000 Kw y con un factor de conversión de 0,495 kg CO<sub>2</sub>/kwh y unas 25.000 toneladas procederán de la maquinaria y camiones de obra estimándose una potencia media instalada de entre 5.000 y 10.000CV con unos consumos de 0,18 l/CV/h y un factor de conversión de 2,6 kg CO<sub>2</sub>/l.

### Conclusiones

- El presente estudio representa la descripción ambiental de la situación actual del área del proyecto Metro de Quito Línea 1.
- Analizando los parámetros establecidos observamos que no se supera las concentraciones máximas en todos los parámetros analizados, en todos los puntos de monitoreo.

- Los datos de temperatura fueron recogidos del sensor de temperatura del monitor de Partículas E-BAM Mass Monitor, la velocidad y tendencia del viento fueron tomadas de la estación meteorológica.
- Las mediciones realizadas son en tiempo real y representan los datos de concentración promedio durante el período de tiempo de evaluación en aproximadamente 1 hora.
- Los puntos de análisis se han establecido considerando que corresponden a zonas estratégicas como es el norte, sur y centro de la ciudad, con alto número de población, que se encuentran dentro del área del proyecto.
- Del *promedio de los resultados* de las mediciones durante todo el período del análisis de calidad de aire ambiente, se ha determinado que existe **cumplimiento** de los límites de norma para los parámetros: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Material Particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, Ozono, es decir no se han detectado concentraciones que sobrepasen los valores máximos.
- Los valores obtenidos en el monitoreo y análisis han sido transformados a unidades de norma y evaluados; según lo especificado en el TULSMA Libro VI, Anexo 4.I, Norma de Calidad de Aire Ambiente, comparando los resultados obtenidos con los valores de la norma.

### 6.2.4 Análisis de datos CORPAIRE

También se ha realizado un análisis actualizado con datos de la CORPAIRE la misma que tiene un sistema de monitoreo dentro del Distrito Metropolitano de Quito y sus Valles a continuación se detalla su proceso, metodología, estaciones.

#### Emisiones

El monitoreo del aire es una herramienta básica de la gestión ambiental y la información que produce debe ser utilizada para el diseño, implementación y evaluación de las políticas de control de las fuentes generadoras de emisiones y de las acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del recurso, más aún en ciudades de altura como Quito, donde las condiciones climáticas, topográficas y de operación de los equipos de combustión las tornan más sensibles a experimentar episodios graves de contaminación atmosférica, que conllevan peligros potenciales para la salud de sus habitantes.

El Distrito Metropolitano de Quito, mediante la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), tiene la finalidad de producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito que sirvan como insumo para la planificación, formulación, ejecución y evaluación de políticas y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del aire, y difundir esta información en

condiciones comprensibles para el público en general. REMMAQ forma parte de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE).

REMMAQ cuenta con nueve estaciones de monitoreo con capacidad para analizar automáticamente los siguientes contaminantes comunes de aire:

- Monóxido de carbono (CO), seis analizadores;
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), seis analizadores;
- Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>X</sub>), seis analizadores;
- Ozono (O<sub>3</sub>), siete analizadores; y,
- Material particulado fino o de diámetro menor a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>), cinco analizadores

Tres muestreadores activos semiautomáticos (high volume samplers) para material particulado total (PTS) y cuatro para material particulado de diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), además de cuatro canisters portátiles para tomar muestras de aire y determinar compuestos orgánicos volátiles (COVs).

Un laboratorio de mantenimiento electrónico equipado con un área climatizada para calibración y pruebas de funcionamiento de los analizadores.

Equipo de laboratorio de química (espectrofotómetro de absorción atómica, cromatógrafo de gases y equipos menores complementarios), para los análisis gravimétricos de las muestras de partículas colectadas en los muestreadores semiautomáticos y para la determinación de metales en material particulado y compuestos orgánicos volátiles en muestras gaseosas.

Seis estaciones meteorológicas con sensores automáticos para medir velocidad y dirección del viento (MetOne), humedad (Thies), radiación solar (Kipp & Zonen), temperatura (Thies), presión (Vaisala) y precipitación (Thies).

Un sodar o perfilador vertical de la atmósfera (Remtech PA1-LR Sodar/RASS), instalado en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre y que está en fase de pruebas.

Un centro de control con capacidad para recibir, almacenar y procesar la información de calidad del aire y meteorología capturada por las estaciones de monitoreo y el Sodar.

El muestreo fue realizado por el laboratorio AFH Services, el mismo que cuenta con la acreditación de la OAE para la realización de este tipo de muestreos. Los resultados de los análisis de laboratorio y la acreditación correspondiente se presentan en el Anexo 12 del Capítulo de Anexos del Estudio de Impacto Ambiental.



### Antecedentes

La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) por medio de sus estaciones remotas ubicadas en el área urbana de la ciudad de Quito y los valles aledaños, está en capacidad de medir de manera continua la concentración en el aire ambiente de cinco de los denominados contaminantes comunes: material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>), óxidos de nitrógeno expresados como dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y oxidantes fotoquímicos expresados como ozono (O<sub>3</sub>).

En la Tabla 6.16 se muestra la ubicación de las estaciones de la REMMAQ.

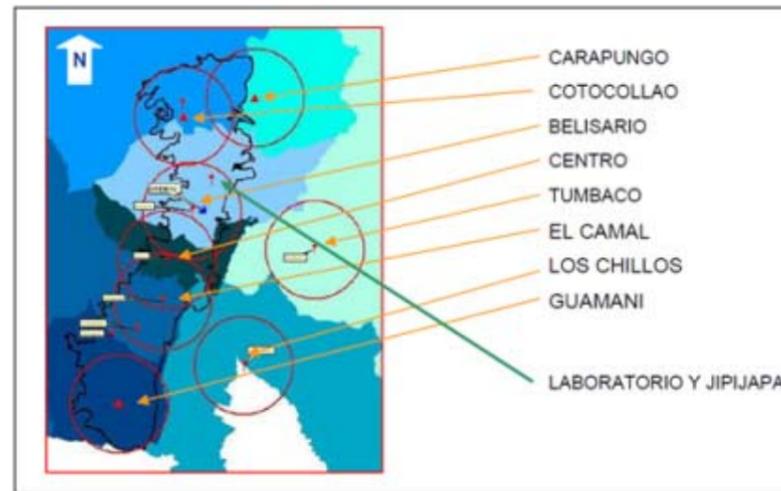
**Tabla 6.16 Ubicación de las estaciones de la REMMAQ**

CÓDIGO	NOMBRE	DIRECCIÓN
BEL	Belisario	Terraza del edificio administrativo del Colegio San Gabriel
JIP	Jipijapa	Patio de la Dirección Metropolitana Ambiental (estación de pruebas)
CAM	El Camal	Terraza del Hospital del Patronato Municipal San José Sur
CEN	Centro	Terraza de la Radio Municipal
TUM	Tumbaco	Terraza de Andinatel
LCH	Los Chillos	Terraza de Andinatel
COT	Cotocollao	Museo de Sitio Cotocollao
CAR	Carapungo	Terraza de Andinatel
GUA	Guamaní	Patio de la Escuela Julio Espinosa

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp), 2011

La Figura 6.33 muestra la localización de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ y la ilustración del Área de Influencia a nivel urbana.

**Figura 6.33 Localización de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ**



Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp), 2011

Corpaire posee el primer inventario de emisiones detallado para el DMQ que considera todas las fuentes primarias, así como la distribución temporal (comportamiento diario, mensual y anual) y espacial de los distintos contaminantes emitidos. Este inventario se basa en un modelo matemático aceptado internacionalmente que considera tanto los niveles de actividad de cada proceso investigado, como los factores de emisión (cantidad de contaminante emitido por unidad de actividad) asociados.

Debido a la cantidad y calidad de la información requerida para este inventario, inició en el año 2003 y se actualiza cada dos años, conforme las mejores prácticas que se manejan sobre este tema a nivel mundial: (a) tráfico vehicular tanto a gasolina como a diesel; (b) combustión en industrias y plantas de generación termoeléctrica; (c) vegetación; (d) estaciones de servicio; (f) canteras de materiales de construcción; (g) procesos industriales; (h) asaderos; (i) ladrilleras, (j) quemas e incendios; (k) resuspensión del polvo en vías; (l) uso de combustibles a nivel residencial y comercial; (m) uso de solventes a nivel residencial e industrial; (n) aeropuerto; y, (ñ) rellenos sanitarios.

### Equipos de la REMMAQ

La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), produce datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el Distrito Metropolitano de Quito. La REMMAQ forma parte de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (Corpaire). Cuenta con nueve estaciones de monitoreo con capacidad para analizar automáticamente los siguientes contaminantes comunes de aire:

- Monóxido de carbono (CO), seis analizadores;
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), seis analizadores;

- Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), seis analizadores;
- Ozono (O<sub>3</sub>), siete analizadores; y,
- Material particulado fino o de diámetro menor a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>), cinco analizadores

Cuenta además con:

- Tres muestreadores activos semiautomáticos (high volume samplers) para material particulado total (PTS) y cuatro para material particulado de diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), además de cuatro canisters portátiles para tomar muestras de aire y determinar compuestos orgánicos volátiles (COVs); un laboratorio de mantenimiento electrónico equipado con un área climatizada para calibración y pruebas de funcionamiento de los analizadores.
- Equipo de laboratorio de química (espectrofotómetro de absorción atómica, cromatógrafo de gases y equipos menores complementarios), para los análisis gravimétricos de las muestras de partículas colectadas en los muestreadores semiautomáticos y para la determinación de metales en material particulado y compuestos orgánicos volátiles en muestras gaseosas.
- Seis estaciones meteorológicas con sensores automáticos para medir velocidad y dirección del viento (MetOne), humedad (Thies), radiación solar (Kipp & Zonen), temperatura (Thies), presión (Vaisala) y precipitación (Thies).
- Un sodar o perfilador vertical de la atmósfera (Remtech PA1-LR Sodar/RASS), instalado en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre y que está en fase de pruebas.
- Un centro de control con capacidad para recibir, almacenar y procesar la información de calidad del aire y meteorología capturada por las estaciones de monitoreo y el sodar.

### Base Legal

Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma (Texto Unificado de Legislación Ambiental TULSMA, Libro IV Anexo 4.I), así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.

Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deben corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_c = C_o * \frac{760 \text{ mmHg}}{P \text{ mmHg}} * \frac{(273 + t \text{ } ^\circ\text{C}) \text{ } ^\circ\text{K}}{298 \text{ } ^\circ\text{K}}$$



Donde:

Cc: concentración corregida

Co: concentración observada

Pbl: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

t °C: temperatura local, en grados centígrados.

$$C_c = 1.34 * C_o \quad \text{QUITO}$$

La entidad ambiental de control establecerá un plan de alerta, de alarma y de emergencia ante situaciones críticas de contaminación del aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de alerta, alarma y emergencia.

Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire (Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA). Cada uno de los tres niveles será declarado por la entidad ambiental de control cuando uno o más de los contaminantes comunes indicados exceda la concentración establecida en la Tabla 6.17, cuando las condiciones atmosféricas se espera sean desfavorables en las próximas 24 horas.

**Tabla 6.17 Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire (1)**

CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de carbono Concentración promedio en 8 horas	15.000	30.000	40.000
Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono Concentración promedio en 1 hora	300	600	800
Óxidos de nitrógeno, como NO <sub>2</sub> Concentración promedio en 1 hora	1.200	2.300	3.000
Dióxido de azufre Concentración promedio en 24 horas	800	1.600	2.100
Material particulado PM10 Concentración en 24 horas	250	400	500

Fuente: TULSMA, Libro IV, Anexo 4.I, 2011

(1) Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

## Metodología

La información ha sido obtenida de las estaciones que posee REMMAQ que se encuentran ubicadas en el área urbana de la ciudad de Quito y los valles aledaños, las estaciones tienen la capacidad de medir de manera continua la concentración en el aire ambiente de cinco de los denominados contaminantes comunes: material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>), óxidos de nitrógeno expresados como dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y oxidantes fotoquímicas expresados como ozono (O<sub>3</sub>).

Se han tomado las concentraciones de contaminantes atmosféricos de cada una de las estaciones de la CORPAIRE, cuyos datos están publicados en su página web, donde se han establecido promedios mensuales del año 2010, y se han corregido estos valores como establece la norma ambiental en su artículo 4.1.2.3 del Anexo 4 del Libro 4 del TULSMA, para la ciudad de Quito.

En el Estudio de Impacto Ambiental Definitivo del proyecto Metro de Quito, se ha tomado en cuenta una herramienta útil y utilizada en el DMQ que constituye el Índice Quiteño de la Calidad del Aire (IQCA), construido de acuerdo a los criterios que se exponen a continuación.

Cabe señalar que índices similares al IQCA han sido adoptados en otras ciudades desde hace varios años y han demostrado su efectividad en el cumplimiento de los objetivos arriba señalados; por ello, para el caso de Quito se ha tomado como referencia el Air Quality Index o AQI vigente en los Estados Unidos desde 1976<sup>6</sup>.

- El IQCA ha sido diseñado por el MDMQ para proporcionar información confiable, oportuna y fácilmente entendible sobre los niveles diarios de contaminación del aire.
- Su simplicidad radica en el hecho de que se traducen los términos técnicos de la ingeniería ambiental a expresiones de uso más generalizado, convirtiendo las concentraciones medidas de los contaminantes del aire, expresadas en microgramos por metro cúbico (u otras unidades equivalentes como partes por millón, por ejemplo) y en rangos específicos para cada caso, a una escala numérica y de colores común para todos esos contaminantes, con rangos establecidos en función de los efectos que sobre la salud humana tienen los diferentes niveles de contaminación.
- La oportunidad y utilidad del IQCA se manifiesta en que para cada rango se describen de manera ilustrativa las principales medidas de precaución, que deberían ser adoptadas por la población para

<sup>6</sup>El AQI constituye una versión actualizada del Pollutant Standard Index (PSI) establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en 1976 para ser usado en todo su territorio de manera voluntaria. En la actualidad la divulgación del AQI es obligatorio para todas las regiones metropolitanas con más de 350 mil habitantes (EPA, 2000).

<sup>8</sup>Sección 4.1.2 del Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2002).

minimizar la magnitud de esos efectos nocivos, así como las medidas de control que deberían tomarse de manera urgente para reducir los niveles de contaminación, bajo los niveles de precaución.

- Debe señalarse que el IQCA es un instrumento local y específico de difusión pública de la información de calidad del aire, que busca facilitar la comprensión de la misma, por lo que no debe entenderse como una sustitución de la norma nacional o de los parámetros y unidades técnicas de medición internacionalmente aceptados.

### Valores del IQCA

El IQCA es una escala numérica entre 0 y 500, con rangos intermedios expresados también en diferentes colores. Mientras más alto es el valor del IQCA, mayor es el nivel de contaminación atmosférica y, consecuentemente, los peligros para la salud de las personas.

La base de la construcción del IQCA es que un valor de 100 corresponde a los límites máximos permitidos en la norma nacional de calidad del aire<sup>7</sup> para los distintos contaminantes o, en su defecto, la guía recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de manera de que valores del IQCA comprendidos entre 0 y 100 se consideran inofensivos para la salud humana y, por tanto, no requieren ninguna medida preventiva o de control adicional a las políticas y planes que regularmente se ejecutan en la perspectiva de mejorar la calidad del aire o prevenir su deterioro.

A partir de esta consideración básica, se han definido seis niveles o categorías<sup>8</sup>, tomando como límites superiores para cada una de ellas los siguientes criterios:

- Para las dos primeras categorías (*deseable u óptimo* y *aceptable o bueno*) se han considerado los valores correspondientes al 50% (*la mitad*) y el 100% (*la totalidad*) del límite máximo permitido establecido en la norma ecuatoriana o la guía de la OMS, para los períodos de medición utilizados en la definición de los niveles de alerta, alarma y emergencia de la misma norma<sup>9</sup>.
- El nivel deseable (*óptimo*) se ha introducido como un indicativo de la mejor condición que se podría alcanzar, y con ello incentivar el cumplimiento de las medidas regulares o normales de control, definidas por las autoridades y la sociedad. El nivel aceptable (*bueno*) indica el cumplimiento con la norma de calidad.

<sup>7</sup>Sección 4.1.2 del Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2002).

<sup>8</sup>Los nombres de las distintas categorías se basan en las definiciones fijadas en el diccionario de la Real Academia Española.

<sup>9</sup> En 4 casos (CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>) esos límites máximos permitidos y los de los niveles de alerta, alarma y emergencia están fijados en las Secciones 4.1.2 y 4.1.3, respectivamente, del Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2002). En el caso del NO<sub>2</sub>, el límite máximo permitido en la norma se refiere a concentraciones en 24 horas, mientras que los límites de alerta, alarma y emergencia se refieren a concentraciones promedio en 1 hora, por lo que para el IQCA se ha escogido como límite máximo permitido el criterio de la concentración promedio en 1 hora fijado por la OMS.



- Entre el límite máximo permitido (*norma*) y el nivel de alerta, se ha introducido un nivel denominado de precaución, que si bien no indica la ocurrencia de un episodio crítico de contaminación<sup>10</sup>, muestra una excedencia que debe ser reportada.
- Para las tres siguientes categorías (*alerta, alarma y emergencia*), se adoptan los valores establecidos en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire correspondientes a las concentraciones que definen los niveles de alerta, alarma y emergencia ante episodios críticos de contaminación del aire.<sup>11</sup>

En la Tabla 6.18 se presenta las categorías del IQCA y sus valores límites, para cada contaminante común de la atmósfera, junto con el código de colores a ser utilizado.

Tabla 6.18 Límites numéricos de cada categoría del IQCA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Rango	Categoría	CO (a)	O <sub>3</sub> (b)	NO <sub>2</sub> (c)	SO <sub>2</sub> (d)	PM <sub>2.5</sub> (e)
0-50	Nivel deseable u óptimo	0-5.000	0-80	0-100	0-175	0-33
51-100	Nivel aceptable o bueno	5.001-10.000	81-160	101-200	176-350	34-65
101-200	Nivel de precaución	10.001-15.000	161-300	201-1.200	351-800	66-150
201-300	Nivel de alerta	15.001-30.000	301-600	1.201-2.300	801-1.600	151-250
301-400	Nivel de alarma	30.001-40.000	601-800	2.301-3.000	1.601-2.100	251-350
401-500	Nivel de emergencia	> 40.000	> 800	> 3.000	> 2.100	> 350

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp), 2011

Notas: Límites numéricos de cada categoría del IQCA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

(a) Se refiere a la concentración promedio en 8 horas

(b) Se refiere a la concentración promedio en 1 hora

<sup>10</sup> Según la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, un episodio crítico de contaminación se define como "la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de contaminantes previamente emitidos", que obliga a la implementación de planes de contingencia para prevenir los potenciales impactos nocivos sobre la salud.

<sup>11</sup> En el caso del material particulado, los niveles de alerta, alarma y emergencia están definidos en la Norma de Calidad del Aire solamente para el PM<sub>10</sub>; sin embargo, atendiendo al reconocimiento científico de que son las partículas pequeñas las que mayores impactos generan sobre la salud humana y a la capacidad instalada en la REMMAQ, se ha escogido para el IQCA al PM<sub>2.5</sub> y los valores correspondientes establecidos en el AQI de los EEUU.

- (c) Se refiere a la concentración promedio en 1 hora  
 (d) Se refiere a la concentración promedio en 24 horas  
 (e) Se refiere a la concentración promedio en 24 horas

Dada la naturaleza y lógica de este índice, en el caso de que los límites máximos permitidos o los que definen los distintos niveles se modifiquen en la legislación nacional o local respectiva, el IQCA podrá incorporar esos cambios, manteniendo el diseño conceptual original.

En la Tabla 6.19 se incluye el significado para cada categoría desde el punto de vista de las preocupaciones para la salud de las personas y además un código de colores que posibilita una más rápida asimilación del mensaje que se pretende comunicar. Estos colores han sido adaptados en asociación con la comunicación de alertas utilizada para el caso de las erupciones volcánicas, sobre lo que existe alguna experiencia en Quito.

**Tabla 6.19 Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA**

Rangos	Condición desde el punto de vista de la salud	Color de identificación
0-50	Óptima	Blanco
50-100	Buena	Verde
100-200	No saludable para individuos extremadamente sensibles (enfermos crónicos y convalescientes)	Gris
200-300	No saludable para individuos sensibles (enfermos crónicos)	Amarillo
300-400	No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles	Naranja
400-500	Peligrosa para toda la población	Rojo

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp), 2011

El término “individuos sensibles” que se utiliza en este contexto se refiere a los contenidos expresados en la Tabla 6.20 que ha sido elaborada sobre la base de investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.



**Tabla 6.20 Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante del aire**

CONTAMINANTE	INDIVIDUOS SENSIBLES
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias como el asma.
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares. Niños, ancianos y mujeres embarazadas
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón) y las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma.

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)

#### **Cálculo del IQCA**

Las mediciones de las concentraciones de los contaminantes comunes del aire realizadas por los analizadores automáticos de las estaciones remotas de la REMMAQ se convierten a los valores del IQCA utilizando simples relaciones lineales para cada contaminante, según se muestra en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21 Expresiones matemáticas para el cálculo del IQCA

CONTAMINANTE	EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA CADA RANGO DE CONCENTRACIÓN			
	promedio $0 < Ci \leq 10$	$10 < Ci \leq 15$	$15 < Ci \leq 30$	$30 < Ci$
CO (concentración en 8 horas, $mg/m^3$ )	$IQCA = 10Ci$	$IQCA = 20Ci - 100.00$	$IQCA = 6.67Ci + 100.00$	$IQCA = 10C$
	$0 < Ci \leq 160$	$160 < Ci \leq 300$	$300 < Ci \leq 600$	$600 < Ci$
O <sub>3</sub> (concentración promedio en 1 hora, $ug/m^3$ )	$IQCA = 0.6250Ci$	$IQCA = 0.7143Ci - 14.29$	$IQCA = 0.3333Ci + 10.00$	$IQCA = 0.5000Ci$
	$0 < Ci \leq 200$	$200 < Ci \leq 1200$	$1200 < Ci \leq 2300$	$2300 < Ci$
NO <sub>2</sub> (concentración promedio en 1 hora, $ug/m^3$ )	$IQCA = 0.5000Ci$	$IQCA = 0.1000Ci + 80.00$	$IQCA = 0.0909Ci + 90.91$	$IQCA = 0.1429Ci - 28.57$
	$0 < Ci \leq 350$	$350 < Ci \leq 800$	$800 < Ci \leq 1600$	$1600 < Ci$
SO <sub>2</sub> (concentración promedio en 24 horas, $ug/m^3$ )	$IQCA = 0.2857Ci$	$IQCA = 0.2222Ci + 22.23$	$IQCA = 0.1250Ci + 100.00$	$IQCA = 0.2000Ci - 20.00$
	$0 < Ci \leq 65$	$65 < Ci \leq 150$	$150 < Ci$	
PM <sub>2.5</sub> (concentración promedio en 24 horas, $ug/m^3$ )	$IQCA = 1.5385Ci$	$IQCA = 1.1786Ci + 23.21$	$IQCA = Ci + 50.00$	

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)**Procesamiento de Datos**

Para determinar la calidad de aire en el Distrito Metropolitano de Quito, se tomaron las estaciones que cubren las parroquias urbanas que se encuentran en el trayecto del trazado que son:

- Cotocollao
- Belisario
- Centro
- El Camal
- Guamaní

En la Tabla 6.22 se detalla la ubicación, dirección y equipamiento de las estaciones consideradas.

Tabla 6.22 Ubicación geográfica, dirección y equipamiento de las estaciones de análisis

CODIGO	NOMBRE	COORDENADAS GEOGRAFICAS	ALTITUD (msnm)	DIRECCIÓN	EQUIPAMIENTO
COT	Cotocollao	78°29'50" W 0°6'28" S	2.793	Cotocollao, Santa Teresa # 70-121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del Hierro	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PAR, PM <sub>10</sub> , MET
BEL	Belisario	78°29'24" W, 0°10'48" S	2.835	Terraza del edificio administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , MET
CAM	El Camal	78°30'36" W, 0°15'00" S	2.840	Terraza del Hosp. Patronato Municipal San José Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostraza)	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PTS, MET
CEN	Centro	78°30'36" W, 0°13'12" S	2.820	Terraza de la Radio Municipal (ex Hogar Javier, García Moreno 751 y Sucre)	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub>
GUA	Guamaní	78°33'5" W, 0°19'51" S	3.066	Patio de la Escuela Julio Enrique Moreno (Patricio Romero S/N y Lucía Alban)	CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PTS

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)

Mediante la difusión de resultados que realiza CORPAIRE se han tomado los valores de contaminantes que se encuentran en el aire del DMQ, para estimar la calidad de aire para el 2010

**Resultados****Concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Para las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se realizó un promedio mensual del año 2010, para las estaciones Cotocollao, Belisario, El Camal y Centro; la estación Guamaní no se ha tomado en cuenta por lo que ésta no aplica para las mediciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los valores obtenidos de cada promedio mensual se los ha corregido de acuerdo a la Norma Ambiental vigente en el Ecuador (TULSMA), detallada en la Tabla 6.23.



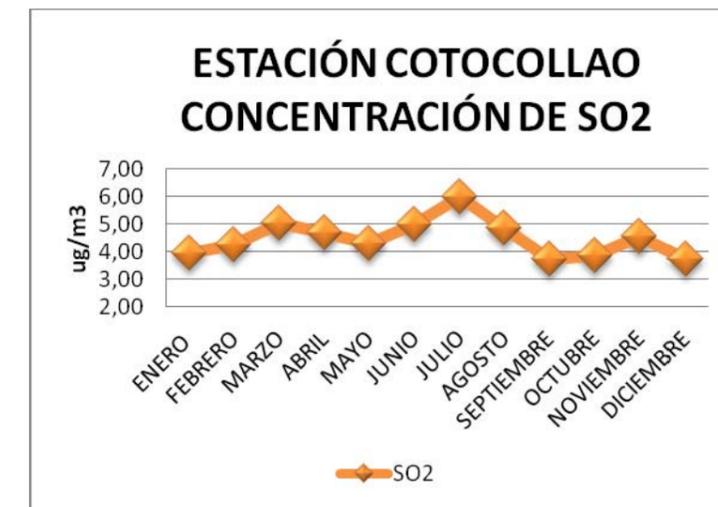
**Tabla 6.23 Concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Mes	SO <sub>2</sub>							
	Cotocollao	Correg.	Belisario	Correg.	El Camal	Correg.	Centro	Correg.
Enero	2,94	3,95	6,77	9,07	9,00	12,06	5,18	6,94
Febrero	3,18	4,26	3,99	5,35	7,92	10,61	2,57	3,44
Marzo	3,75	5,03	6,44	8,62	9,21	12,34	4,56	6,12
Abril	3,49	4,68	5,42	7,26	8,16	10,93	5,05	6,76
Mayo	3,20	4,29	3,93	5,27	5,77	7,73	3,85	5,16
Junio	3,72	4,98	5,74	7,69	10,03	13,44	6,10	8,18
Julio	4,48	6,00	6,35	8,51	11,92	15,97	6,19	8,29
Agosto	3,63	4,86	4,69	6,28	11,23	15,04	4,37	5,86
Septiembre	2,80	3,75	5,42	7,26	10,83	14,52	4,60	6,17
Octubre	2,88	3,86	4,96	6,64	7,44	9,97	4,24	5,68
Noviembre	3,39	4,54	4,62	6,19	11,51	15,43	6,05	8,10
Diciembre	2,77	3,71	3,56	4,77	6,14	8,23	4,12	5,52

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)

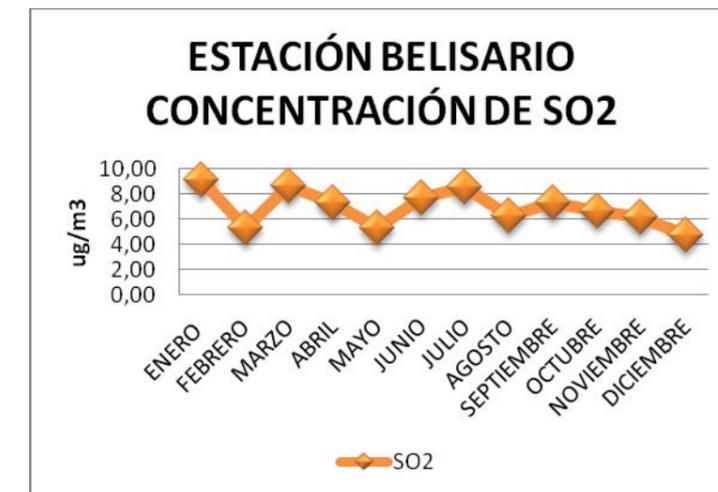
De acuerdo a la normativa ambiental vigente, se evidencia que las concentraciones están dentro de los límites permisibles en cada una de las estaciones de monitoreo, como muestran las Figuras 6.34 a 6.37. La Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA, establece que el alerta posee concentraciones de dióxido de azufre en la atmósfera superiores de 800, alarma 1.600 y emergencia 2.100.

**Figura 6.34 Estación de Cotocollao**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

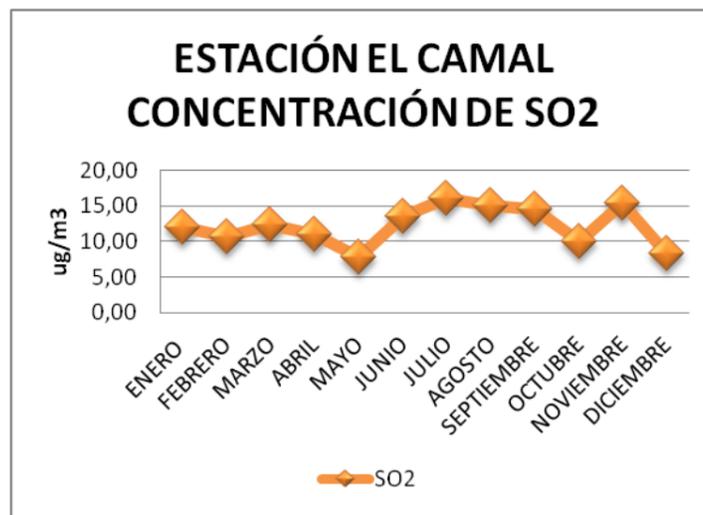
**Figura 6.35 Estación Belisario**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

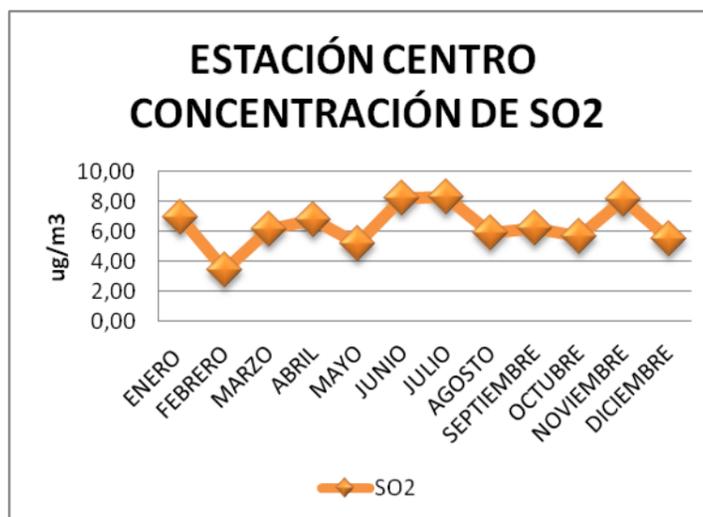


Figura 6.36 Estación El Camal



Elaborado por: GESAMBCONSULT

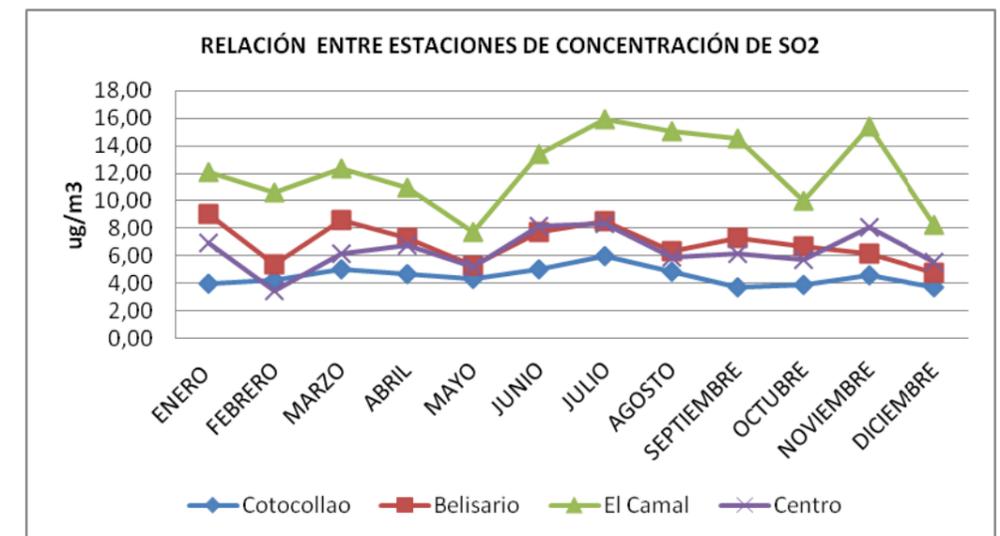
Figura 6.37 Estación Centro



Elaborado por: GESAMBCONSULT

La Figura 6.38 muestra la relación de estaciones en concentraciones de dióxido de azufre, se evidencia que la estación El Camal presenta la más elevada concentración.

Figura 6.38 Relación entre estaciones en concentraciones SO<sub>2</sub>



Elaborado por: GESAMBCONSULT

El Municipio de Quito en su Informe de la Calidad de Aire en Quito 2010, menciona una disminución de SO<sub>2</sub> en un 20% en comparación con el año 2009. El informe relaciona la disminución de la concentración de SO<sub>2</sub> por el bajo contenido de azufre registrado en las gasolinas que se comercializaron en el Distrito, esto desde el mes de abril del 2009 y, también por la consolidación de la Revisión Técnica Vehicular (vehículos activos mejor calibrados), según datos entregados por el ingeniero Bladimir Ibarra, de la Red de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría de Ambiente.

Para el estudio se consideró la información más actualizada con la que se contó al momento del levantamiento de datos.

**Concentración de monóxido de carbono (CO)**

Para las concentraciones de monóxido de carbono (CO) se realizó un promedio mensual del año 2010, para las estaciones Cotocollao, Belisario, El Camal, Centro y Guamaní. Los valores obtenidos de cada promedio mensual se han corregido de acuerdo a la norma ambiental vigente en el Ecuador (TULSMA), detallados en la Tabla 6.24.



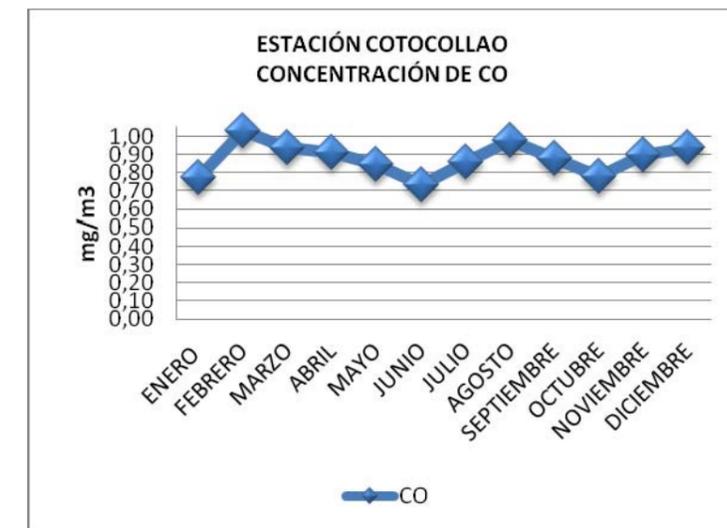
**Tabla 6.24 Concentraciones de monóxido de carbono (CO)**

CO									
Cotocollao	Correg.	Belisario	Correg.	El Camal	Correg.	Centro	Correg.	Guamaní	Correg.
0,58	0,78	0,81	1,08	0,77	1,04	0,77	1,03	0,74	0,99
0,77	1,03	0,92	1,24	0,84	1,12	0,88	1,18	0,60	0,81
0,70	0,94	0,91	1,22	0,81	1,08	0,94	1,26	0,64	0,86
0,68	0,91	1,21	1,62	0,82	1,10	1,12	1,50	0,84	1,13
0,63	0,84	0,96	1,29	0,70	0,94	0,88	1,17	0,73	0,98
0,55	0,73	1,03	1,38	0,75	1,01	0,99	1,32	0,65	0,87
0,64	0,86	0,85	1,14	0,84	1,12	0,93	1,25	0,64	0,86
0,73	0,97	0,84	1,13	0,72	0,96	0,76	1,02	0,61	0,81
0,65	0,88	0,96	1,29	0,88	1,18	0,90	1,21	0,62	0,83
0,58	0,78	0,92	1,23	0,66	0,89	0,72	0,97	0,56	0,75
0,67	0,90	1,01	1,35	0,83	1,11	0,98	1,31	0,68	0,90
0,70	0,94	0,95	1,27	0,84	1,13	0,88	1,18	0,63	0,85

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)

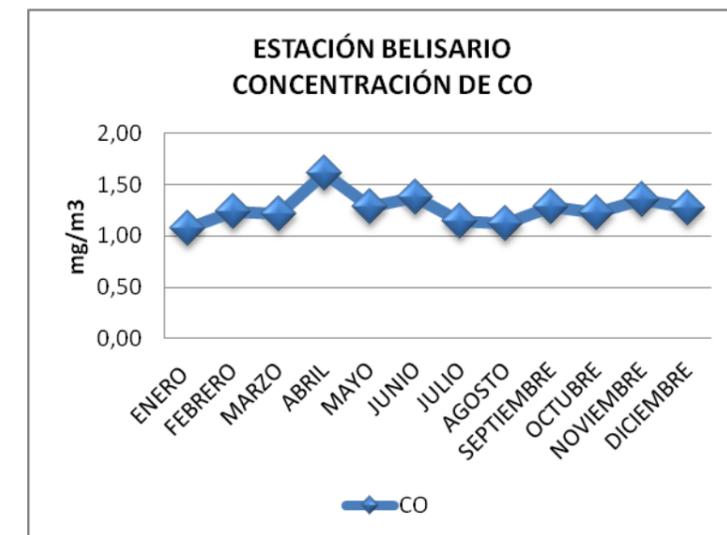
De acuerdo a la normativa ambiental vigente, se evidencia que las concentraciones están dentro de los límites permisibles en cada una de las estaciones de monitoreo, como muestran las Figuras 6.39 a 6.43. La Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA, establece que alerta posee concentraciones de monóxido de carbono en la atmósfera superiores de 15.000, alarma 30.000 y emergencia 40.000.

**Figura 6.39 Estación Cotocollao**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

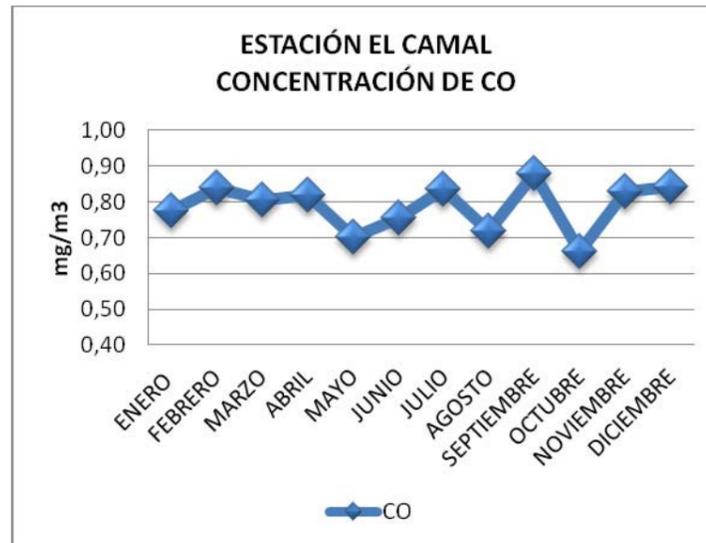
**Figura 6.40 Estación Belisario**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

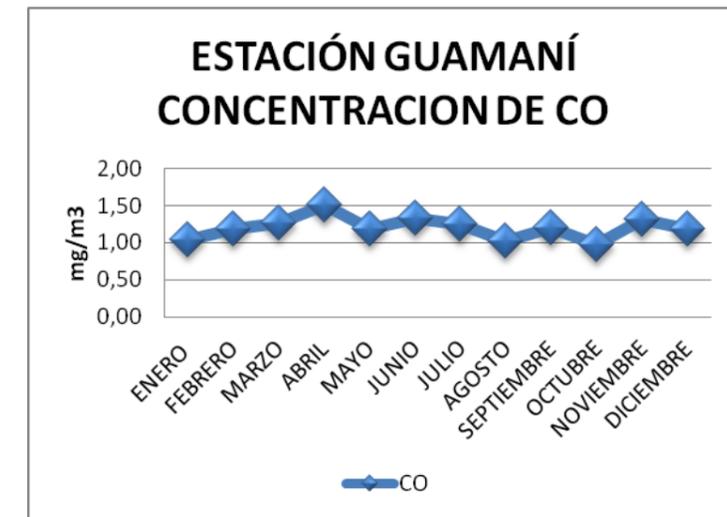


Figura 6.41 Estación El Camal



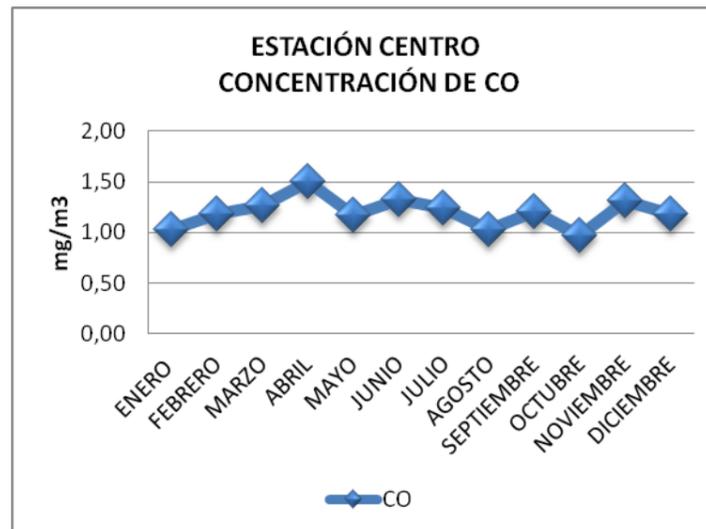
Elaborado por: GESAMBCONSULT

Figura 6.43 Estación Guamaní



Elaborado por: GESAMBCONSULT

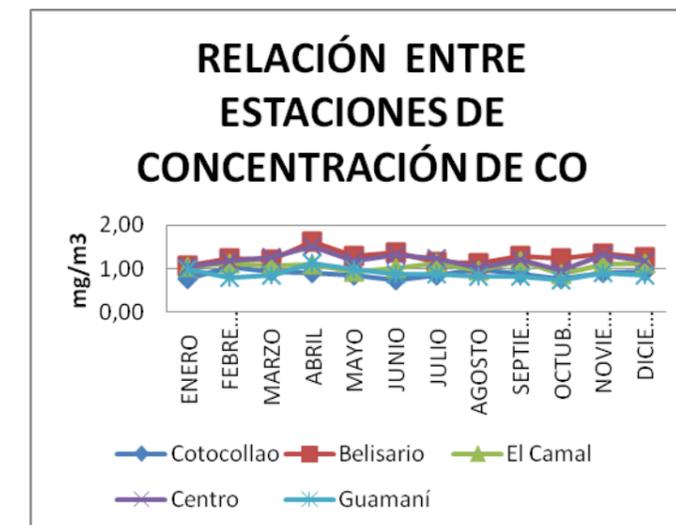
Figura 6.42 Estación Centro



Elaborado por: GESAMBCONSULT

La Figura 6.44 muestra la relación de estaciones en concentraciones de monóxido de carbono, y se evidencia que la estación Belisario presenta la más elevada concentración.

Figura 6.44 Relación entre estaciones en concentraciones CO



Elaborado por: GESAMBCONSULT



**Concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

Para las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se realizó un promedio mensual del año 2010, para las estaciones Cotocollao, Belisario, El Camal, Centro y Guamaní, los valores obtenidos de cada promedio mensual se los ha corregido de acuerdo a la norma ambiental vigente en el Ecuador (TULSMA), detallada en la Tabla 6.25.

**Tabla 6.25 Concentraciones de dióxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

NO <sub>2</sub>									
Cotocollao	Correg.	Belisario	Correg.	El Camal	Correg.	Centro	Correg.	Guamaní	Correg.
20,65	27,66	26,63	35,69	27,08	36,28	24,24	32,48	15,20	20,37
18,37	24,61	22,66	30,36	23,78	31,86	23,13	31,00	16,19	21,69
21,37	28,64	28,76	38,54	30,58	40,97	27,10	36,32	17,53	23,49
18,16	24,34	27,28	36,56	30,29	40,59	24,22	32,45	16,68	22,35
21,05	28,21	25,68	34,40	27,94	37,44	25,12	33,66	16,04	21,50
22,51	30,16	29,97	40,16	28,76	38,54	26,72	35,80	13,55	18,16
24,82	33,25	29,49	39,51	32,39	43,41	33,00	44,22	17,71	23,73
27,08	36,29	30,03	40,24	32,94	44,14	31,12	41,70	10,60	14,21
28,96	38,80	36,62	49,07	40,07	53,70	37,01	49,59	17,32	23,20
17,20	23,05	30,00	40,20	33,61	45,04	30,50	40,87	20,70	27,74
25,41	34,05	34,10	45,70	38,87	52,09	37,15	49,79	23,16	31,04
21,02	28,17	28,11	37,66	34,14	45,74	31,29	41,93	22,22	29,78

Fuente: [http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma\\_main.jsp](http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp)

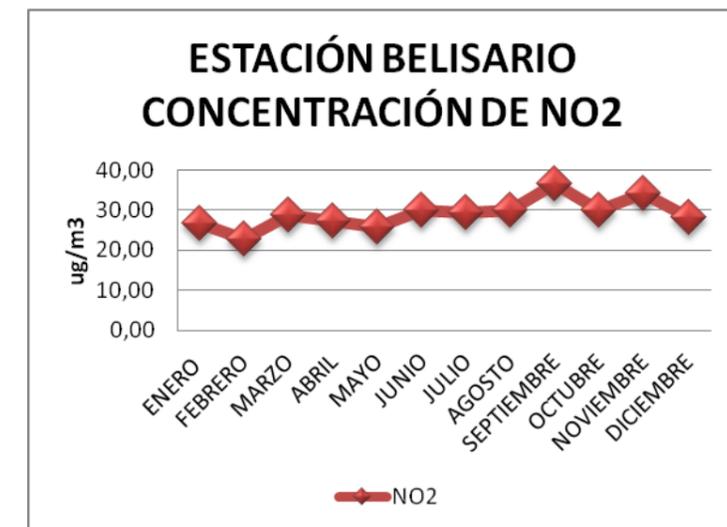
De acuerdo a la normativa ambiental vigente, se evidencia que las concentraciones están dentro de los límites permisibles en cada una de las estaciones de monitoreo, como muestran las Figuras 6.45 a 6.49. De acuerdo a la Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA, se establece que alerta debe poseer concentraciones de óxidos de nitrógeno en la atmósfera superiores de 1.200, alarma 2.300 y emergencia 3.000.

**Figura 6.45 Estación Cotocollao**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

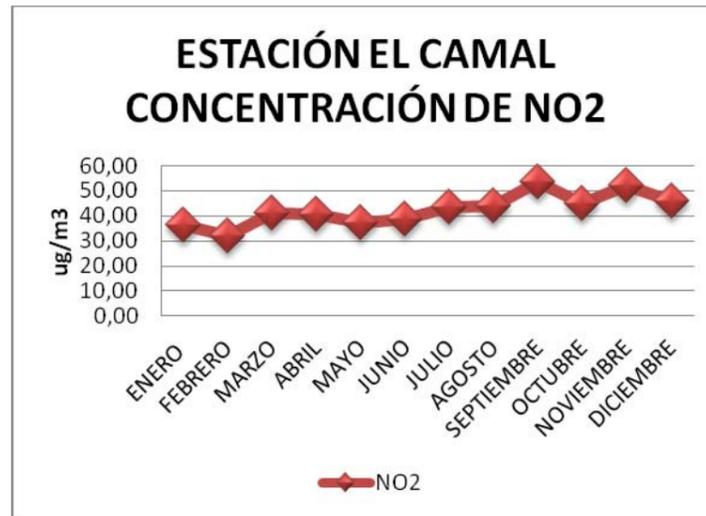
**Figura 6.46 Estación Belisario**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

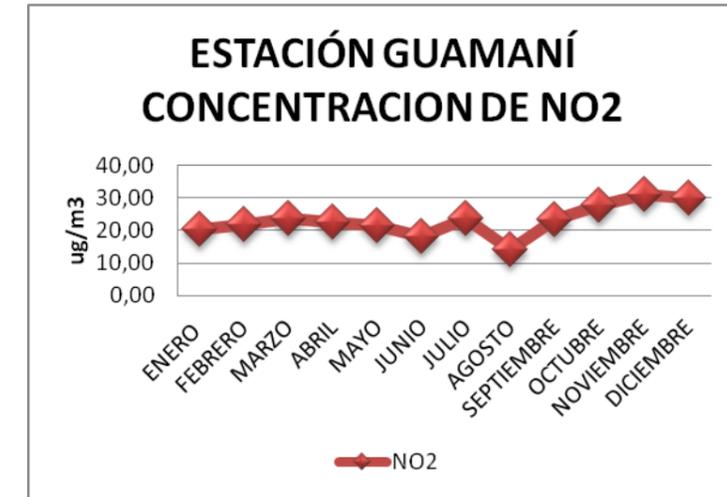


Figura 6.47 Estación El Camal



Elaborado por: GESAMBCONSULT

Figura 6.49 Estación Guamaní



Elaborado por: GESAMBCONSULT

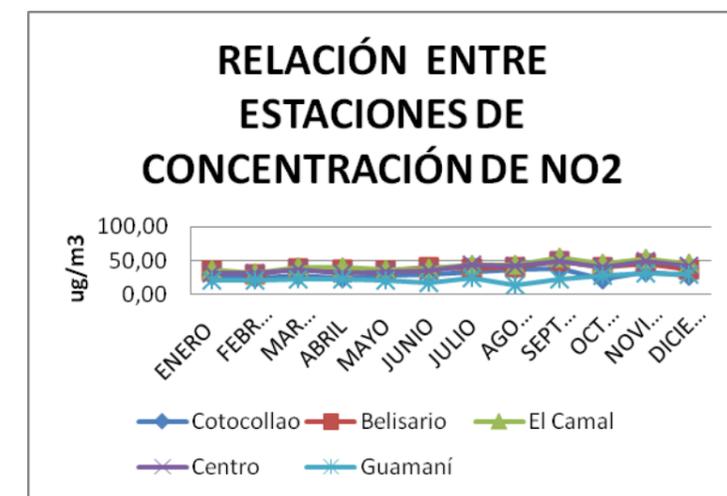
Figura 6.48 Estación Centro



Elaborado por: GESAMBCONSULT

En la Figura 6.50 se muestra la relación de estaciones en concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); es evidente que la estación El Camal registra la más elevada concentración.

Figura 6.50 Relación entre estaciones en concentraciones de NO2



Elaborado por: GESAMBCONSULT

El Municipio de Quito en su Informe de la Calidad de Aire en Quito del año 2010, informó que las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) más altas están, en primer lugar, en la plazoleta La Marín, Chillogallo y Carcelén y, en segundo lugar, la calle Necochea, Conocoto, el sector de la Basílica y el sector de la Escuela Sucre.



**Concentración de material particulado (PM<sub>2,5</sub>)** Para las concentraciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>) se realizó un promedio mensual del año 2010 (última información disponible al momento del levantamiento de datos), para las estaciones Cotocollao, Belisario, El Camal, y Centro; la estación Guamaní no se ha tomado en cuenta por lo que ésta no aplica para las mediciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>), los valores obtenidos de cada promedio mensual se los ha corregido de acuerdo a la norma ambiental vigente en el Ecuador (TULSMA), detallada en la Tabla 6.26.

**Tabla 6.26 Concentraciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>)**

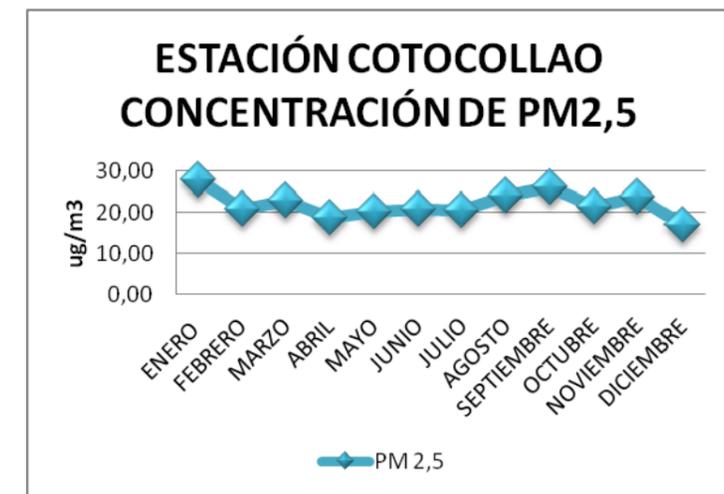
PM <sub>2,5</sub>							
Cotocollao	Corregido	Belisario	Corregido	El Camal	Corregido	Centro	Corregido
20,66	27,69	19,37	25,95	26,22	35,13	21,58	28,92
15,45	20,70	16,66	22,33	22,68	30,39	17,96	24,07
17,09	22,89	19,88	26,64	22,97	30,78	20,54	27,53
14,04	18,82	17,37	23,27	19,72	26,42	19,31	25,88
15,06	20,18	16,25	21,78	21,99	29,46	17,03	22,81
15,46	20,71	16,73	22,42	22,70	30,42	17,31	23,20
15,32	20,53	17,53	23,49	23,82	31,93	17,89	23,97
17,83	23,89	17,69	23,70	23,54	31,55	18,88	25,30
19,39	25,98	22,14	29,67	28,03	37,56	22,74	30,47
15,85	21,24	18,22	24,41	21,82	29,24	18,55	24,86
17,57	23,55	21,48	28,78	26,97	36,14	24,27	32,53
12,72	17,05	16,61	22,25	19,92	26,69	17,51	23,46

Elaborado por: GESAMBCONSULT

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria

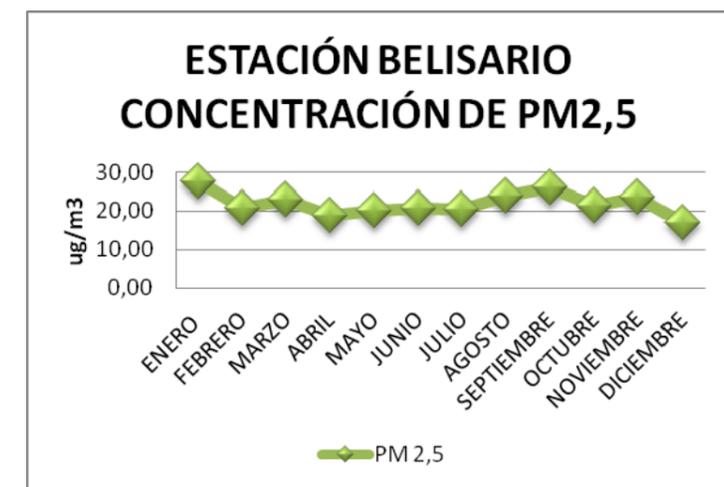
De acuerdo a la normativa ambiental vigente, se evidencia que las concentraciones están fuera de los límites permisibles que es 15 ug/m<sup>3</sup> en cada una de las estaciones de monitoreo, como muestran las Figuras 6.51 a 6.54, de acuerdo a la Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA.

**Figura 6.51 Estación Cotocollao**



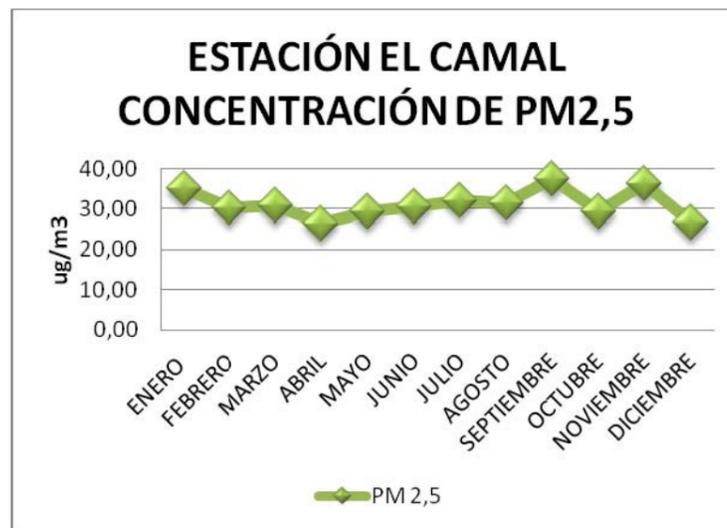
Elaborado por: GESAMBCONSULT

**Figura 6.52 Estación Belisario**



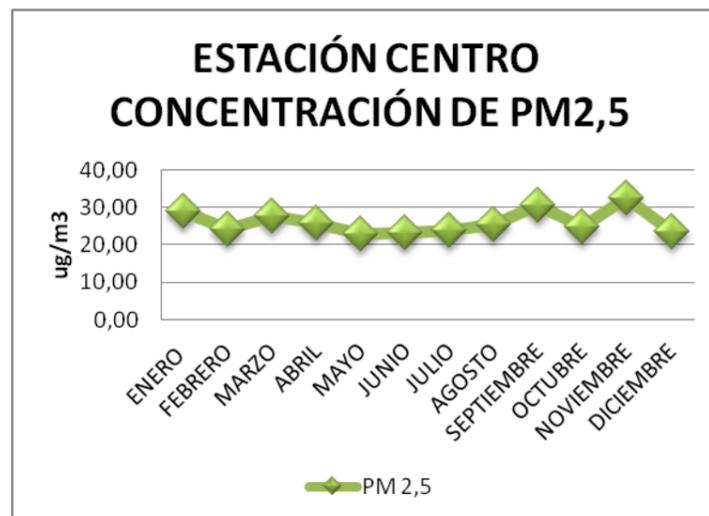
Elaborado por: GESAMBCONSULT

Figura 6.53 Estación El Camal



Elaborado por: GESAMBCONSULT

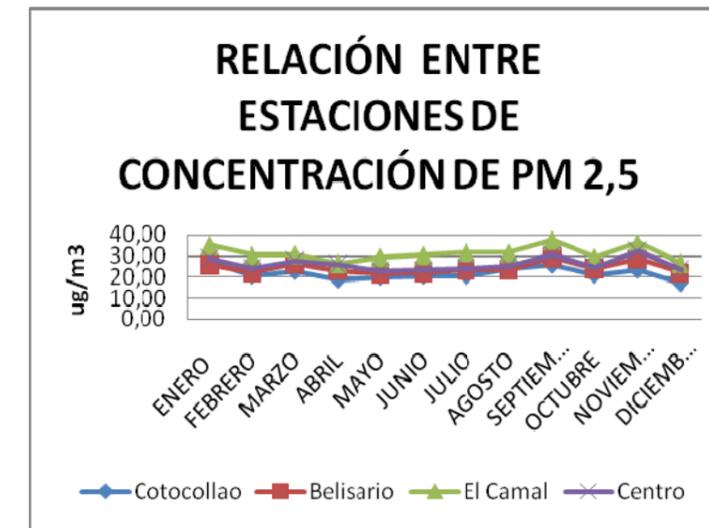
Figura 6.54 Estación Centro



Elaborado por: GESAMBCONSULT

En la Figura 6.55 se muestra la relación de estaciones en concentraciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>); es evidente que la estación El Camal registra la más elevada concentración.

Figura 6.55 Relación entre estaciones en concentraciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>)



Elaborado por: GESAMBCONSULT

El Municipio de Quito en su Informe de la Calidad de Aire en Quito de 2010, informó de acuerdo a los registros de 2010, que los principales problemas del aire de Quito están relacionados con la presencia de MP<sub>2,5</sub> y partículas sedimentables. Las concentraciones promedio anuales de MP<sub>2,5</sub> de El Camal (23,4), Centro (19,4), Carapungo (18,7), Belisario (18,4) y Cotocollao (16,4), exceden la concentración máxima permitida por la norma ecuatoriana (15 µg/m<sup>3</sup>).

**Concentración de oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>)**

Para las concentraciones de oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>) se realizó un promedio mensual del año 2010, para las estaciones Cotocollao, Belisario, El Camal, Centro y Guamaní. Los valores obtenidos de cada promedio mensual se han corregido de acuerdo a la norma ambiental vigente en el Ecuador (TULSMA), detalladas en la Tabla 6.27.



**Tabla 6.27 Concentraciones de oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>)**

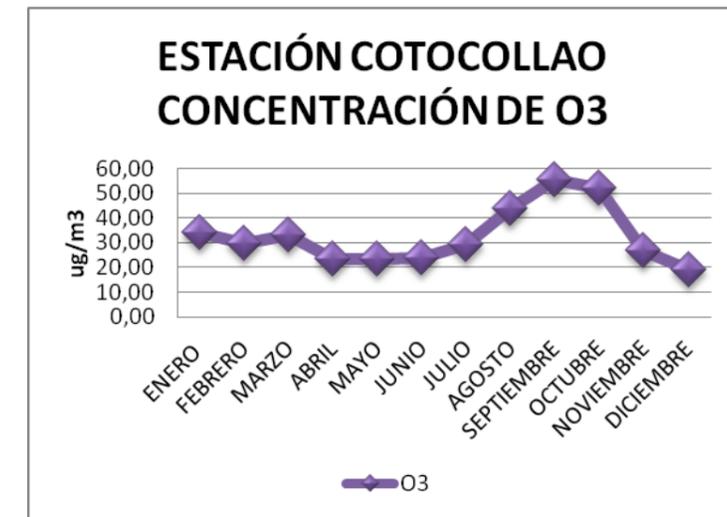
Cotocollao	Correg.	Belisario	Correg.	El Camal	Correg.	Centro	Correg.	Guamaní	Correg.
25,42	34,07	22,53	30,18	22,13	29,65	23,26	31,17	31,61	42,35
22,00	29,48	19,02	25,48	18,04	24,18	19,25	25,79	25,35	33,97
24,49	32,81	19,92	26,69	21,04	28,20	21,00	28,14	30,35	40,66
17,39	23,30	13,53	18,13	15,27	20,46	15,50	20,77	21,03	28,17
17,36	23,27	14,78	19,81	17,00	22,77	17,82	23,88	23,17	31,05
17,85	23,92	16,56	22,19	17,14	22,97	17,31	23,20	25,89	34,69
21,64	28,99	18,17	24,35	16,31	21,85	18,87	25,29	29,05	38,93
32,56	43,64	29,21	39,14	33,19	44,47	31,65	42,42	45,68	61,21
41,44	55,53	40,79	54,66	44,78	60,00	42,34	56,74	58,41	78,28
38,90	52,12	31,39	42,06	30,09	40,32	32,89	44,07	41,56	55,69
19,84	26,58	19,46	26,08	20,80	27,88	22,41	30,02	29,23	39,17
14,33	19,20	18,01	24,13	19,88	26,64	19,86	26,61	25,25	33,83

Elaborado por: GESAMBCONSULT

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria

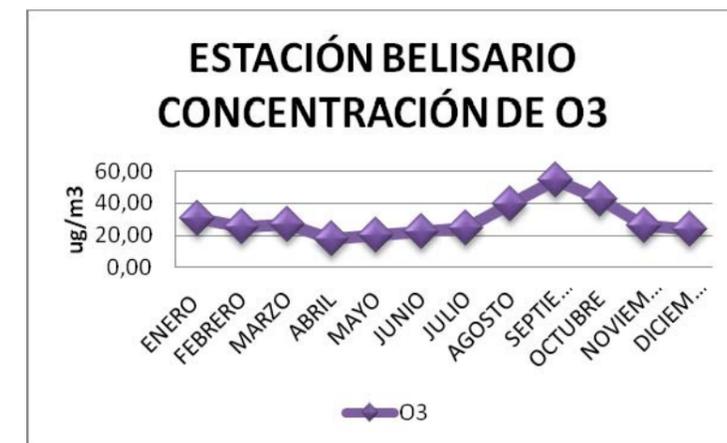
De acuerdo a la normativa ambiental vigente, se evidencia que las concentraciones están dentro de los límites permisibles en cada una de las estaciones de monitoreo, como muestran las Figuras 6.56 a 6.60. De acuerdo a la Tabla 1 del Anexo 4.I Libro IV del TULSMA, se establece que alerta posee concentraciones de oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>) en la atmósfera superiores de 300, alarma 600 y emergencia 800.

**Figura 6.56 Estación Cotocollao**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

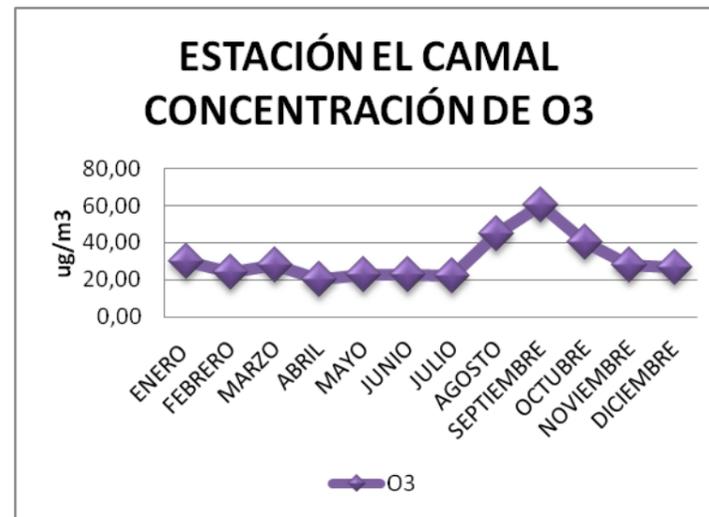
**Figura 6.57 Estación Belisario**



Elaborado por: GESAMBCONSULT

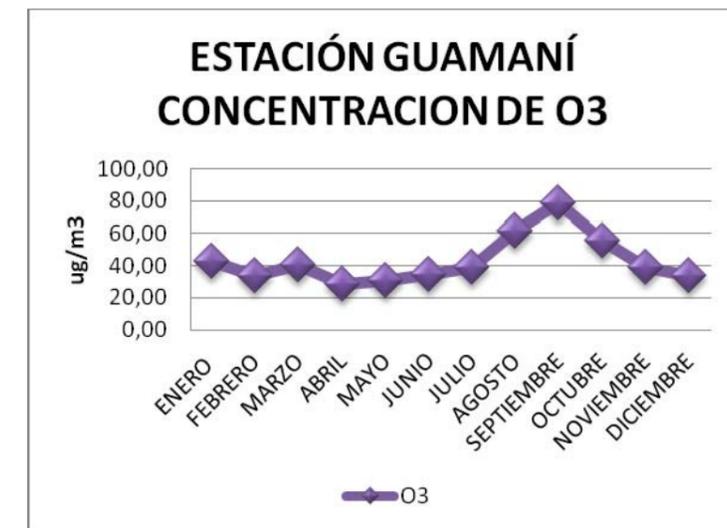


Figura 6.58 Estación El Camal



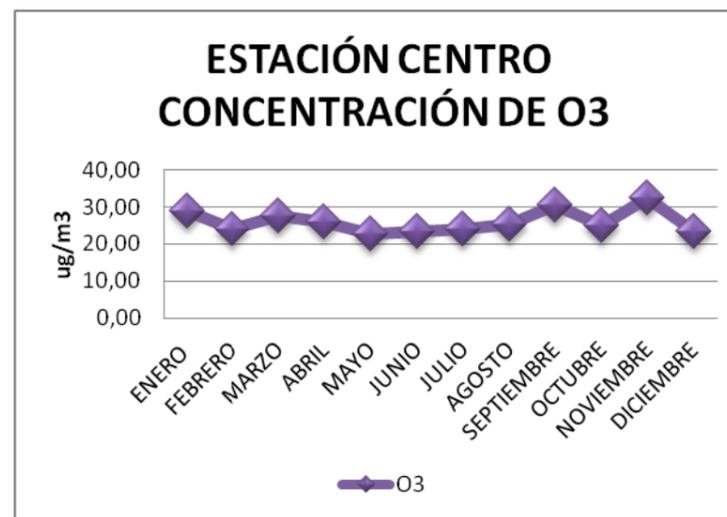
Elaborado por: GESAMBCONSULT

Figura 6.60 Estación Guamaní



Elaborado por: GESAMBCONSULT

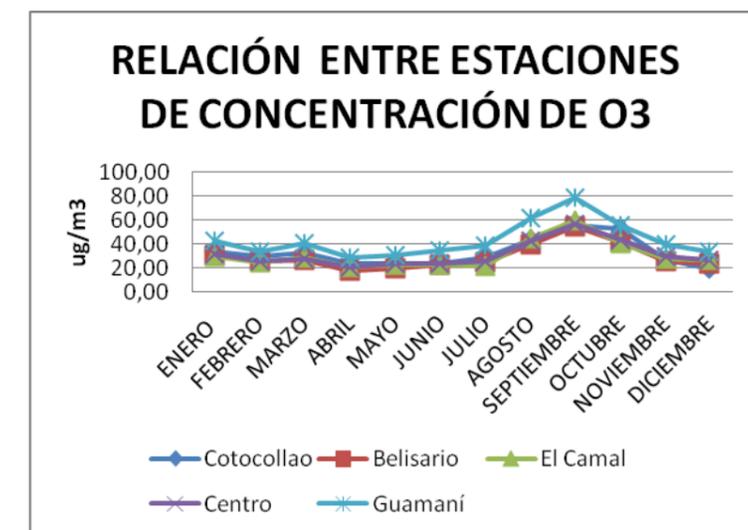
Figura 6.59 Estación Centro



Elaborado por: GESAMBCONSULT

En la Figura 6.61, se muestra la relación de estaciones en concentraciones de oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>), es evidente que la estación de Guamaní presenta la más elevada concentración.

Figura 6.61 Relación entre estaciones en concentraciones de O<sub>3</sub>



Elaborado por: GESAMBCONSULT

El Municipio de Quito en su Informe de la Calidad de Aire en Quito de 2010, informó que los registros de ozono (O<sub>3</sub>) revelan que el sector con la mayor concentración de ozono troposférico es Pomasqui, seguidos por Cruz Loma (causado por el incremento de este contaminante con la altura sobre el nivel del mar y por el incremento de la radiación solar) y Guayllabamba.



## Conclusiones

La calidad de aire se encuentra bajo los límites permisibles que establece la normativa ambiental ecuatoriana en cuanto a la concentración de contaminantes atmosféricos como dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes fotoquímicos; sin embargo, uno de los problemas que tiene el DMQ son las concentraciones de material particulado que presentan valores por sobre la norma ambiental, causando problemas respiratorios a la ciudadanía.

### 6.2.5 Ruido y vibraciones

#### Ruido

El ruido es la forma de contaminación más frecuente y subestimada y puede definirse como cualquier sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, inoportuno o desagradable. En un sentido más amplio, ruido es todo sonido percibido no deseado por el receptor, y se define al sonido como todo agente físico que estimula el sentido del oído.

De acuerdo a la OIT la pérdida de la capacidad auditiva es el efecto perjudicial del ruido más conocido y probablemente el más grave, pero no el único. A determinada intensidad y tiempo de exposición produce daños (en algunos casos irreparables) en nuestra capacidad de audición, además de otras reacciones psicológicas y fisiológicas en nuestro organismo.

La nocividad del ruido depende de:

- Nivel de intensidad
- Tiempo de exposición
- Frecuencia: Los ruidos de alta frecuencia son más nocivos que los de baja frecuencia
- Intervalo entre las exposiciones
- Sujeto pasivo receptor

Los niveles y espectros del ruido están en función de diversos parámetros tales como: tipo de vehículos, carga transportada, condiciones de utilización, estado de la infraestructura urbana (naturaleza del pavimento, regulación del tráfico, estructura urbanística). De los parámetros anteriores la intensidad del tráfico es el parámetro de mayor relevancia.

En esta sección se tratará la contaminación por ruido ambiental en la ciudad de Quito. Los resultados obtenidos servirán para comparar los niveles de ruido existentes con la normativa ambiental vigente que regula dichas emisiones.

#### Antecedentes

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) a través de su Secretaría de Ambiente monitorea las emisiones de ruido ambiente en la zona urbana de Quito desde el año 2003. A continuación se presenta, separado por periodos, los resultados de las mediciones de ruido hasta el año 2010, e incluso hasta marzo de 2011 en el caso de las nuevas estaciones de monitoreo, es decir la información más actualizada con la que se contó al momento del levantamiento de datos.

Según los resultados del monitoreo realizados entre 2005 y 2006, se presentaron casos con altos valores de ruido producidos por fuentes móviles, que alcanzaron valores entre 81,9 y 88,5 decibeles. En la Tabla 6.28 se resumen los datos.

Tabla 6.28 Registro de emisiones de ruido en Quito. Años 2005 y 2006

DECIBELES	HORA	FECHA	LUGAR	FUENTES MÓVILES
88,5 dB(A)	17h55	15 sep 2005	Administración zonal Quitumbe. Av. Mariscal Sucre y Calle G. Barrio La Florida	130 vehículos livianos (69%), 16 vehículos pesados, 6 motocicletas, 37 buses y busetas (20%)
87,0 dB(A)	10h35	03 oct 2006	Administración zonal Eloy Alfaro. Cardenal de la Torre y Ajaví	82% vehículos livianos 9% buses y busetas
84,7 dB(A)	10h30	23 nov 2006	Administración zonal Norte. Av. Eloy Alfaro y Los Álamos	65% vehículos livianos, 20% vehículos pesados, 9% buses y busetas
84,4 dB(A)	09h20	20 oct 2005	Administración zonal Norte. Av. Eloy Alfaro y Los Álamos	74% vehículos livianos 19% vehículos pesados y 5% de buses y busetas
83,7 dB(A)	18h40	28 sep 2005	Administración zonal Eloy Alfaro. Necochea y Huancavilca	80% vehículos livianos, 15% de buses y busetas
81,9 dB(A)	12h25	19 sep 2006	Administración zonal Quitumbe. Av. Panamericana Sur. Km 14	62% vehículos livianos, 19% buses y busetas

Fuente: Atlas Ambiental de Quito, 2011

Para el año 2007, el 97% de las mediciones fueron superiores a 65 dB(A), siendo el transporte pesado la principal fuente de ruido.

En el año 2010 el MDMQ tomó medidas de control y mitigación para enfrentar el elevado incremento del parque automotor y sus consecuencias (congestión vehicular, pérdida de calidad de aire y emisiones de ruido) mediante la implementación del sistema Pico y Placa además del control de revisión vehicular obligatoria en el Distrito Metropolitano de Quito.

Actualmente, el DMQ cuenta con tres estaciones de monitoreo para emisiones de ruido ambiente: Jipijapa, Centro Histórico y El Camal, las que monitorean de manera permanente desde el mes de diciembre de 2010 en Jipijapa y desde el mes de marzo del año 2011 en El Camal y Centro Histórico.

Quito es la única ciudad del Ecuador que monitorea emisiones de ruido ambiente de manera sistemática, esto es, con sonómetros Tipo 1 y su respectivo calibrador tipo 1, los cuales permiten calcular el nivel de presión sonora equivalente (Leq expresado en decibeles dBA), para un tiempo de integración 1 hora percentiles L10 y L90.

En la Tabla 6.29 se presentan los promedios obtenidos en las estaciones mencionadas desde que se inició el monitoreo.

**Tabla 6.29 Promedios de monitoreo registrados en estaciones en el DMQ**

ESTACIÓN	PROMEDIO DÍA (dBA)	PROMEDIO NOCHE (dBA)
El Camal	64,2	59,0
Centro Histórico	59,0	54,3
Jipijapa	64,4	60,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la Secretaría Municipal de Medio Ambiente, 2011

En cuanto a la medición de las emisiones de ruido desde fuentes móviles, dispuestas por la Ordenanza Metropolitana 213, los rangos de cumplimiento son establecidos en la Norma Técnica INEN 2349 y aplicados por la Revisión Técnica Vehicular, tal como se indica en la Tabla 6.30.

**Tabla 6.30 Límites para emisiones de ruido en fuentes móviles**

Tipo de vehículo	Rango (en dB)	Calificación del defecto	Descripción de la calificación
Livianos y Taxis	>88 dB	Tipo III	Peligroso, el vehículo es rechazado
Livianos y Taxis	83 < X < 88	Tipo II	Grave, la acumulación de 10 defectos graves de diferentes familias o de 4 de la misma familia son causa de rechazo
Livianos y Taxis	75 < X < 83	Tipo I	Moderado, no involucra riesgo inminente, pero con el tiempo puede convertirse en II y luego en III; no es causa de rechazo
Motos y buses	>90 dB	Tipo III	Peligroso, el vehículo es rechazado
Livianos y Taxis	85 < X < 90	Tipo II	Grave, la acumulación de 10 defectos graves de diferentes familias o de 4 de la misma familia son causa de rechazo



Tipo de vehículo	Rango (en dB)	Calificación del defecto	Descripción de la calificación
Livianos y Taxis	75 < X < 85	Tipo I	Moderado, no involucra riesgo inminente, pero con el tiempo puede convertirse en II y luego en III; no es causa de rechazo

Fuente: Norma Técnica INEN 2349, Revisión Técnica Vehicular, 2011

Las mediciones se hacen en los Centros de Revisión y Control Vehicular. La fiscalización de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) está siendo transferida de CORPAIRE a la Secretaría de Movilidad del MDMQ.

En la Tabla 6.31 se resume el desempeño positivo de los vehículos en la RTV. Como se ve, las motos son las más ruidosas, pese a que la norma es más permisiva con ellas (por eso, es correcto incluirlas dentro de la RTV y de todas las medidas de restricción de la circulación vigentes).

**Tabla 6.31 Desempeño de la revisión de tránsito vehicular**

AÑO	MOTOS (%)	LIVIANOS (%)	PESADOS (%)
2006	2,2	2,0	1,4
2007	1,1	0,9	1,1
2008	2,4	0,9	0,7
2009	1,4	0,3	1,0
2010	0,8	0,5	0,3

Fuente: Elaboración propia, 2011

### Metodología

Para la realización del monitoreo de ruido ambiente, se contrató los servicios de un Laboratorio acreditado ante el OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano), él mismo fue AFH Services quien consta dentro del listado de laboratorios acreditados para el parámetro de Acústica Ambiental y está registrado dentro de la Secretaría Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, se realizaron sendas mediciones en el horario diurno y nocturno en la ubicación en las que se asentarían las estaciones del Metro.

El laboratorio que realizó las mediciones está acreditado bajo la Norma ISO 1996-2, que es la Norma Internacional para Acústica Ambiental.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados previo a varias visitas de reconocimiento de las áreas de influencia de cada estación y considerando las principales arterias de circulación vehicular. A continuación se detalla cada estación con el punto de muestreo escogido (Ver Tabla 6.32).

**Tabla 6.32 Puntos de muestreos de ruido seleccionados**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS (WGS84)	
		ESTE	NORTE
<b>SECTOR SUR</b>			
SOLANDA	P1.-José María Alemán y Simón Guerra	774041	9970486
EL CALZADO	P2.-Av. Cardenal de la Torre y Vicente Reyes	774603	9971542
QUITUMBE	P3.-Av. Cóndor Ñan ( Entrada Peatonal Terminal)	772111	9967324
MORAN VALVERDE	P4.-Av. Morán Valverde y Rumichaca	772834	9968911
MAGDALENA	P5.-Av. Jacinto Collaguazo y Gatazo	775384	9973557
RECREO	P6.-Rafael Arteta y Miguel Carrión	775974	9972141
<b>SECTOR NORTE</b>			
EL LABRADOR	P1.-Av. Amazona y Av. Galo Plaza	779997	9982564
JIPIJAPA	P2.-Río Cofanes y Av. Amazonas	780121	9981988
LA CAROLINA	P3.-Av. Amazonas y República	779665	9979238
LA PRADERA	P4.-Av. Eloy Alfaro y Las Casas	779042	9978483
ESCOBRERA 1	P5.-Av. González Suárez y Coruña	780843	9978613
ESCOBRERA 2	P6.-Francisco Compte y Camino de Orellana	781097	9978348
IÑAQUITO	P7.-Av. Naciones Unidas y Japón	780084	9980477
<b>SECTOR CENTRO</b>			
SAN FRANCISCO	P1.-Sucre y Benalcázar ( Plaza San Francisco)	776666	9975593
ALAMEDA	P2.-Av. 10 de Agosto y Gran Colombia	777795	9976074
EL EJIDO 1	P3.-Av. 6 de Diciembre y Tarquí	778449	9976642
EL EJIDO 2	P4.-Av. Patria y Amazonas	778625	9977020
UNIVERSIDAD CENTRAL	P5.-Av. América frente puerta de Ingreso UCE	778177	9977898

Fuente: AFH Services, abril 2012

La localización Geográfica de los puntos de monitoreo fue la siguiente:

El procedimiento para la realización del monitoreo corresponde al acreditado por el laboratorio AFH Services , este es el AFHPE1301 Procedimiento de Medición de Ruido.

En el mencionado procedimiento se realiza por parte del laboratorio tres mediciones de tres minutos cada una, para tener una representatividad de repetibilidad de la toma de muestra de ruido ambiente.

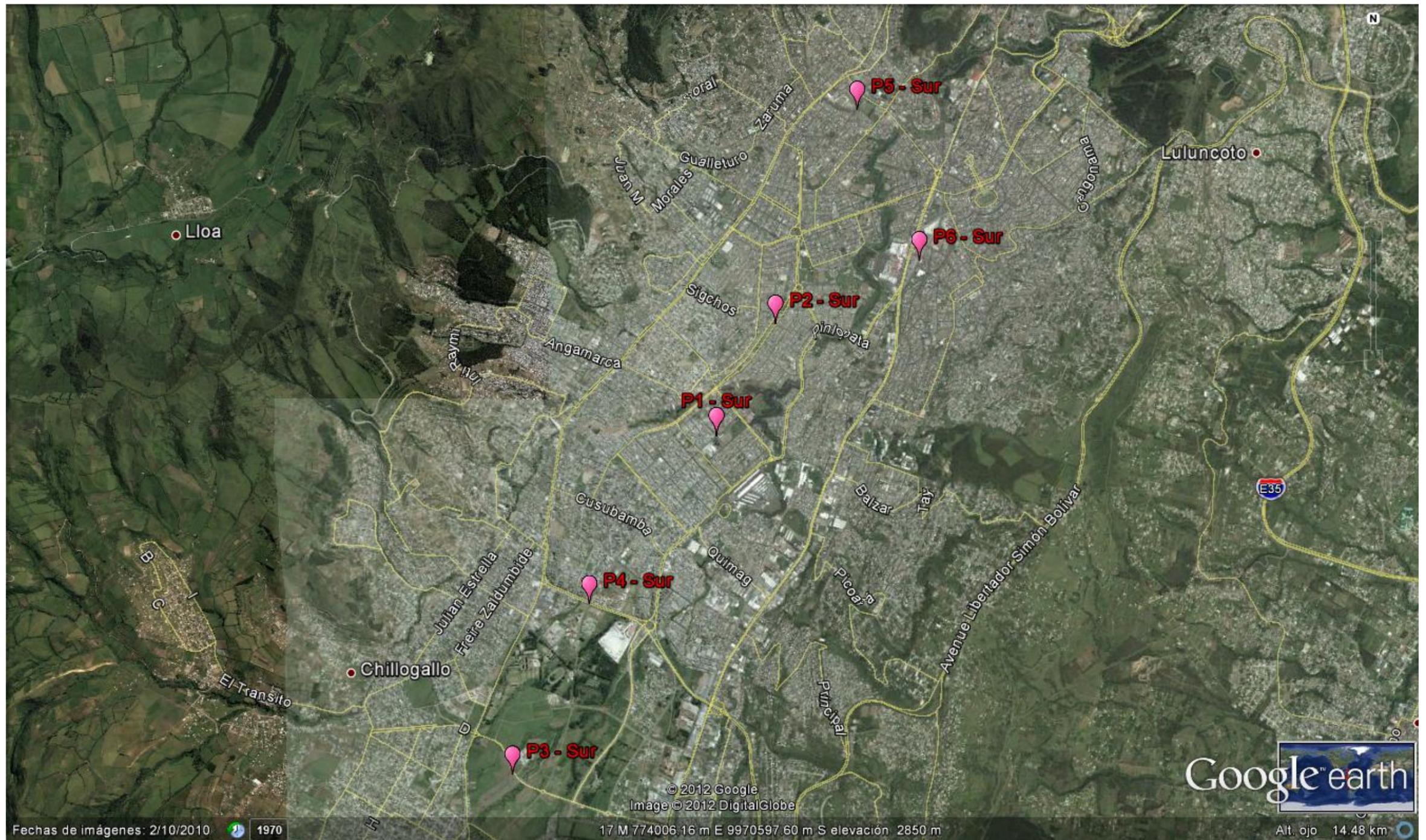
#### Configuración de Sonómetro

Se configuró el sonómetro para la medición de ruido ambiental en una respuesta Lenta ( Slow) y Factor de Ponderación A, la configuración del sonómetro en estas condiciones dan una simulación de las condiciones de percepción de ruido del oído humano.

#### Condiciones para el muestreo

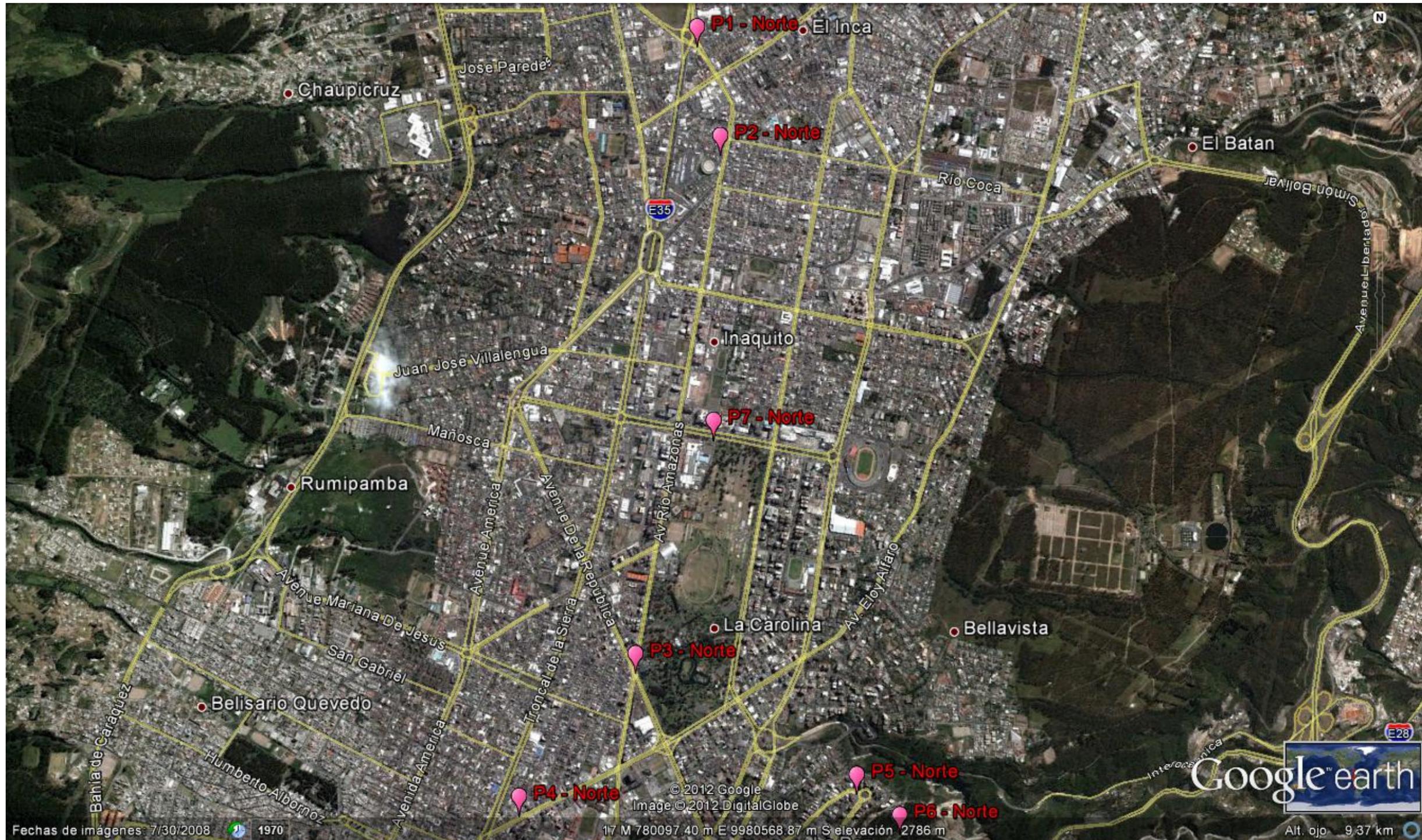
El sonómetro se colocó a una altura de 1,2 m sobre el nivel del suelo en todos los puntos para realizar las respectivas mediciones de ruido.

Figura 6.62 Puntos de monitoreo Sector Sur



Fuente: Elaboración propia, 2011

Figura 6.63 Puntos de monitoreo Sector Norte



Fuente: Elaboración propia, 2011



Figura 6.64 Puntos de monitoreo Sector Centro



Fuente: Elaboración propia, 2011



### Límites Máximos Permisibles Según Tipo de Suelo

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULSMA del Ministerio del Ambiente, en su Libro VI, Anexo 5, señala Límites Máximos Permisibles de Acuerdo al Tipo de Zona según el Uso de Suelo del sector en el cual se realiza el monitoreo, de ahí que tenemos los siguientes límites establecidos diferenciadamente tanto para el horario diurno, como para el horario nocturno (Tabla 6.33).

**Tabla 6.33 Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo**

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE dB(A)	
	De 06h00 a 20h00	De 20h00 a 6h00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona residencial	50	40
Zona residencial mixta	55	45
Zona comercial	60	50
Zona comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Fuente: Libro VI Anexo 5 del TULSMA, 2011

Adicionalmente la Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito sugiere otra clasificación de acuerdo al Tipo de Uso de Suelo, la misma que señala los siguientes Límites Máximos Permisibles

**Tabla 6.34 Niveles máximos de ruido permisibles según Ordenanza 213**

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE dB(A)	
	De 06h00 a 20h00	De 20h00 a 6h00
Zona de Equipamientos y Protección	45	35
Zona residencial	50	40
Zona residencial Múltiple	55	45
Zona comercial	60	50

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE dB(A)	
	De 06h00 a 20h00	De 20h00 a 6h00
Zona Industrial 1	60	50
Zona industrial 2	65	55
Zona industrial 3-4-5	70	60

Fuente: Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213 del DMQ, 2011

### Zonificación según uso de suelo

Para el análisis de los datos de emisiones de ruido ambiental en las distintas estaciones del proyecto se tomó en cuenta el Mapa de Uso de Suelo del Distrito Metropolitano de Quito, que proporciona información de la distribución de residencias, industrias, equipamiento, etc.

Sin embargo, el elevado crecimiento poblacional y la demanda comercial existente en la actualidad ha transformado las zonas residenciales en zonas residenciales mixtas prontas a convertirse en zonas netamente comerciales, debido a que la población del área urbana de Quito tiende a buscar lugares tranquilos y libres de contaminación como lo son los valles y periferias de la ciudad (Cumbayá, Los Chillos, Pomasqui, entre otros) dejando lugares disponibles para usos comerciales.

Además, es una realidad que en Quito existe una mala distribución de uso de suelo, esto se evidencia con la ubicación del Aeropuerto Mariscal Sucre en un área residencial atravesando la ciudad. También existen centros educativos colindando con industrias, instituciones policiales como el GIR en zonas residenciales.

Por lo tanto, para la elaboración del presente análisis se ubicaron las infraestructuras existentes en los alrededores de los puntos de muestreo y se determinó que:

**Tabla 6.35 Zonificación del área en las estaciones de muestreo**

ZONA	ESTACIÓN
RESIDENCIAL MIXTA	Solanda, Calzado, Magdalena, Labrador, Escombrera I, Escombrera II
COMERCIAL	Recreo, San Francisco, Alameda, El Ejido I y II, Carolina, Iñaquito, Jipijapa
HOSPITALARIA Y EDUCATIVA	Moran Valverde, Universidad Central, La Pradera

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en campo, 2011

### Ruido de fondo

Los valores obtenidos para los puntos monitoreados se los debe corregir por la influencia del ruido de fondo que por concepto es el ruido que permanece en ausencia del ruido de la fuente objeto de evaluación, el presente estudio determinó una condición de ruido inicial, una línea base del proyecto, por lo que no aplica la corrección por ruido de fondo.

Cuando el proyecto ya se encuentre en su fase de ejecución se realizará la corrección por ruido de fondo, en los puntos de control que se determinen posteriormente, así mismo la información registrada como nivel de presión sonora equivalente en el presente monitoreo constituirá posteriormente el ruido de fondo con el cual se debe realizar la corrección en los monitoreos posteriores, tal cual se señaló posteriormente.

**Tabla 6.36 Corrección por nivel de ruido de fondo**

DIFERENCIA ARITMÉTICA ENTRE NPSeq DE LA FUENTE Y NPSeq DE FONDO (dBA)	CORRECCIÓN
10 o mayor	0
De 6 a 9	-1
De 4 a 5	-2
3	-3
Menor a 3	medición nula

Fuente: TULSMA Libro VI Anexo 5, 2011

### Resultados

La tabla siguiente nos señala los resultados obtenidos en el monitoreo de Ruido Ambiente:

**Tabla 6.37 Resultados de Monitoreo de ruido ambiente**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS (WGS84)		NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO
		ESTE	NORTE		
<b>SECTOR SUR</b>					
SOLANDA	José María Alemán y Simón Guerra	774041	9970486	68.4	61.9
EL CALZADO	Av. Cardenal de la Torre y Vicente Reyes	774603	9971542	100.3	69.7
QUITUMBE	Av. Cóndor Ñan ( Entrada Peatonal Terminal)	772111	9967324	66.9	61.1
MORAN VALVERDE	Av. Morán Valverde y Rumichaca	772834	9968911	75.3	57.8
MAGDALENA	Av. Jacinto Collaguazo y Gatazo	775384	9973557	65.5	67.3
RECREO	Rafael Arteta y Miguel Carrión	775974	9972141	63.1	62.3
<b>SECTOR NORTE</b>					
LABRADOR	Av. Amazona y Av. Galo Plaza	779997	9982564	73.4	66.6
JIPIJAPA	Río Cofanes y Av. Amazonas	780121	9981988	75.5	64.9
LA CAROLINA	Av. Amazonas y República	779665	9979238	75.5	69.7
LA PRADERA	Av. Eloy Alfaro y Las Casas	779042	9978483	70.3	67.7
ESCOBRERA 1	Av. González Suárez y Coruña	780843	9978613	67.9	62.2
ESCOBRERA 2	Francisco Compte y Camino de Orellana	781097	9978348	58.6	61.6
IÑAQUITO	Av. Naciones Unidas y Japón	780084	9980477	72.1	69.1
<b>SECTOR CENTRO</b>					
SAN FRANCISCO	Sucre y Benalcázar ( Plaza San Francisco)	776666	9975593	69.6	54.4
ALAMEDA	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia	777795	9976074	71.4	61.8
EL EJIDO 1	Av. 6 de Diciembre y Tarqui	778449	9976642	71.4	67.1
EL EJIDO 2	Av. Patria y Amazonas	778625	9977020	74.9	70.1
UNIVERSIDAD CENTRAL	Av. América frente puerta de Ingreso UCE	778177	9977898	75.1	75.1

Fuente: AFH Services, Abril 2012

Realizando una Evaluación de los resultados de Cada una de las Estaciones tenemos:

### ESTACION SOLANDA

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Residencial Mixta (TULSMA) y su equivalencia como Zona Residencial Múltiple (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 55 dB A para el horario diurno y 45 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

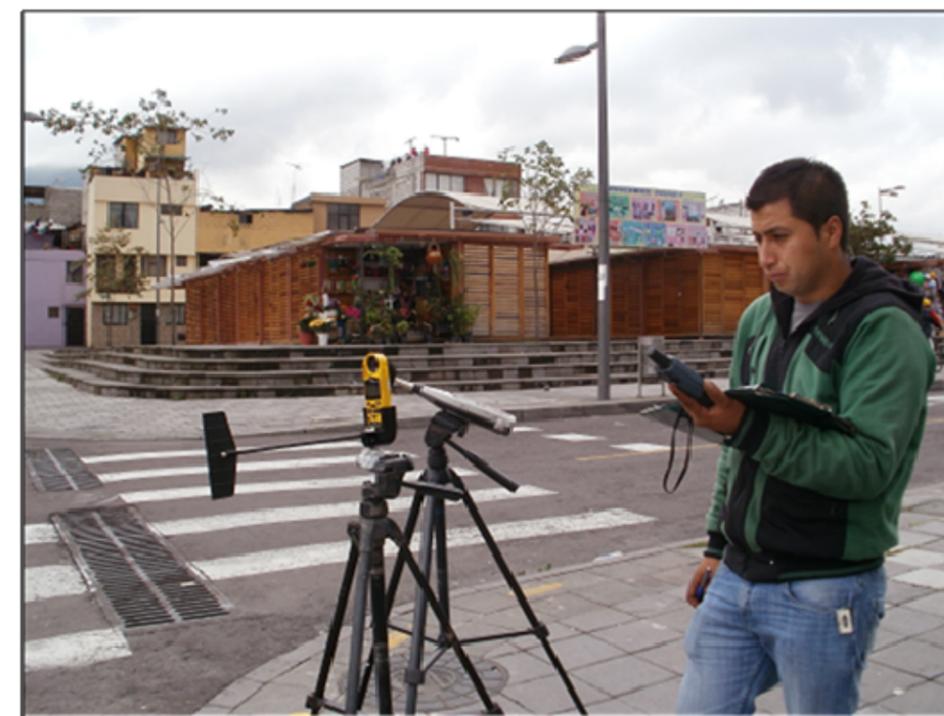
**Tabla 6.38 Resultados de Monitoreo Estación Solanda**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 55 DBA	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 45 DB A
SOLANDA	José María Alemán y Simón Guerra	68.4	NO CUMPLE	61.9	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

De los resultados anteriores evidenciamos incumplimiento con los límites máximos aplicables, esta situación se da porque la afluencia vehicular en este sector es alta, ya que la calle José María Alemán es una vía muy transitada en el barrio de Solanda y cuenta además con múltiples negocios localizados en la misma.

**Figura 6.65 Fotografía de muestreo Estación Solanda**



### EL CALZADO

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Residencial Mixta (TULSMA) y su equivalencia como Zona Residencial Múltiple (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 55 dB A para el horario diurno y 45 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.39 Resultados de Monitoreo Estación El Calzado**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 55 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 45 DBA
EL CALZADO	Av. Cardenal de la Torre y Vicente Reyes	100.3	NO CUMPLE	69.7	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

De los resultados anteriores evidenciamos incumplimiento con los límites máximos aplicables, aunque este sector es netamente residencial, se tiene en el sector varios negocios establecidos, así como también existe una gran influencia en el ruido el paso del Trolebús por este sector.

**Figura 6.66 Fotografía de muestreo Estación El Calzado**



Fuente: AFH Services, Abril 2012

**QUITUMBE**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.40 Resultados de Monitoreo Estación El Quitumbe**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 60 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 50 DBA
QUITUMBE	Av. Cóndor Ñan ( Entrada Peatonal Terminal)	66.9	NO CUMPLE	61.1	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

Este punto de monitoreo se localiza en la Entrada de la Terminal Sur Quitumbe, de ahí que en este sector tenemos el constante paso de Vehículos Pesados y Livianos, así como varias actividades comerciales derivadas, como ventas ambulantes, etc.

**Figura 6.67 Fotografía de muestreo Estación Quitumbe**



Fuente: AFH Services, Abril 2012

**MORAN VALVERDE**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Hospitalaria y Educativa (TULSMA) y su equivalencia como Zona de Equipamientos y Protección (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 45 dB A para el horario diurno y 35 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.41 Resultados de Monitoreo Estación Morán Valverde**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 60 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 50 DBA
		NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 45 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 35 DBA
MORAN VALVERDE	Av. Morán Valverde y Rumichaca	75.3	NO CUMPLE	57.8	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

Debido a la infraestructura ubicada alrededor de esta Zona, Colegios, se la considera una zona Hospitalaria y Educativa, aún así el ruido existente en el sector sobrepasa el nivel máximo permisible tanto en el horario diurno y nocturno, esto debido a la gran cantidad de buses escolares, buses de línea y demás vehículos que circulan por el sector.

**Figura 6.68 Fotografía de muestreo Estación Morán Valverde**

Fuente: AFH Services, Abril 2012

**MAGDALENA**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Residencial Mixta (TULSMA) y su equivalencia como Zona Residencial Múltiple (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 55 dB A para el horario diurno y 45 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.42 Resultados de Monitoreo Estación Magdalena**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 55 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 45 DBA
MAGDALENA	Av. Jacinto Collaguazo y Gatazo	65.5	NO CUMPLE	67.3	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En esta zona evidenciamos incumplimiento con el límite máximo permisible, debido a que esta vía tiene tráfico constante tanto en el día como en la noche.

**Figura 6.69. Fotografía de muestreo Magdalena**



**RECREO**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:



**Tabla 6.43 Resultados de Monitoreo Estación El Recreo**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
			60 DB A		50 DBA
RECREO	Rafael Arteta y Miguel Carrión	63.1	NO CUMPLE	62.3	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En Esta Zona se tiene como principal fuente de ruido el paso de los vehículos del Sistema Trolebús, y que la Estación Recreo se encuentra en este sector.

**Figura 6.70 Fotografía de muestreo Estación Recreo**



**LABRADOR**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se tiene que esta Estación está ubicada en una Zona Residencial Mixta, por tanto se aplica los límites permisibles que constan en el Anexo 5, Libro VI del TULSMA. Los



límites máximos permisibles son de 55 dB A para el horario diurno y 45 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.44 Resultados de Monitoreo Estación Labrador**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
		HORARIO DIURNO	55 DB A	HORARIO NOCTURNO	45 DBA
LABRADOR	Av. Amazona y Av. Galo Plaza	73.4	NO CUMPLE	66.6	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En esta zona tenemos una gran influencia del ruido proveniente de las operaciones de aterrizaje y despegue de los aviones del Aeropuerto Mariscal Sucre, así como el alto tráfico vehicular de las Avenidas Galo Plaza (10 de Agosto) y Av. Amazonas.

**Figura 6.71 Fotografía de muestreo Labrador**



**JIPIJAPA**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.45 Resultados de Monitoreo Estación Jipijapa**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
		HORARIO DIURNO	60 DB A	HORARIO NOCTURNO	55 DBA
JIPIJAPA	Río Cofanes y Av. Amazonas	75.5	NO CUMPLE	64.9	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

Este sector, al tratarse de una zona netamente Comercial siempre tiene un tráfico alto, así mismo existen muchos negocios localizados en el sector y adicionalmente por la calle Río Cofanes se tiene el recorrido de varias líneas de buses alimentadores del Sistema Trolebús.

**Figura 6.72 Fotografía de muestreo Estación Jipijapa**



## LA CAROLINA

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron

**Tabla 6.46 Resultados de Monitoreo Estación La Carolina**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 60 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 55 DBA
LA CAROLINA	Av. Amazonas y República	75.5	NO CUMPLE	69.7	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

Esta zona tiene una afluencia de Tráfico muy alta, debido especialmente a que la Av. República es una arteria principal utilizada por los vehículos para cruzar la ciudad en sentido Oriente – Occidente, de ahí que debido a este factor, se evidencia incumplimiento con los límites máximos permisibles. Adicionalmente en este sector se encuentra localizado el Centro Comercial Mall El Jardín.

**Figura 6.73 Fotografía de muestreo Estación La Carolina**



## LA PRADERA

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Hospitalaria y Educativa (TULSMA) y su equivalencia como Zona de Equipamientos y Protección (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 45 dB A para el horario diurno y 35 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

**Tabla 6.47 Resultados de Monitoreo Estación La Pradera**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 45 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 35 DBA
LA PRADERA	Av. Eloy Alfaro y Las Casas	70.3	NO CUMPLE	67.7	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En este sector existen varias Clínicas y Consultorios Médicos, por esta razón se considera un Uso e Suelo Hospitalario para el mismo, sin embargo observamos que los resultados obtenidos sobrepasan los LMPs (Límites Máximos Permisibles), especialmente por el tráfico de la Av. Eloy Alfaro.

**Figura 6.74 Fotografía de muestreo Estación La Pradera**



El ruido de este sector proviene principalmente de los vehículos que transitan por la Calle Camino de Orellana, ya que esta es la ruta que los mismos utilizan para acceder desde la Nueva Vía Oriental hacia el sector del Hotel Quito en la Av. González Suárez.

**IÑAQUITO**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron



**Tabla 6.48 Resultados de Monitoreo Estación Iñaquito**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
			60 DB A		50 DBA
IÑAQUITO	Av. Naciones Unidas y Japón	72.1	NO CUMPLE	69.1	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

El sector localizado entre las Avenidas NN.UU y Japón podría decirse es el principal sector comercial del Norte de Quito, en este sector se ubican varios Centros Comerciales: CCI – Caracol – CCNU, así mismo el Boulevard de la Av. Naciones Unidas, esto hace que este sector siempre tenga un nivel de tráfico muy alto, lo que provoca a su vez que los valores de ruido del sector sean elevados.

**Figura 6.75 Fotografía de muestreo Estación Iñaquito**



## SAN FRANCISCO

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron

**Tabla 6.49 Resultados de Monitoreo Estación San Francisco**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 60 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 50 DBA
SAN FRANCISCO	Sucre y Benalcázar ( Plaza San Francisco)	69.6	NO CUMPLE	54.4	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

La Plaza de San Francisco es uno de los principales atractivos turísticos visitados durante el día y la noche por parte de personas del país como extranjeros, esto hace que en el sector confluyan varios negocios, ventas informales y un nivel de tráfico considerable, esto se evidencia cuando notamos que los resultados obtenidos no cumplen con los límites máximos permisibles del sector.

**Figura 6.76 Fotografía de muestreo Estación San Francisco**



## ALAMEDA

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación está ubicada en una Zona Comercial por lo que se aplican los límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno, según lo especificado en el TULSMA. Los resultados obtenidos para esta estación fueron

Tabla 6.50 Resultados de Monitoreo Estación Alameda

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
			60 DB A		50 DBA
ALAMEDA	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia	71.4	NO CUMPLE	61.8	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

La principal contribución de ruido del Sector es el alto nivel de tráfico que existe ya que en este sector confluyen las Calles Gran Colombia y 10 de Agosto para acceder a la Marín, así como se tiene una parada del Trolebús en el sector Occidental, esto hace que los niveles de ruido del sector sobrepasen el Límite Máximo Permissible.

Figura 6.77 Fotografía de muestreo Estación Alameda



## EI EJIDO 1

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron

Tabla 6.51 Resultados de Monitoreo Estación El Ejido1

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO (dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO
			60 DB A		50 DBA
EL EJIDO 1	Av. 6 de Diciembre y Tarqui	71.4	NO CUMPLE	67.1	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En este sector tenemos un alto nivel de tráfico, cabe señalar que dentro de las infraestructuras cercanas se encuentran la Asamblea y los Juzgados, esto hace que este sector cuente con un nivel de ruido elevado, evidenciando incumplimiento con el LMP.

**Figura 6.78 Fotografía de muestreo Estación El Ejido 1**



**EL EJIDO 2**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Comercial (TULSMA) y su equivalencia como Zona Comercial (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 60 dB A para el horario diurno y 50 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron

**Tabla 6.52 Resultados de Monitoreo Estación El Ejido2**

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO DIURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 60 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A) HORARIO NOCTURNO	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 50 DBA
EL EJIDO 2	Av. Patria y Amazonas	74.9	NO CUMPLE	70.1	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

El tráfico observado y que existe en este sector es alto, ya que se encuentra muy cerca el puente conocido como del Guambra y la avenida Amazonas , así como el comercio del sector del Ejido en su sector norte, esto se evidencia en los valores obtenidos que comparados con la Normativa Vigente demuestran incumplimiento

**Figura 6.79 Fotografía de muestreo Estación El Ejido 2**



**UNIVERSIDAD CENTRAL**

De acuerdo a las observaciones realizadas en el lugar, se infiere que esta Estación, está ubicada en una Zona Hospitalaria y Educativa (TULSMA) y su equivalencia como Zona de Equipamientos y Protección (Norma Técnica de Ruido de la Ordenanza 213), las dos establecen límites máximos permisibles de 45 dB A para el horario diurno y 35 dB A para el horario nocturno. Los resultados obtenidos para esta estación fueron:

Tabla 6.53 Resultados de Monitoreo Estación Universidad Central

ESTACION	PUNTO DE MUESTREO	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO DIURNO 45 DB A	NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE LEQ CORREGIDO ( dB A)	CUMPLIMIENTO HORARIO NOCTURNO 35 DBA
		HORARIO DIURNO		HORARIO NOCTURNO	
UNIVERSIDAD CENTRAL	Av. América frente puerta de Ingreso UCE	75.1	NO CUMPLE	75.1	NO CUMPLE

Fuente: AFH Services, Abril 2012

En el sector se encuentra localizada la Universidad Central del Ecuador, por lo que le corresponde una Zona Hospitalaria y Educativa, sin embargo observamos incumplimiento de los resultados obtenidos respecto al límite máximo permisible, debido a que por la Avenida América existe el paso continuo de vehículos especialmente varias líneas de buses, así como también el paso del Metrobús.

Figura 6.80 Fotografía de muestreo Estación Solanda Universidad Central



## CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos en el monitoreo de ruido, concluimos que en ninguno de los puntos analizados ( localización de las Estaciones del Metro según el proyecto), no se tiene cumplimiento de los niveles máximos permisibles , respecto las dos normativas ambientales vigentes; esto nos permite concluir que la línea base del proyecto en su componente ruido, muestra que aún antes de empezar la fase de ejecución del proyecto los niveles de ruido de los sectores en los que se van a localizar las estaciones ya están sobrepasando los límites máximos vigentes, esto nos indica que los resultados obtenidos en el levantamiento de esta línea base servirán como referencia para realizar el análisis del comportamiento del nivel de presión sonora equivalente , cuando el proyecto se inicie en su etapa de construcción y funcionamiento, de ahí que los valores obtenidos en el presente monitoreo al estar sobre la norma, vienen a constituir un nuevo Límite máximo permisible real de acuerdo a las condiciones del entorno, de manera que cuando el proyecto se encuentre en marcha no se debería superar el nivel de ruido obtenido ahora que no existe aún ningún trabajo de construcción del Metro de Quito.

Las principales fuentes de ruido en todos los puntos monitoreados fueron el paso de los vehículos sean pesados o livianos y el segundo factor fue el comercio existente en cada uno de los sectores en los cuales se realizaron los monitoreos.

Cuando el proyecto se encuentre en su fase de ejecución, se deberán realizar mediciones de las fuentes de ruido, tanto con el criterio ambiental (afectación al entorno), como con el criterio laboral (afectación a los trabajadores del proyecto), de manera que estas se evalúen de acuerdo a las normativas tanto ambientales como laborales vigentes.

Así mismo cuando ya se establezca la fase de construcción y operación se deberá realizar un mapa de Isófonas de las actividades y sectores adyacentes a las Estaciones tales como, viviendas, negocios, centros educativos y hospitalarios (receptores sensibles), con el fin de tener datos del nivel de ruido generado y su ubicación geográfica en el entorno y así de ser necesario establecer las técnicas de Ingeniería que sean necesarias para lograr la atenuación de ruido, al menos a los niveles que se tienen en los resultados de línea base en cada sector específico.

### 6.2.6 Vibraciones

#### Metodología

Los estudios sobre vibración han sido realizados por la empresa TRX Consulting C.A. contratado por Metro de Quito. La descripción de trabajos y resultados que se sintetiza a continuación esta extraída de los productos entregados por dicha empresa al UNMQ. El documento en donde se muestra el Plan de Auscultación y Control de Asientos, el mismo que se encuentra en el Anejo 24, Tomo XLVI del Diseño Definitivo de la Obra Civil para la Primera Línea del Metro de Quito.

El método de análisis de vibraciones, utiliza ruido natural o ruido generado por la actividad humana para caracterizar la distribución de las ondas de corte en el subsuelo; monitorear y establecer una línea base y mediante el ruido natural conocer el periodo fundamental de vibración natural del suelo con fines de microzonificación. El principio de funcionamiento establece que la onda sísmica que se propaga a través del suelo excita al sensor que envía una señal electrónica al Sismógrafo que, a su vez, empleando la computadora portátil como interfase de salida, permite a través del programa MR 2002, grabar la señal sísmica para su posterior análisis tanto en el dominio del tiempo como en frecuencias.

Cabe destacar que el estudio de vibraciones realizado en el presente estudio para la Primera Línea de Metro de Quito, sirve para determinar los niveles de vibración que actualmente se presentan en los puntos de muestreo establecidos, es decir que estos valores miden el nivel de vibración que son los presentados son el resultado que produce el tránsito vehicular y que actualmente soporta la ciudad de Quito, por lo que se trata de factores completamente exógenos a las fases de proyecto y que se describen como datos de línea base de vibraciones para el área de estudio.

Los procedimientos y normativas que se han tomado como referencia en la realización del estudio de sismica pasiva son los siguientes:

- SESAME 2004 Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration: Measurements Processing and Interpretation. European Commission Research General Directorate. Project N° EVG1-CT-2000-00026.
- DIN 4150/2 Control de Vibraciones en Áreas Urbanas, Afectación a Humanos.
- DIN 4150/3 Control de Vibraciones en Áreas Urbanas, Afectación a Edificios.

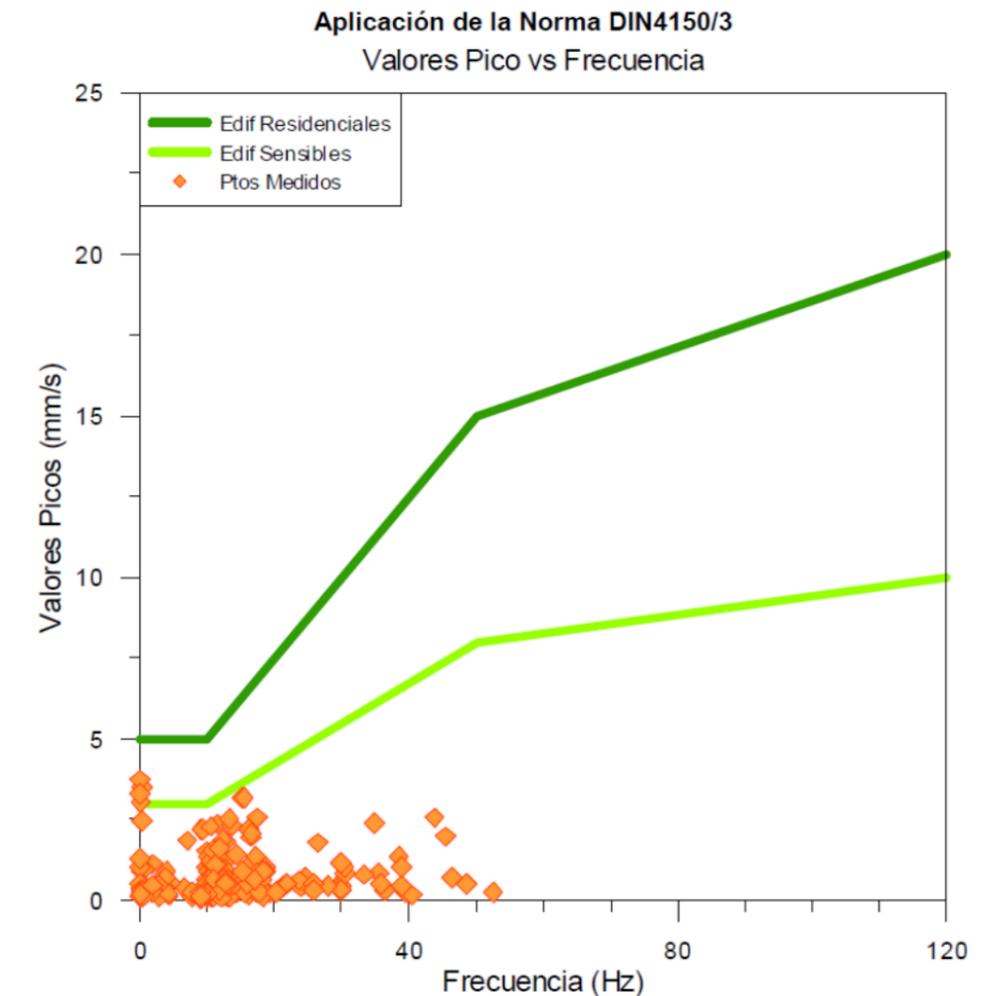
## Resultados

En cada punto de medición por el método de Vibraciones-Ruido Natural se procedió a orientar el sensor de tal forma que la ordenada (eje Y) coincidiera con el norte, luego se niveló y finalmente se tomaron 15 registros de 60s para un total de 15min. de grabación. Esto fue repetido sistemáticamente en cada punto de medición. La ejecución de las medidas se realizó sobre la ruta del metro, sólo en algunos casos donde la ruta pasa por debajo de algunas edificaciones, fue necesario desviar las medidas a menos de 30m del eje de la ruta.

En la Figura siguiente se muestra un gráfico del valor pico de velocidad para cada punto de medición en función de su frecuencia. Adicionalmente se grafica el patrón para la norma DIN4150/3 para edificios residenciales y para edificios ultrasensibles, con el fin de evaluar las frecuencias medidas. Estos valores serán reportados en tablas anexas en reportes posteriores.



Figura 6.81 Correlación valores picos medidos con la norma relativa a afectación edificios.

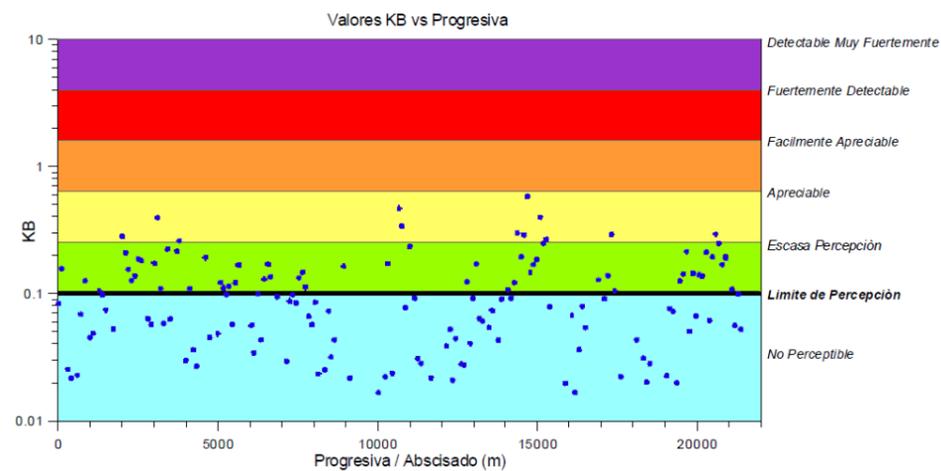


Fuente: TRX Consulting C.A.

El problema relacionado a la percepción humana del movimiento casual es cubierto en estándar DIN 4150/2 (Tabla 2 de la norma).

En la gráfica de Figura siguiente se muestra la relación entre los valores de  $K_b$  y el grado de afectación a humanos a lo largo de toda la ruta.

**Figura 6.82 Grado de afectación a humanos en función de la progresiva.**



Fuente: TRX Consulting C.A.

## Conclusiones

De los estudios realizados pueden extraerse las conclusiones siguientes:

La mayoría de valores medidos de Velocidad-Frecuencia cumplen con lo establecido en la norma DIN4150/3 para edificios sensibles. Los valores que se apartan de la norma sin superar en ningún caso lo establecido para los edificios residenciales pueden ser debidos a puntas de vibraciones no duraderas en el tiempo (obras, etc).

Los valores de KB se sitúan por debajo de la percepción apreciable por los humanos según lo establecido por la norma DIN 4150/2.

Hay que destacar que, a pesar de que el estudio determina que los niveles de vibración no incrementarán significativamente los niveles de vibración natural medidos, se implementarán acciones para mitigar las posibles vibraciones que se generen en las etapas de construcción y operación del Metro. Tales medidas son descritas en el capítulo 11 Planes de Manejo Ambiental del presente Estudio de Impacto Ambiental, así como la implementación de un Plan de Monitoreo continuo de vibraciones.

### 6.2.7 Sísmica pasiva

#### Metodología

Los estudios de sísmica pasiva han sido realizados por la empresa TRX Consulting C.A. contratado por Metro de Quito. La descripción de trabajos y resultados que se sintetiza a continuación está extraída de los productos entregados por dicha empresa al UNMQ

Los estudios sísmicos no invasivos (sísmica pasiva) han sido planeados para:

- Caracterización de sitio como soporte al estudio geotécnico (profundidad substrato y secuencia estratigráfica).
- Clasificación de suelos (IBC-NERPH, Norma Ecuatoriana).
- Identificación riesgos geológicos.
- Caracterización dinámica de la ruta y contribución a los estudios de micro zonación (perfil de ondas de corte, determinación del periodo fundamental entre otros).
- Monitoreo de vibraciones y definición de línea base, afectación a estructura y personas según la norma DIN 4150/2 y 4150/3.

Los métodos de sísmica pasiva utilizados son:

- Sísmica por Micro tremores – ReMi (sísmica pasiva).

El método de sísmica de refracción por micro tremores – ReMi o de análisis de ondas superficiales, utiliza ruido natural o ruido generado por la actividad humana para caracterizar la distribución de las ondas de corte en el subsuelo. La aplicación de esta tecnología, también en ambiente urbano e industrial, permite el cálculo de la velocidad de propagación de la energía de las ondas superficiales (principalmente tipo Rayleigh), a partir de la cual es posible estimar el perfil de velocidades de ondas de corte, espesor de la secuencias estratigráficas, su consolidación y determinar profundidad del substrato geotécnico/roca. Desde los valores de ondas de corte se pueden evaluar parámetros relevantes como la Vs30, la clasificación de suelos y sitios, estimar el factor de amplificación y potencial de licuefacción y definir parámetros geotécnicos como la carga máxima admisible y los módulos elásticos.

Los procedimientos y normativas que se han tomado como referencia en la realización del estudio de sísmica pasiva son los siguientes:

- ASTM D6429 Guide for Selecting Surface Geophysical Methods.
- ASTM D420 Guide to site characterization for Engineering, Design, and construction purposes.
- NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures Part 1: Provisions (FEMA 368) 2000 Edition of Building Seismic Safety Council (BSSC).
- ICC-IBC 2000 Seismic Design Category Provisions.
- ISSMFE, 1993 (rev. 1999) Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Prepared by the Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, of the International Society for

Soil Mechanics and Foundation Engineering. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

- ASTM D420 Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and construction purposes.
- CEC-2002 Código Ecuatoriano de la Construcción.

## Resultados

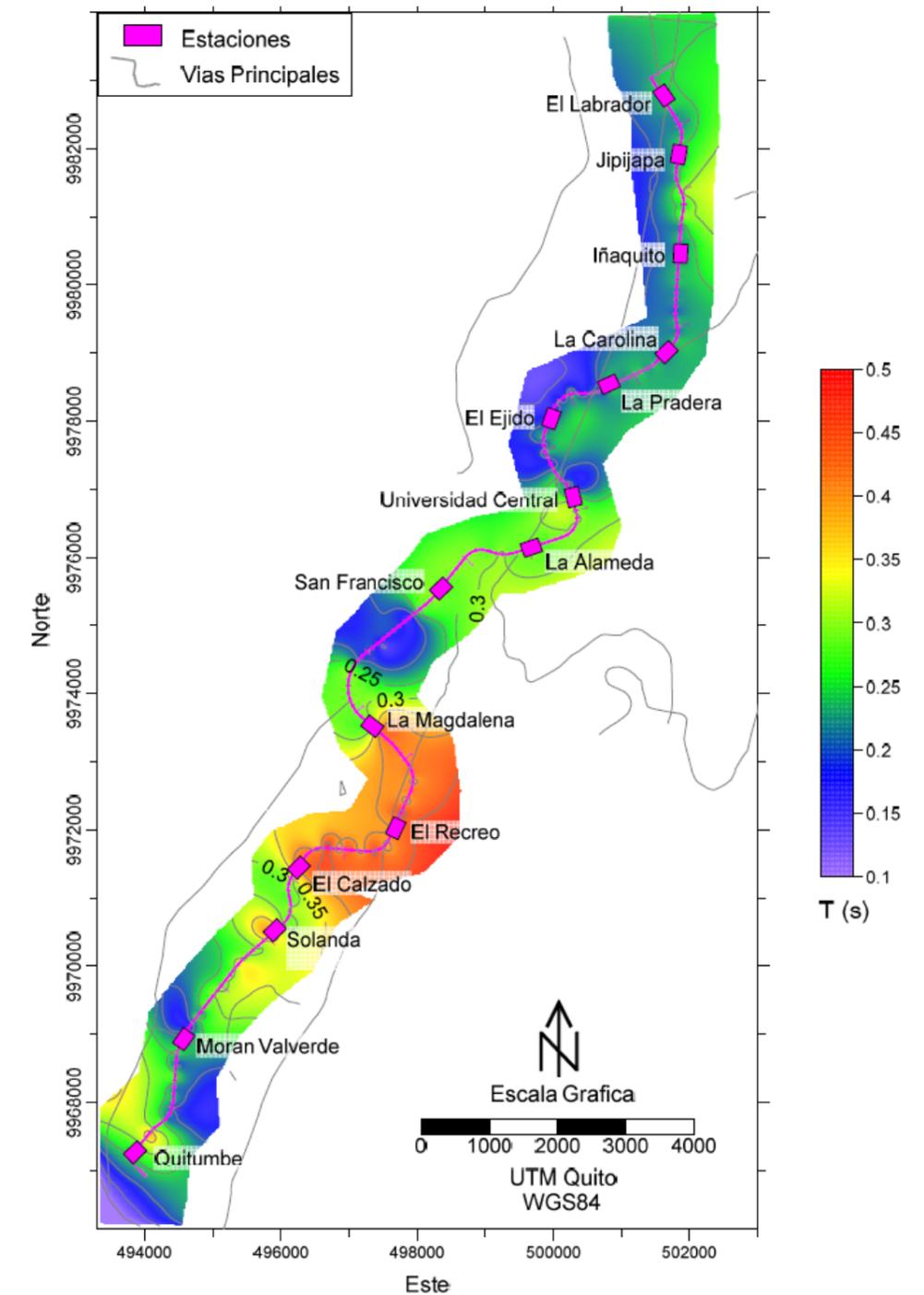
Se ejecutaron 171 tendidos en la ruta desde el abscisado 0+000 hasta el 9+300 y desde el 11+500 hasta el 22+000, con separación de geófonos de 4m y 8m.

Las zonas donde es necesario una investigación a profundidades mayores a 60 metros y donde no se pueden instalar arreglos de cables de largas dimensiones (por la conformación urbana), como es el caso del centro histórico y la zona de Panecillo, se utilizó el sistema de sismógrafos wireless (inalámbrico) Sigma Iseis. Esta tecnología de punta desarrollada para exploración petrolera compleja ha sido utilizada por primera vez para fines geotécnicos en ambientes urbanos densamente poblados y de interés histórico. Este sistema de sismógrafos permite realizar arreglos/implantaciones sísmicas de grandes dimensiones que, en el presente estudio permitieron alcanzar profundidades de más de 300 m. Los estudios se realizaron desde la progresiva 9+300 hasta la progresiva 11+500 con un total de 15 tendidos.

A continuación se presenta el mapa de periodos fundamentales preliminar a lo largo de la ruta y un perfil de correlación con la topografía.

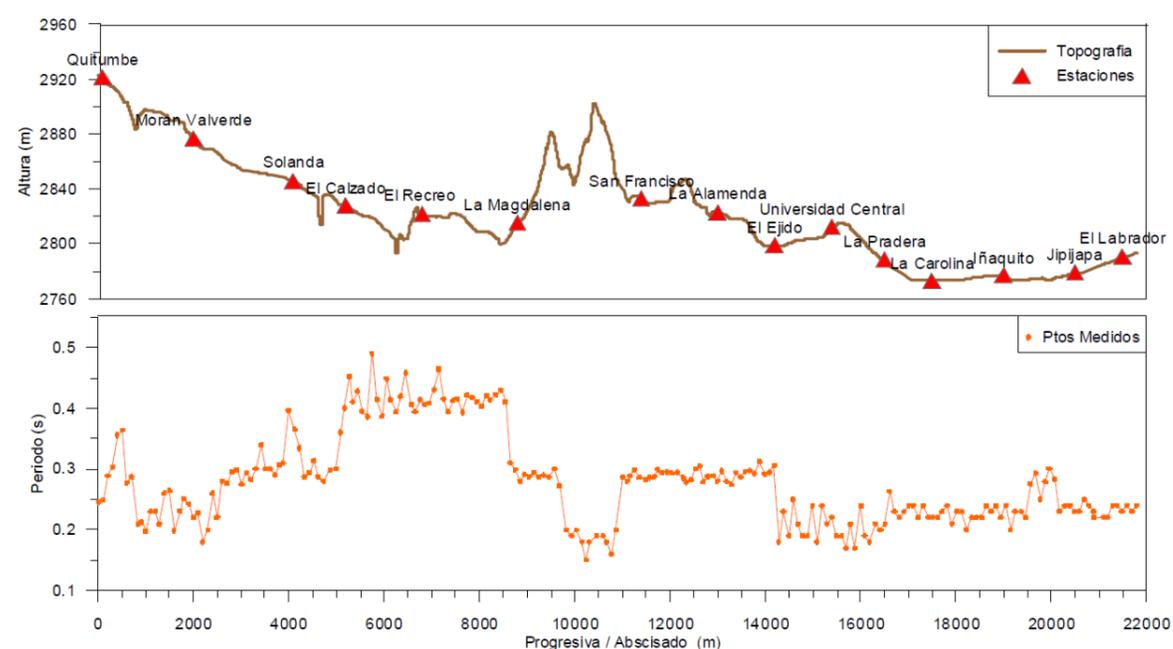


Figura 6.83 Mapa de Isoperiodos a lo largo de la ruta de estudio



Fuente: TRX Consulting C.A.

**Figura 6.84 Perfil topográfico y posición de estaciones (arriba), período fundamental (abajo) en función de la progresiva.**



Fuente: TRX Consulting C.A.

## Conclusiones

De los estudios realizados pueden extraerse las conclusiones siguientes:

El período fundamental oscila entre 0.1 seg y 0,5seg. Los periodos mayores corresponden a las zonas con menor potencia de sedimentos y los periodos menores a zonas con menor espesor de sedimentos.

## 6.2.8 Geología

### Metodología

De manera local se hace una revisión bibliográfica de los aspectos geológicos, geotécnicos, geodinámicos de las diferentes unidades litológicas existentes. Se recopila información de instituciones y empresas que han realizado trabajos en quebradas y pozos, a fin de caracterizar las diferentes unidades superficiales.

En el Diseño Definitivo de la Obra Civil de la Primera Línea del Metro de Quito, en el Anejo 3, Apéndice 2, Tomo II, se muestra el Perfil Geológico Base para el proyecto. A continuación se realiza un análisis complementario del componente geológico.

## Geología General<sup>12</sup>

Centenas de millones de años atrás, durante el período Paleozoico, se desarrollaron las bases de lo que serían Los Andes cuando empezó la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, la que pertenecía al antiguo continente de Gondwana. La mayor actividad telúrica se registró durante el período Cuaternario en la época del Pleistoceno, la cual formó el paisaje accidentado de la ciudad. En el Plioceno se presentaron varios eventos de considerable importancia en el país y el continente, sin embargo, la ciudad no fue influenciada mayoritariamente por estos. Pese a ello, existieron algunos acontecimientos durante ese período como se evidencia en algunas zonas del este de la urbe.

La zona de estudio está dentro de un entorno geodinámico complejo, en donde interaccionan: sedimentación, volcanismo, tectónica y erosión, generando una cuenca volcano-sedimentaria complicada. Por su naturaleza, el entendimiento de la evolución geológica se dificulta.

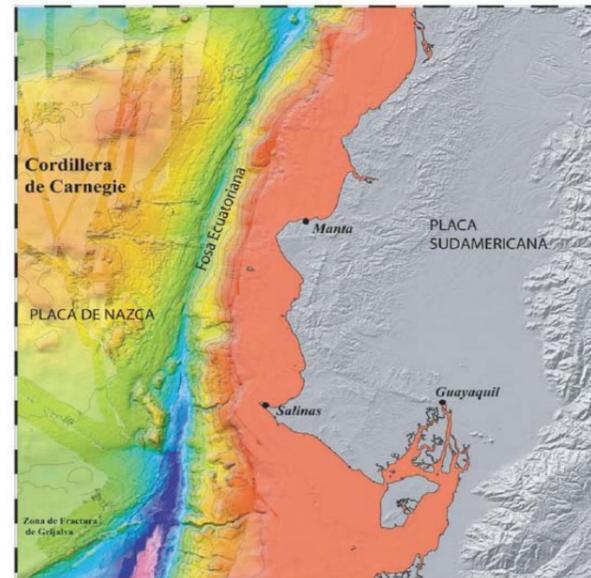
## Geología Regional<sup>13</sup>

Durante el Cretácico, la evolución de la cordillera de Los Andes fue producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo cual generó fuertes cambios como el replegamiento de la corteza terrestre y el desarrollo de la cordillera. Como se puede observar en la figura 6.87

<sup>12</sup> Edufuturo (2006). «[Geología de Pichincha](http://es.wikipedia.org/wiki/Quito)». Consultado el 26/07/2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Quito>

<sup>13</sup> Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad. Cuerpo de Bomberos del DMQ. "Atlas de Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito", 2010.

**Figura 6.85 Características del contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana en la zona del Ecuador.**



Fuente: "Cuenca Oriente Geología y Petróleo"; Marco Rivadeneira.

En el levantamiento se generan sistemas montañosos transversales, conocidos como nudos, formando verdaderas cuencas intramontañosas denominadas hoyas; además, se originan potentes capas de sedimentos que se depositan en un ambiente marino-continental dando lugar a la formación Silante. Durante el Eoceno hasta el Cuaternario, el levantamiento de Los Andes continuó y los esfuerzos originados de la colisión de las placas Sudamericana y Nazca, dieron lugar a la formación de fallas perpendiculares en las cordilleras, generándose así cuencas abiertas e intramontañosas, que durante el Holoceno fueron rellenadas por productos provenientes en su mayoría de los volcanes Pichincha y Atacazo, como flujos de lava (andesitas horbléndicas) y materiales sedimentario - piroclásticos y, por productos de la erosión y de la remoción en masa que modelaron a los sistemas montañosos.

El modelo accidentado del Ruco Pichincha se debe a que ha sido moderadamente retocado por la actividad glaciar del Cuaternario, la erosión hídrica y los movimientos en masa, a su vez ligados con las precipitaciones y escurrimientos superficiales.

Se encuentran las formaciones y unidades litológicas que van del Cretácico al Cuaternario. Las rocas cretácicas son lavas y sedimentos volcánicos y las rocas cuaternarias son lavas, piroclásticos y material volcánico - sedimentario. Además, cuenta con depósitos de cangahua (ceniza).

El Distrito Metropolitano de Quito, por encontrarse en el callejón Interandino, está limitado geológicamente al norte por el nudo de Mojanda (Imbabura); al sur por el nudo de Tiopullo (Cotopaxi); al este por la cordillera Real y, al oeste por la cordillera Occidental.

La cuenca de Quito es una depresión topográfica de dirección aproximada N-S, de forma alargada y de tres a cinco kilómetros de ancho (Alvarado, 1996). Morfológicamente, se divide en dos subcuencas: centro - norte y sur, separadas por el río Machángara y el domo El Panecillo (Villagómez, 2003).

La formación de esta cuenca está directamente relacionada con la actividad del sistema de fallas inversas de Quito, cuya expresión morfológica es una serie de lomas alargadas de dirección N - NNE, situadas en el borde este de la ciudad.

Esta estructura tectónica ha sido dividida en tres segmentos principales: Lomas Calderón - Catequilla, Lomas Batán - La Bota y Lomas Ilumbisí - Puengasí (Egüez & Alvarado, 1994; Villagómez, 2003). Estos segmentos buzcan hacia el oeste y probablemente empezaron a propagarse desde el norte en una serie de pulsos (Villagómez, 2003).

La tasa de levantamiento máxima del sistema ha sido estimada en 0.8 mm/año y habría iniciado hace 0.5 Ma (Soulas et al., 1991; Villagómez, 2000).

Quito se encuentra limitado por fallas asociadas a los principales límites estructurales de las Cordilleras Occidental y Real. Estas fallas fueron inicialmente establecidas durante la sucesiva acreción de terrenos oceánicos y continentales desde el Mesozoico; como se observa en la figura 6.88.

### Figura 6.86 Valle Interandino



Fuente: "Cuenca Oriente Geología y Petróleo"; Marco Rivadeneira;

El Valle Interandino es una depresión tectónica – geomorfológica de dirección N-S a NNE-SSW, de 25 Km. de ancho, 300 Km. de largo, comprendida entre Alausí y El Chota (Winkler et al, 2002).

El Valle Interandino se encuentra dividido en tres segmentos. El segmento en donde se encuentra la ciudad de Quito es el segmento Central (Quito-Guayllabamba) denominado "valle Interandino Central" y su límite norte es el nudo que forman los volcanes Mojanda y Cusín, mientras que el límite Sur es el nudo conformado por los volcanes Illiniza, Cotopaxi, Pasochoa y Rumiñahui (Villagómez, 2003).

La Cordillera Occidental, se encuentra constituida por el basamento de las formaciones Pallatanga y Macuchi, las cuales están cubiertas de depósitos volcánicos y volcanoclásticos del Oligoceno-Holoceno.

La formación Macuchi de edad Paleoceno Tardío-Eoceno, está constituida por una secuencia volcanosedimentaria de arco de islas, de composición basáltica a andesítica.

La formación Pallatanga de edad Cretácico Temprano-Tardío, en cambio se encuentra compuesta por turbiditas y rocas ígneas consideradas como de plateau oceánico de acuerdo a interpretaciones recientes.

Según Aspden y Litherland, (1992) la Cordillera Real, consiste de cinturones alargados de rocas metamórficas del Paleozoico-Cretácico Inferior intruídos por granitoides tipo S y tipo I, con una cubierta de depósitos volcánicos Cenozoicos.

En cuanto a la formación estructural del Valle interandino existen varios modelos, de acuerdo a sus autores. Estos modelos son enumerados cronológicamente a continuación:

Un primer modelo considera que el Valle Interandino, se formó por procesos tectónicos extensivos E-W en el Mioceno-Plioceno. (Hall & Yépez, 1980; Winter, 1990; en Villagómez, 2003).

Otro modelo, basado en estudios neotectónicos, Soulas et al (1991) concluye que el Valle Interandino es una cuenca de 'piggyback' en donde la deformación, durante el Plio-Cuaternario es producida por movimientos diferenciales entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Real.

Basado en el análisis de mecanismos focales de sismos someros Ego et al, 1993, analiza otro modelo, en el cual considera al Valle Interandino como una banda comprimida y a los Andes septentrionales ecuatorianos como una gran zona transpresiva dextral.

Finalmente, recientes trabajos que incluyen nuevas edades, (Spikings et al.), sugieren un cuarto modelo en el cual el Valle Interandino, se formó como resultado de desplazamiento a lo largo de la banda comprimida formando una cuenca de tipo "spindleshaped", que se abrió y cerró como movimiento de tijeras entre las dos cordilleras, desde hace unos 6 millones de años.

Siguiendo hacia el norte de Quito dentro del Callejón Interandino se encuentra la Cuenca Quito-Guayllabamba, rellena por depósitos volcánicos y volcanoclásticos. El relleno contiene una secuencia inferior conformada por las Formaciones Pisque y San Miguel que contienen lavas, tobas, lahares, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres. La secuencia superior corresponde a las Formaciones Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda y Cangagua y consiste de depósitos volcánicos primarios, lahares, flujos hiperconcentrados y depósitos fluviales.

#### Geología Local

#### Metodología

Se recolectó estudios e informes realizados en el Distrito Metropolitano de Quito para obtener información geológica – geotécnica y sus parámetros de afectación al trazado del Metro en el DMQ.

#### Resultados

En base a toda la información obtenida para la identificación de la estratigrafía de la cuenca de Quito, se han diferenciado las siguientes Unidades Geológicas Locales, que fueron definidas por Alvarado, 1996 y Villagómez, 2003:

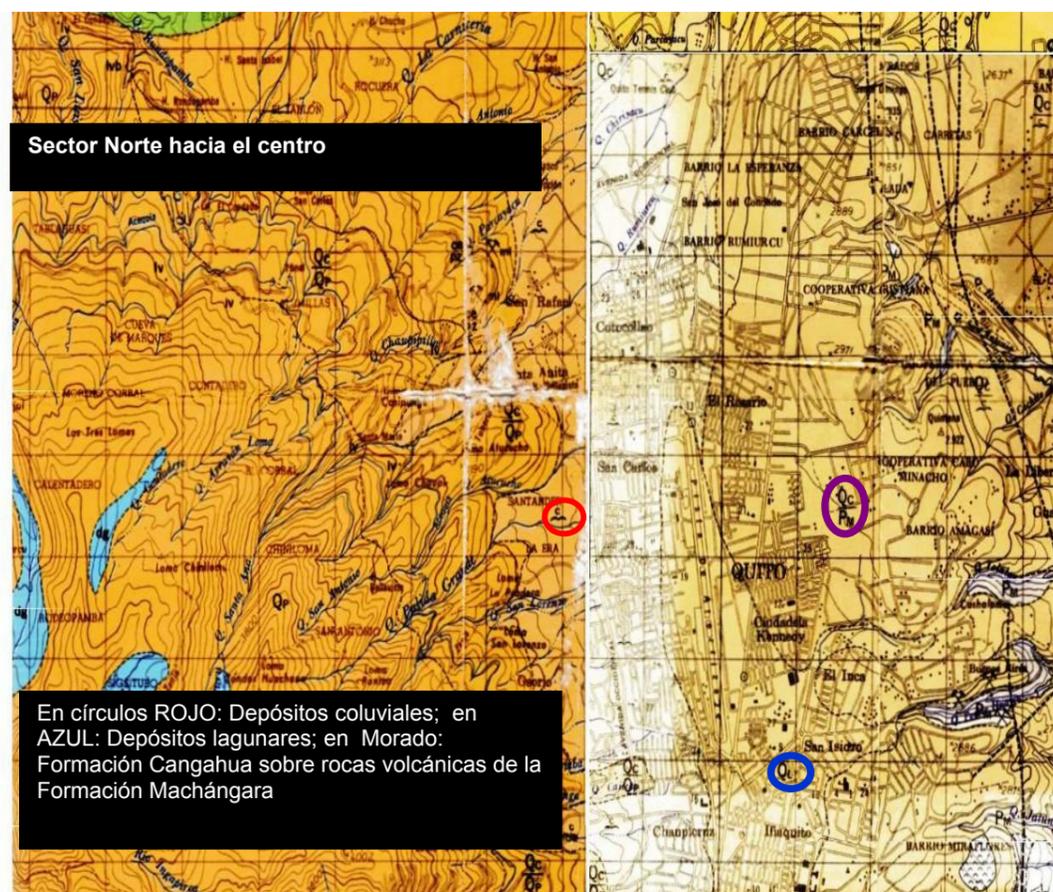
## Unidades Geológicas Locales

**Formación Machángara (P<sub>M</sub>).**- Esta es una formación descrita y localizada por los mapas de la DGGM (Dirección General de Geología y Minas) aparece en muchas nomenclaturas como “volcánicos Machángara”.

Corresponde a una unidad de productos volcánicos Pliocénicos que contiene avalancha de escombros volcánicos, flujos de lava, flujos piroclásticos, etc.

Esta formación conforma la base de toda el área de estudio. Su afloramiento más representativo ocurre en el río Machángara, en el sector del trébol, encontrándose además en la parte alta de la quebrada Cuscungo. Como se observa en la figura 6.89.

Figura 6.87 Fm. Machángara



Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)

Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

Esta formación, se depositó solamente en la Cuenca de Quito, de edad Pleistoceno Medio, contiene dos miembros denominados Miembro Volcánicos Basales y Miembro Quito.

### 1.1 Miembro Volcánico Basal

Este Miembro, en el Centro Norte de Quito, incluye depósitos de avalancha, flujos de lodo, flujos piroclásticos y lahares, íntimamente relacionados con los flujos de lava, caracterizados por ser heterogéneos, de textura muy gruesa, que han sido producto de procesos eruptivos del Volcán Ruco Pichincha.

**Unidad de Basamento:** La unidad de basamento forma parte del miembro volcánico Basal de la formación Machángara. La Unidad de Basamento se encuentra formada por flujos de lava, brechas volcánicas, avalanchas de escombros y flujos de lodo provenientes del Complejo Volcánico Atacazo – Ninahuilpa y el Complejo Volcánico Pichincha.

Las avalanchas se presentan como depósitos matrices de baja compactación, lo cual evidencia que sobreyacente a los flujos de lava se encuentran depósitos de avalancha de escombros ampliamente distribuidos en la Subcuenca del sur de Quito.

Los flujos de lava afloran localmente a través de bloques levantados en la Av. Simón Bolívar principalmente en el sector de Tambillo, quebrada la Chorrera. Estos depósitos son de composición andesítica y textura afanítica. Se encuentran asociados a autobrechas soldadas.

En la estructura basal El Cinto, en Chillogallo afloran flujos de lava de composición andesítica que presenta patinas de oxidación rojizas.

Se puede observar que a lo largo de la quebrada Saguanchi en el extremo sur de la cuenca, las avalanchas se presentan como depósitos matriz soporta, de baja compactación. Lo cual evidencia que sobreyacente a los flujos de lava se encuentran depósitos de avalancha de escombros, ampliamente distribuidos en la Subcuenca del sur de Quito. En el sector El Censo, en los dos flancos del río Machángara, afloran estratos de avalancha de escombros que presentan bloques subredondeados de andesita en una matriz de limo café, con espesores que alcanzan hasta 10 metros.

Se observa que en la quebrada Saguanchi las avalanchas de escombros subyacen localmente a flujos de lodos (proximales) que muestran estratificación, los cuales se encuentran como tobas color café moderadamente compactas que hacia la base contienen cantos de andesitas de diámetro entre 12 y 20 cm.

En el sector de Quitumbe, a 87 m de profundidad se recuperaron flujos de lodo que contienen líticos de andesita de tamaño centimétrico, los cuales se pueden correlacionar con los niveles que afloran en la quebrada Saguanchi.



### Miembro Quito

Este Miembro en la zona Norte de la Cuenca Quito, incluye depósitos fluviales y flujos de lodo menores más homogéneos que los anteriores y de tamaño de grano menores que los incluidos dentro de los Volcánicos Basales. Incluye productos provenientes del volcán Atacazo.

### Unidad Volcanosedimentaria Guamaní

La Unidad Volcanosedimentaria Guamaní sobreyace en discordancia erosiva a la Unidad de Basamento y ha sido interpretada como parte del Miembro Quito, de la formación Machángara; se encuentra formada por depósitos volcánicos primarios, incluyendo flujos piroclásticos, caídas de pómez y ceniza.

Esta Unidad ha sido muy bien descrita en la Subcuenca al Sur de Quito, por Lilia Peñafiel (2009) de cuya investigación se han tomado muchos de las descripciones.

Se encuentra formada por depósitos volcánicos primarios, incluyendo flujos piroclásticos, caídas de pómez y ceniza. La base de la unidad está formada por tobas blancas y tiene una potencia de 15m., en el afloramiento de la Q. Saguanchi.

En el sector El Pintado se observa, una toba blanca a 71 m de profundidad, rica en líticos volcánicos y restos de plantas lo cual es correlacionable con el nivel presente en la quebrada Saguanchi.

Un flujo piroclásticos poco compactado compuesto por bloques de dacita dentro en una matriz de una arena volcánica sobreyace el depósito de tobas blancas. El color de dicho flujo es gris y su espesor visible es de aproximadamente 10m. El diámetro de los bloques de dacita es de hasta 1 m. La homogeneidad y composición monolito-lógica del depósito indican que el flujo es de tipo “block and ash”.

En el corte de la Avenida Simón Bolívar se encuentra un depósito volcánico primario (flujo piroclástico “block and ash”). Este depósito no muestra gradación, imbricación o estructuras de paleocorriente y los líticos que lo conforman tienen una misma composición (dacítica).

Una serie de cenizas y oleadas piroclásticas interestratificadas en espesores de 0.20m a 0.50m sobreyacen concordantemente al flujo piroclástico “block and ash”, hacia el tope de la Unidad Volcano sedimentaria Guamaní.

### Unidad Fluvio – Lacustre El Pintado.

La Unidad Fluvio – Lacustre El Pintado forma parte del Miembro Quito, que a su vez corresponde a la formación Machángara.

Los sedimentos de ambiente fluvial y lacustre, encontrados en los sondeos exploratorios, perforados por la EMAAP, en la zona Sur de Quito, han permitido definir esta Unidad de manera más detallada.

Correlaciones estratigráficas ha permitido determinar que los depósitos fluvio-lacustres se extienden desde el sector de Chillogallo, y que a partir del sector El Calzado, estos depósitos se hacen más potentes hacia el norte. Estas correlaciones también han permitido establecer que el contacto entre la Unidad Fluvio – Lacustre El Pintado y la Unidad Volcanosedimentaria Guamaní corresponde a un cambio transicional (Peñafiel L., 2009).

En la base de la Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado se presentan brechas volcánicas intercaladas con estratos de areniscas fina, arenas y arcillas, con espesores que varían entre 0.30 y 1 metro.

Sobre el conjunto anteriormente descrito aparece una interestratificación de arcilla y arena de color verde, que tiene gradación normal, con líticos subredondeados, debido a su ambiente de depositación de tipo fluvial. El espesor de los estratos varía entre 0.20m y 0.50m. y el del conjunto es inferior a los 10m.

Estos estratos se encuentran en muchos de los pozos perforados en el norte y oeste y de la Subcuenca Sur de Quito: San Bartolo Villaflores, El Pintado, Chillogallo, etc.

En el techo de la Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado, sobreyaciendo al depósito arriba descrito de arcilla y arena de color verde, se encuentran niveles de turbas, paleosuelos y tobas, cuyo espesor llega hasta los 20 metros. Los niveles de turbas, permiten identificar el ambiente lacustre de la depositación.

**Formación Cangahua (Q<sub>c</sub>).**- Esta formación está constituida por tobas cuaternarias color amarillento, generalmente intercaladas con caídas de cenizas, pómez, paleosuelos y algunas veces, flujos de lodos y canales aluviales, en los mismos ocurre costras calcáreas y óxido de manganeso. Como se observa en la figura 6.90.

**Figura 6.88 Fm. Cangahua**



**Fallas geológicas (Principal en línea gruesa ) en depósitos cuaternarios de la Formación Cangahua. El plano de falla tiene un salto aproximado de 7m. Capas (blancas) de lapilli entre depósitos tobáceos (cangahuas) de color café. m. Km 5.4 de vía Guavilabamba – Cavambe VJ/03/10**

Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)  
Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

La cangahua se lo puede clasificar de la siguiente manera:

GRUPO	TIPO	CARACTERISTICAS
PRIMARIA	Tipo 1	Caídas de ceniza y polvo volcánico intemperizados y diagenetizados in.situ. Se descarta que el viento fue el agente depositador. A los materiales más profundos se les denomina tobas.
	Tipo 2	Flujos de lodo, lahares con abundantes líticos y coladas de barro, asociado a brechas proximales-
	Tipo 3	Suelos desarrollados directamente sobre volcánicos pre-existentes, no necesariamente co-magmaticos. No están consolidados
SECUNDARIA	Son todos los materiales retrabajados de los anteriores en las partes bajas. En general son arenosas no muy consolidadas.	

El área de estudio está cubierta en su mayoría por cangahua, encontrándose varios cortes de talud. El afloramiento más importante de esta unidad se encuentra en la quebrada Cuscungo; en la cual aparece horizontal intercalada con estratos de pómez de hasta 1 metro, en un espesor de hasta 40 metros.

Cabe señalar que la denominación generalizada de la Cangahua como toba se contrapone a las tobas litificadas, que se encuentran dentro de formaciones volcánicas más antiguas, que son rocas muy compactas y resistentes con resistencias a la compresión simple superiores a 70 Mpa. Por ello en el presente caso desde el punto de vista Geotécnico, es preferible seguir considerándola como un suelo compacto o en el mejor de los casos como una toba blanda.

En la formación Cangahua, se han incluido los depósitos de conos aluviales que se desprenden de las estribaciones orientales del volcán Pichincha, hacia los principales drenajes que llegan a las subcuencas consideradas de Sur a Norte: quebradas Saguanchi, Grande, Sunipamba, Rumihurcu, Rumipamba y principalmente en el Río Machángara.

En la Subcuenca Sur de Quito, la Cangahua presenta en su parte superior niveles de paleosuelos y estratos de pómez de caída de hasta 30 centímetro de espesor; mientras en su parte media se observan estratos de arena fina de composición litológica de carácter volcánico, de espesores de hasta 50 centímetros.

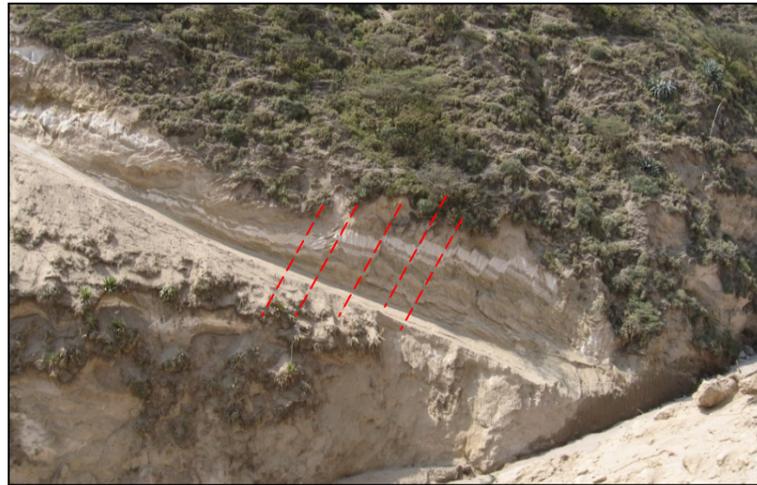
En la base de la Cangahua, hacia el oeste de la Subcuenca sur, especialmente en los flancos de los complejos volcánicos Atacazo – Ninahuilca y Pichincha, se presentan coluviales de hasta 5 metros de espesor, formados por bloques de andesita y dacita de hasta 40cm de diámetro y pómez dentro de matriz limo arenosa color marrón, aparentemente proveniente de cangahua retrabajada. Existen varios afloramientos de estos coluviales, principalmente a lo largo del Río Grande.

Los niveles de pómez y arena que existen dentro de la cangahua, tienen buen sorteo, le otorgan una buena característica hidrogeológica por su permeabilidad media-alta.

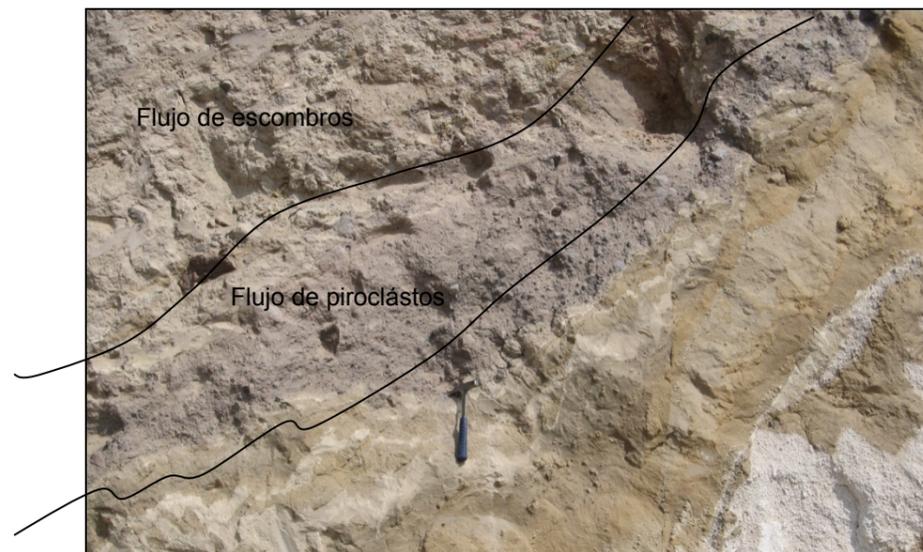
El contacto entre la Cangahua y la Unidad Volcanosedimentaria Guamaní se lo puede observar en la quebrada Saguanchi, en donde la Cangahua sobreyace con discordancia erosiva, sitio en el cual alcanza una potencia de hasta 10 metros y contiene fósiles de coprinisphaeraecuadoriensis dispuestos en forma horizontal, (Peñafiel L., 2009).

Al norte de Quito en quebradas disectadas, se observa la disposición de estratos de ceniza volcánica intercalada con flujos piroclásticos, estos se encuentran con lineamientos estructurales debido a hundimientos del valle de Quito.

**Figura 6.89 Disposición de estratos inclinados hacia el Este (20 a 30 grados, litológicamente son de pómez (blanco) y ceniza volcánica limosa, los estratos presentan planos de falla imbricados (gradas), se disponen de acuerdo a la paleo-morfología**



**Figura 6.90 Disposición de estratos de potencia variable y discontinuos de pómez (blanco) inclinados al Este, intercalados con ceniza volcánica, flujo piroclástico y flujos de escombros en las coordenadas: 790269E; 9992374 N. La inclinación de los estratos está en función de la paleo-morfología, en este caso están inclinados hacia el Este.**



#### Depósitos La Carolina.

Según Alvarado (1996), los Depósitos Carolina son de origen Fluvio Lacustre. Se encuentran ubicados solamente en la Subcuenca Centro-Norte de Quito.

Son sedimentos conformados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados con cenizas y caídas de pómez. Estos sedimentos han sido subdivididos en dos miembros: Aluvial y Lacustre Palustre, esta secuencia litológica corresponde a la formación Cangahua.

Columna estratigráfica representativa del area de estudio:

- 0,4 m Suelo arenoso color gris
- 0,1 m Ceniza fina con biotita
- 0,1 m Suelo arenoso
- 0,1 m Arenisca volcánica
- 0,1 m Caída de pómez con arena y líticos
- 1,1 m Lahar con arena y pómez, suelo y abundante cerámica
- 0,1 m Caída de ceniza
- 1,3 m Suelo orgánico color negro
- 1,2 m Lahar con matriz de arena y suelo negro con pómez del Guagua Pichincha
- 1,2 m Suelo negro orgánico con pómez
- 1,3 m Cangahua arenosa oxidada

#### 3.1 Miembro Aluvial.

El Miembro Aluvial se encuentra conformado por lahares, cenizas volcánicas primarias y niveles de suelos presentes en los abanicos que forman los principales drenajes de la Subcuenca Centro-Norte de Quito (Mothes y otros, 2001).

En la parte central de la Subcuenca, se halla relacionado con los depósitos lacustres y palustres, así como también a pequeños canales fluviales, (El Ejido, La Carolina, La Jipijapa).



### 3.2 Miembro Lacustre Palustre.

El Miembro Lacustre Palustre es considerado como los Depósitos La Carolina propiamente dichos. Se encuentra conformado por paquetes de limos y arcillas, intercalados con caídas de ceniza. En los registros de las perforaciones de La Carolina y El Ejido han sido evidenciados además vestigios de paleosuelos.

## 4. Unidades Antrópicas

### ▪ Rellenos

Es una unidad antrópica, que se ha identificado por la existencia de cartografía anterior, en la cual se han reconocido los cauces de quebradas que en la actualidad ya no existen. Se la considera una unidad de material blando consolidado y compactado.

Los materiales para rellenos provienen de depósitos que se encuentran en forma natural “in situ” o transportados y fabricados. En la zona de estudio se han identificado una serie de rellenos con materiales que en la mayoría de los casos han sido el resultado de mezclas heterogéneas de suelo natural con materiales mixtos, como: desechos de materiales de construcción, material utilizado para la apertura de vías, canales para agua o riego, así como con desechos inorgánicos (basura, plásticos, vidrio, chatarra, etc.). El material para relleno heterogéneo incluye desde gravas, ripio, suelos inorgánicos y orgánicos, por lo tanto su granulometría y naturaleza es diversa.

Escombreras planificadas no existen en el área donde se pueda realizar una clasificación de los suelos para rellenos. Pero los terraplenes de vías aprovechan las mezclas donde predominan los materiales limo-arenosos provenientes de la Cangahua (Cg).

A lo largo del río Machángara existen una serie de rellenos que se han realizado durante los últimos 30 años, como por ejemplo, en San Bartolo, Barrio Nuevo, Atahualpa, Villa Flora (775849-9973131), Santa Ana (Puente antiguo “Eloy Alfaro”), Alpahuasi, Luluncoto, Recoleta (776988-99745429), Cumandá, Luluncoto, Pío XII, Monjas, etc. Además, se observó en las nuevas urbanizaciones en el valle de Cumbayá, Tumbaco, Conocoto, el relleno de quebradas y zonas de terrazas conformadas en las quebradas, provocando en algunos casos, zonas inestables y propensas a hundimientos y deslizamientos.

### ▪ Escombros

Esta unidad es muy heterogénea en su composición. Corresponde a un conjunto de materiales arrojados en varios sitios, principalmente laderas, con poca o nula compactación. En su mayoría está compuesta por arenas y limos arenosos.

Los materiales de escombros (Esc) por lo general se localizan en las quebradas, sean éstas pequeñas o grandes a lo largo y ancho de la zona de estudio y de las “autopistas” principales (Simón Bolívar y General Rumiñahui).

Los bordes de las paredes de las quebradas que en la mayoría son de subverticales a verticales sufren problemas de deterioro y degradación por factores exógenos (erosividad) a más de los antrópicos (manejo insuficiente de desechos) que evidencian una ausencia de manejo en las quebradas donde se deposita material suelto no compacto “lanzado” a las mismas, como: escombros, desechos sólidos (775195-9966049). Esta situación se agrava por la eliminación de excretas, aguas negras y grises (781158-9969190) no controladas hacia las quebradas, ocasionando la erosión de las paredes; la erosión temporal o permanente en los escombros y eventualmente con precipitaciones fuertes generarían la formación de flujos de escombros taponando los cauces naturales. La mayoría de las quebradas poseen escarpes susceptibles a la erosión.

Las escombreras (materiales heterogéneos) en la Nueva vía Oriental o Simón Bolívar, son depósitos de materiales generados por los trabajos en la apertura de la vía (corte y relleno), generando residuos que fueron dispuestos en los bordes de la vía; los mismos que son propensos a fenómenos geodinámicos como deslizamientos o la formación de flujos de lodo, tierra o de escombros que podrían afectar a los asentamientos poblacionales y obras de infraestructura localizadas “ladera” abajo. Por ejemplo se observó los siguientes depósitos de escombros en: Nueva Esperanza (774795-9966914), Pueblo Unido (775518-9967824), El Mirador (777693-9970472), Barrio Monjas (779675-9974156), Cooperativa San Francisco (780158-9971806), San Miguel de Collacoto (781140-9973066), Ilumbisí Alto (782083-9975683), Pollo de Oro (781520-9973944).

Estos depósitos dispuestos caóticamente, se encuentran consolidados a semiconsolidados, algunos se presentan “fisurados” o están siendo lavados por las aguas superficiales y por el viento o sufriendo la filtración de las aguas lluvias que desestabiliza la escombrera; además se observa la ausencia de un manejo adecuado de las aguas de escorrentía (cunetas y contracunetas), que permita minimizar los efectos erosivos de los agentes externos.

Se han identificado varias áreas afectadas por escombros, las más importantes ocurren en las quebradas Colibrí, Clemencia y Cuscungo. Las de mayor área corresponden a la cuenca de la quebrada Cuscungo.

Las unidades locales o puntuales se encajan dentro de las distintas unidades recogidas en el Mapa Geológico Proyecto Metro Quito (Figura 6.93), así:

- Aglomerado, lava indiferenciada
- Andesita
- Cangahua sobre depósitos coluviales
- Cangahua sobre sedimentos Machángara

- Cangahua sobre sedimentos Atacazo
- Cangahua sobre volcánicos del Pichincha
- Cangahua sobre volcánicos indeferenciados
- Ceniza, lapilli de pómez
- Depósito coluvial
- Relleno artificial
- Sedimentos Chichi
- Terraza Indiferenciada
- Volcánicos Indiferenciados.

### Geología estructural

- **Tectónica Cuaternaria**

Se ha definido tres sistemas principales de fallamiento activo, que son los siguientes: Sistema mayor dextral o transcurrente dextral, Sistema sinestral o transcurrente sinestral y sistemas de fallas inversas del Callejon Interandino.

#### Sistema Transcurrente dextral

Esta formado por un conjunto de fallas y lineamientos de dirección NE-SW, este sistema se extiende desde la laguna La Cocha en el sur de Colombia, hasta el noreste del volcán Cayambe, perteneciente a este ramal de fallas de afiladores, La Bonita - Chingual. De este sistema transcurrente, la falla Chingual es una de las fuentes sismo genéticas que podría provocar daños de consideración a la ciudad de Quito.

#### Sistema transcurrente sinestral

Esta formado por la falla Mira-San Isidro, que es la prolongación hacia el sur del sistema Cauca – Patia de Colombia y su continuación sigue los trazos morfológicos de Apuela – Nanegalito –Mindo de dirección NNE-SSE ubicados en la Cordillera Occidental.

#### Sistema de fallas inversas del Callejon Interandino



Se localiza hacia el oriente de la ciudad de Quito, morfológicamente esta asociado a un conjunto de elevaciones de poca altura separadas entre si por profundas quebradas. Es una estructura activa y se la divide en dos segmentos: uno entre Amaguaña y Calderón y otro entre Calderón y San Antonio. Se ha estimado que la velocidad de desplazamiento de la falla de Quito varía hasta 1mm/año (Soulas et, al, 1991) y se esperarían sismos de magnitud máxima de 6,9 a 7,1 grados en la escala de Richter.

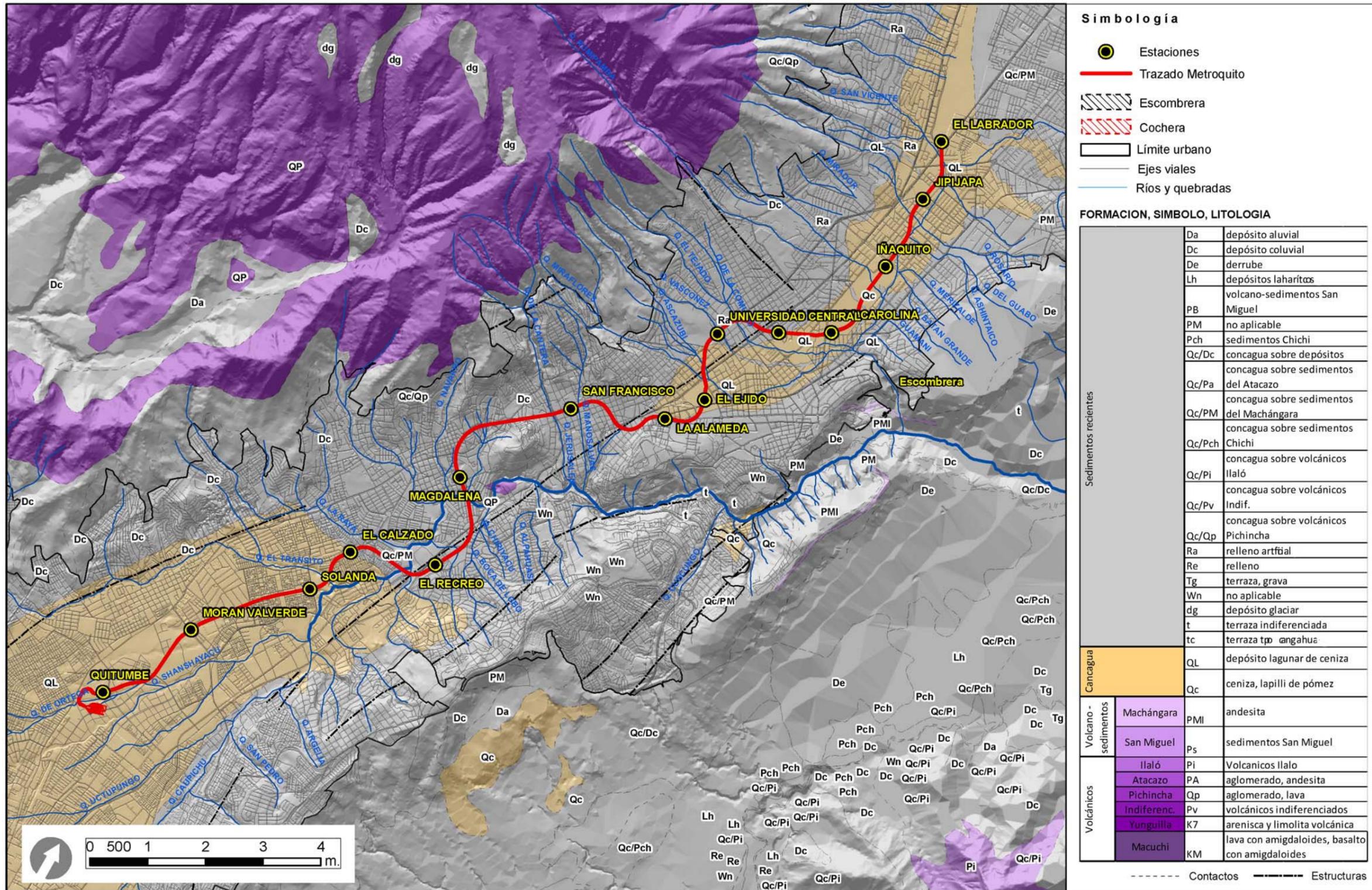
#### **Sistema de fallas locales<sup>14</sup>**

Quito, se encuentra atravesado por un sistema de fallas, que se inicia a la altura de la población de Tambillo, al sur; y, avanza hacia el norte, hasta San Antonio de Pichincha, definiendo un trazado de 47 a 50 km de longitud.

<sup>14</sup>Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, Cuerpo de Bomberos del DMQ. “Atlasde Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito”. 2010.



Figura 6.91 Mapa Geológico Proyecto Metro Quito Línea 1



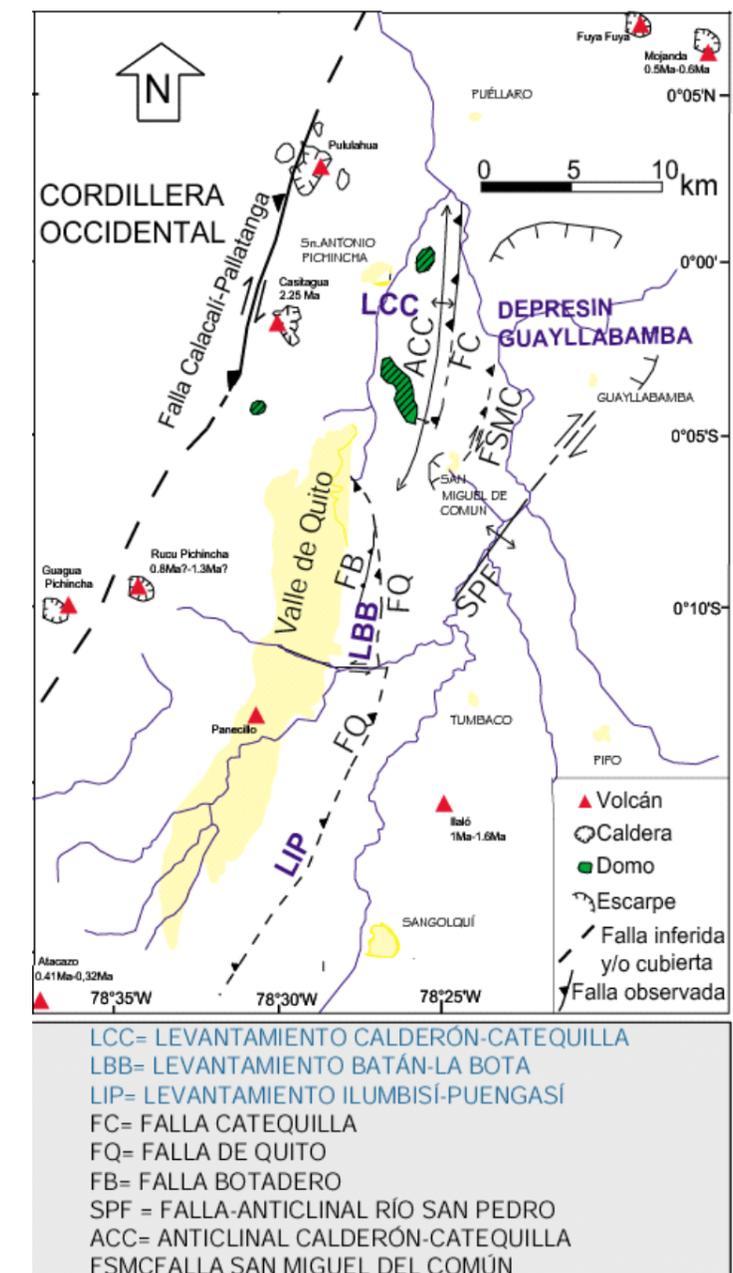
Morfológicamente (según la forma del terreno), está representado por las colinas de Puengasí, Lumbisí, el Batán – La Bota y Bellavista – Catequilla. Estas colinas son el resultado superficial de fallamiento de tipo inverso, que no alcanza la superficie pero que pliegan las capas formando estas colinas. Esta característica es un rasgo que, a menudo, presentan las fallas inversas. Para la falla de Quito, el bloque sobre el que se asienta la ciudad se levanta aproximadamente a 400 metros, con respecto al valle interandino. Este es un caso típico de fallas ocultas, pero que muestran actividad sísmica constante en el tiempo; teniendo la ciudad de Quito la mayor complicación, por hallarse construida sobre su propia falla geológica, expuesta a vibraciones muy altas y, a ser afectada por sismos superficiales.

### Mapa Tectónico del Valle de Quito

El Mapa Tectónico del Valle de Quito elaborado por Villagómez, (Fig.6.94), muestra la presencia de dos estructuras importantes: la Falla de Quito (FQ) y la Falla Botadero (FB).



Figura 6.92 Mapa Tectónico del Valle de Quito, Villagómez (2003).



Fuente: Villagómez, 2003

La primera estructura (FQ) se inicia al sur de Quito y sigue hacia el Norte con una dirección hacia el Este para luego cambiar a una dirección Norte – Sur y termina en la segunda estructura (FB) que corresponde a una cola de caballo denominada Falla Botadero.



Este conjunto de fallas genera levantamientos a lo largo de una dirección Suroeste-Noreste conocidos como los levantamientos de Ilumbisí-Puengasí; Batán-La Bota y Calderón-Catequilla, que dentro de su configuración incluyen plegamientos.

Además, de acuerdo a Villagómez, (2003); “el estilo de fallamiento inverso en el Valle de Quito, es por enlace de segmentos, expresados morfológicamente por los levantamientos no alineados que corresponden a pliegues y flexuras que están íntimamente relacionados con la falla subyacente. La evidencia de campo muestra como los segmentos se propagaron desde el norte en pulsos”.

Según Villagómez, “todas las evidencias indican que el Sistema empezó a propagarse desde el Norte en una serie de pulsos a lo largo de segmentos que colectivamente forman el Sistema de fallas activas inversas de Quito y que los levantamientos presentes en la zona son relativamente jóvenes (entre 1Ma-0.5Ma)”.

#### Presencia de Fallas entre el Centro y el Norte de Quito

Entre el Centro y el Norte de Quito se encuentran tres sistemas de fallamiento: nor-noreste, noreste y noroeste; siendo los primeros concordantes con la dirección de las cordilleras.

Entre las fallas de dirección NNE se encuentran los siguientes:

**Falla Pichincha 1**, se extiende desde las elevaciones de Singaloma al sur y se prolonga hasta el sector de Potrerillos, tiene una dirección NNE y una longitud de  $\pm 7$  km.

**Falla Pichincha 2**, que parte del sector occidental del Panecillo y llega hasta el barrio San Carlos; tiene una dirección NNE hasta NNW y la longitud es de  $\pm 10$  km.

**Falla La Carolina**, ubicada en la parte centro occidental, se extiende desde Chimbacalle hasta Chaupicruz. Tiene una dirección NNE y una longitud de  $\pm 9$  km, pero se prolonga hacia el sur en más de 11 km.

La traza de falla se encuentra oculta bajo los depósitos de Cangahua y lagunares, los criterios de fallamiento son morfológicos y de correlación estratigráfica aprovechando los datos obtenidos en perforaciones para abastecimiento de agua subterránea.

**Falla El Inca**, se encuentra en la parte centro oriental, se extiende desde la Av. Colón hasta el barrio de San Isidro; tiene una dirección NNE y una longitud de  $\pm 6$  km.

**Falla Monjas 1**, ubicada en la parte oriental, se extiende desde la cooperativa Obrero Independiente hasta el sector de Guápulo, donde choca con la falla El Batán; tiene una dirección NNE y la extensión es de  $\pm 4$  km y se extiende por más de 5 km; hacia el sur.

En el sector sur la traza de falla está oculta bajo depósitos cuaternarios modernos y al norte corta los Volcano-Sedimentos Machángara; los indicios de fallamiento son la presencia del deslizamiento de Guápulo; lineación del Valle del río Machángara y coincidencias morfológicas, fuera del área de mapeo.

**Falla Monjas 2**, ubicada hacia el sector oriental, se extiende desde la Cooperativa San Isidro al sur (Quebrada Janahuaicu) y la quebrada El Batán al norte donde choca con la falla El Batán, tiene una dirección NNE y una longitud de  $\pm 7$  km, pero se prolonga 2 km al sur.

La traza de la falla se encuentra cubierta por los Depósitos de Cangahua y corta los Volcano-sedimentos Machángara.

Entre los indicios de fallamiento se destacan: el deslizamiento de Guápulo; la morfología abrupta de la ladera occidental de la loma Ilumbisí; la fracturación de las lavas en el sector de Guápulo.

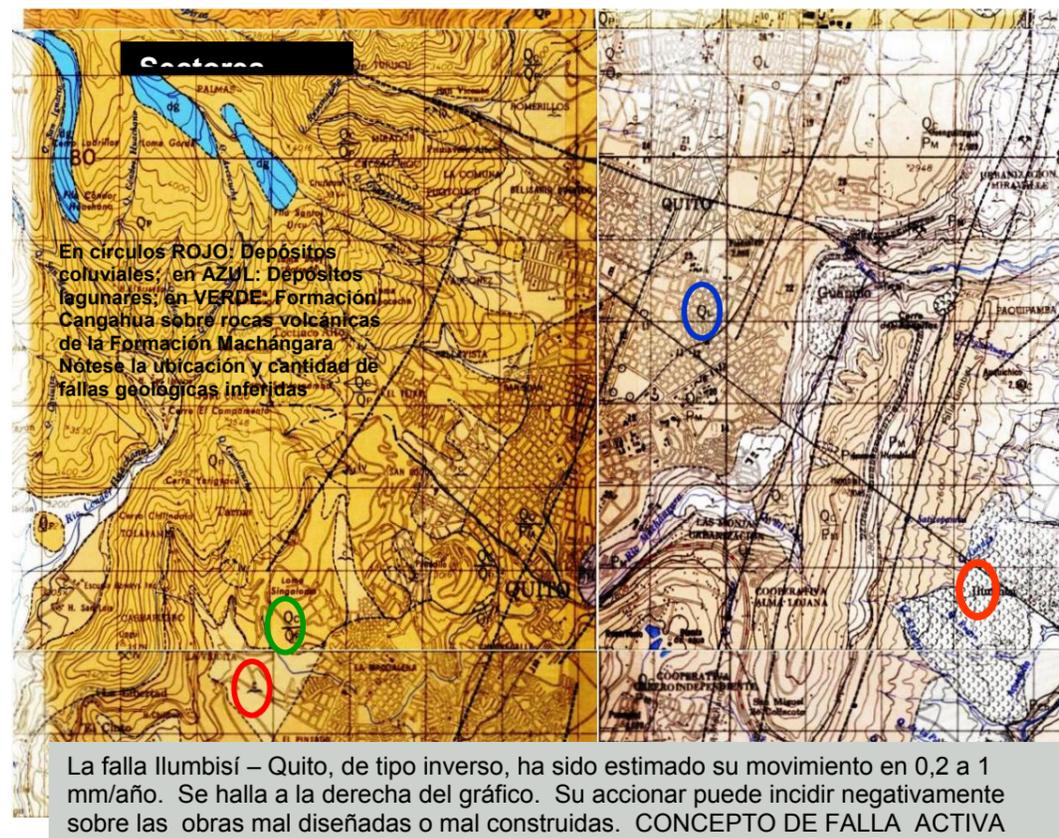
**Falla Nayón**, ubicada en la parte oriental; se extiende desde la quebrada Jurahuaycu al sur hasta el sector Cashaloma en el norte; tiene una dirección NNE a NNW con cambio de rumbo a la altura de la urbanización Miravalle; la longitud es de  $\pm 8$  km.

Entre los indicios de fallamiento se encuentran: deslizamientos pequeños en la quebrada Batán; morfología abrupta en el lado oriental de las lomas Ilumbisí y Guanguiltagua; conformación de la terraza de Miravalle; fracturación de los volcánicos del Machángara.

**Falla Ilumbisí**, Se considera la discontinuidad regional de la pared occidental del graben interandino, se extiende desde la quebrada El catre al sur, hasta el sector de Zábiza en el norte, la dirección es NNE a NNW con el cambio de rumbo en el sector del barrio Miravalle; la longitud total es de 18 km.

Los indicios de fallamiento en la zona son: conformación morfológica de la ladera oriental de la loma Ilumbisí que forma el escalón levantado de la falla (basculamientos); formación de escalones terrazados en el sector de Miravalle, limita la extensión de los volcano-sedimentos Machángara, fuera del área mapeada existen deslizamientos asociados en el área de Conocoto y Guayllabamba.

**Figura 6.93 Falla Ilumbisí**



Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)

Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

Entre las fallas NE se encuentran las siguientes:

**Falla Machángara**, Se trata de una pequeña falla inferida que se localiza específicamente en el sector de la urbanización Monjas; tiene una dirección NE y una longitud de  $\pm 4$  km.

Los indicios de fallamiento son la coincidencia con la dirección de un tramo del río Machángara y fracturamiento en los volcánicos sedimentos del Machángara.

**Falla Cumbayá**, localizada en la parte oriental; se extiende desde la loma Auquichico al sur hasta el río Tanda al norte; tiene una dirección NE y una longitud de  $\pm 5$  km con dos kilómetros fuera del área de estudio.

Los indicios son únicamente morfológicos como por ejemplo el escarpe en la urbanización del Jardín del Valle.

Entre las fallas en sentido NW solo se presenta:

**Falla El Batán**, que se encuentra trazada en la parte central; se extiende desde el nacimiento de la quebrada Ingapirca (4.000 m.s.n.m.) en el oeste, hasta aguas abajo de la unión de la quebrada Batán con el río Machángara; tiene una dirección NNW y una longitud de  $\pm 9$  km.

Los indicios de fallamiento son lineamientos de la quebrada Ingapirca y escarpes de la quebrada Batán. Como se observa en la figura 6.96.

**Figura 6.94 Qda. El Batán- Vista superior de la Quebrada El Batán**



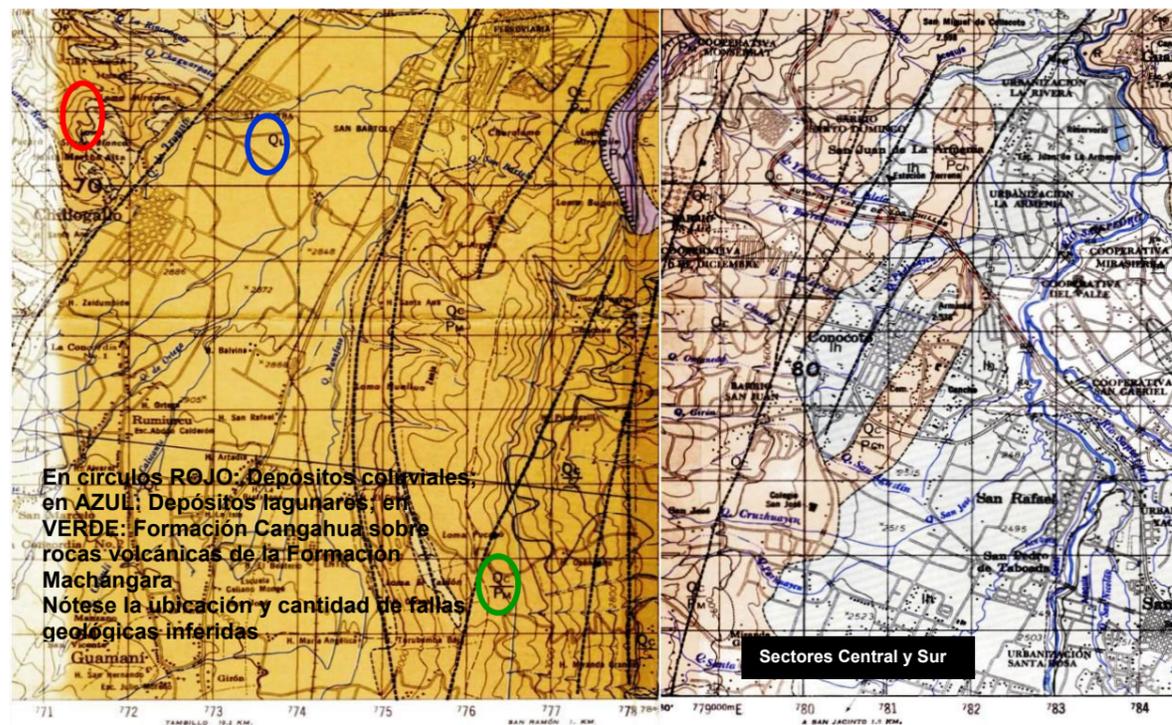
Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)

Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

**Fallas al sur de Quito**

La expresión morfológica del Sistema de fallas Quito constituye la estructura Ilumbisí – Puengasí, de dirección aproximada N – NNE, que se extiende desde el sector de Tambillo al sur, hasta el río Machángara al norte. Como se observa en la figura 6.97.

**Figura 6.95 Sectores Centro y Sur de Quito**



Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)

Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

Se identifican fallas normales al sur de la estructura, en el sector de la quebrada Saguanchi, así como fallas Transcurrentes al norte de la misma en el río Machángara.

El primer conjunto de fallas tienen un rumbo NNW y buzamiento de 60° hacia el sur, las cuales afectarían a la Unidad de Basamento. Sin embargo, no corta a la formación Cangahua, más reciente.

El segundo conjunto de fallas descrito, está formado por fallas normales con rumbo E – W y buzamiento 80° sur.

Al tercer conjunto de fallas normales en el sector de Saguanchi, tiene rumbo N45° a N55° buzando 40° hacia el SE y afecta a la formación Cangagua y los suelos recientes.

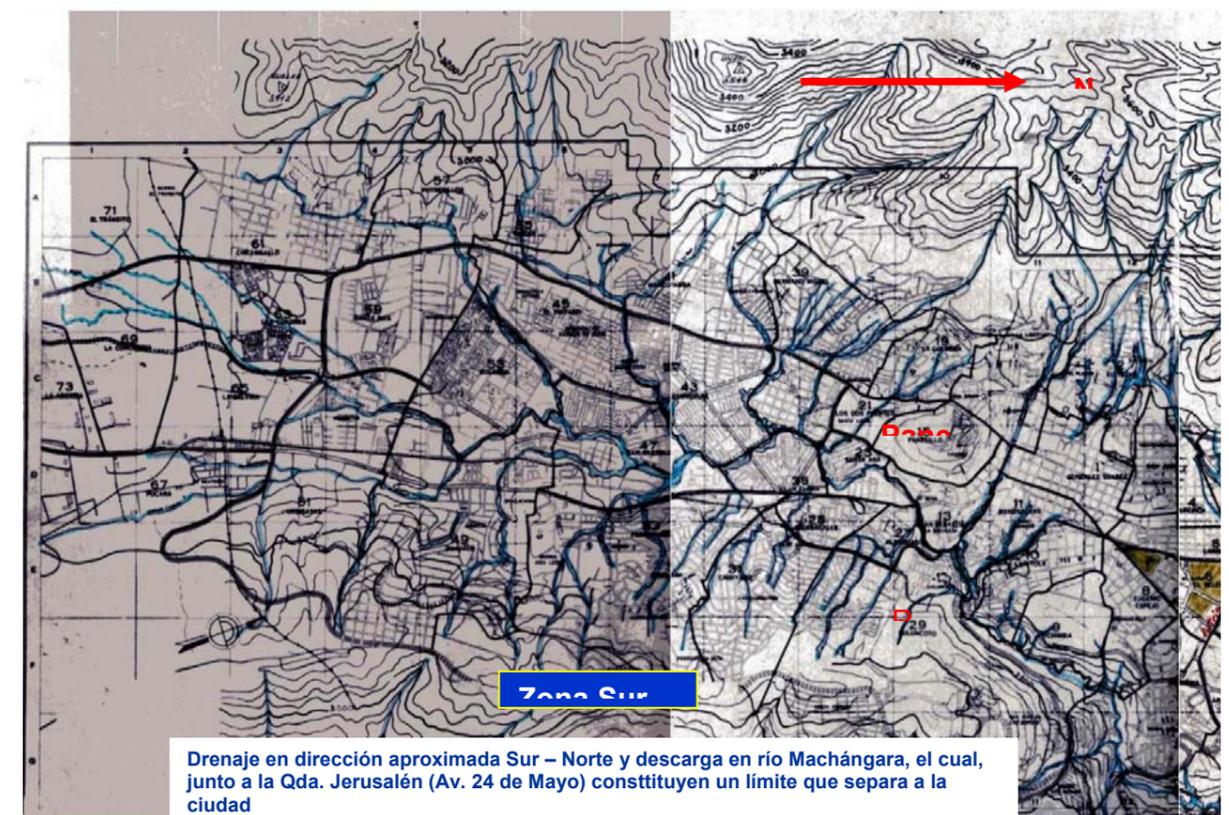
Por otro lado, sobre la Loma de Puengasí, se identificaron lineamientos con rumbo NW – SE y cambios de dirección en ciertas quebradas, mediante la interpretación de fotografías aéreas.

Fallas Transcurrentes, se localizan en el sector de Guápulo y afectan a la formación Machángara; tienen dirección aproximada E- W. buzamiento subvertical y segmentaría la falla de Quito, Villagómez (2003) asigna a estas estructuras una cinemática Transcurrente sinistral.

A continuación se describe cómo la zona de estudio ha sido afectada por las fallas y los diversos deslizamientos.

Al sur del Panecillo (Como se ve en la figura 6.98), la ciudad está asentada en depósitos lagunares y fluvio lacustres, producto del deshielo de las partes altas, que se inició hace unos 12 - 15.000 años. Las compresiones tectónicas con dirección E-W han generado cabalgamientos y fallas inversas subverticales N-S, así como fallas conjugadas con movimientos transcurrentes (horizontales).

**Figura 6.96 Zona Sur de Quito.**



Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha)

Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, mayo / 2010.

Las fallas de sentidos N - S son predominantes y levantan bloques (o podría tratarse de una falla inversa) en la zona cercana al cambio de pendiente en el inicio de La Ferroviaria.

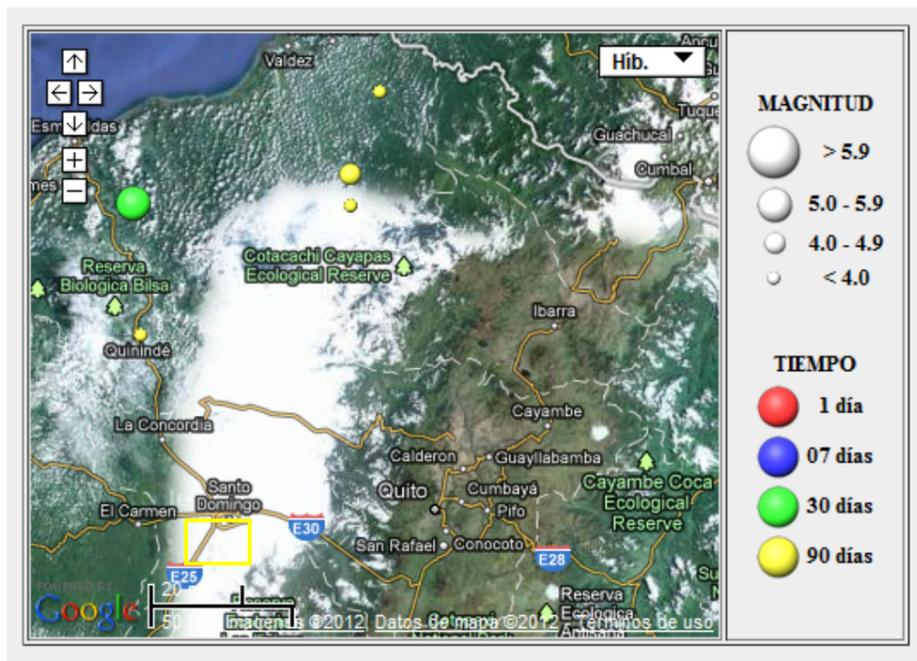


**CARACTERIZACION SÍSMICA DE QUITO**

La información sísmica que se proporciona adelante es tomada de archivos del Geofísico de la Politécnica Nacional para el sector de Guayllabamba.

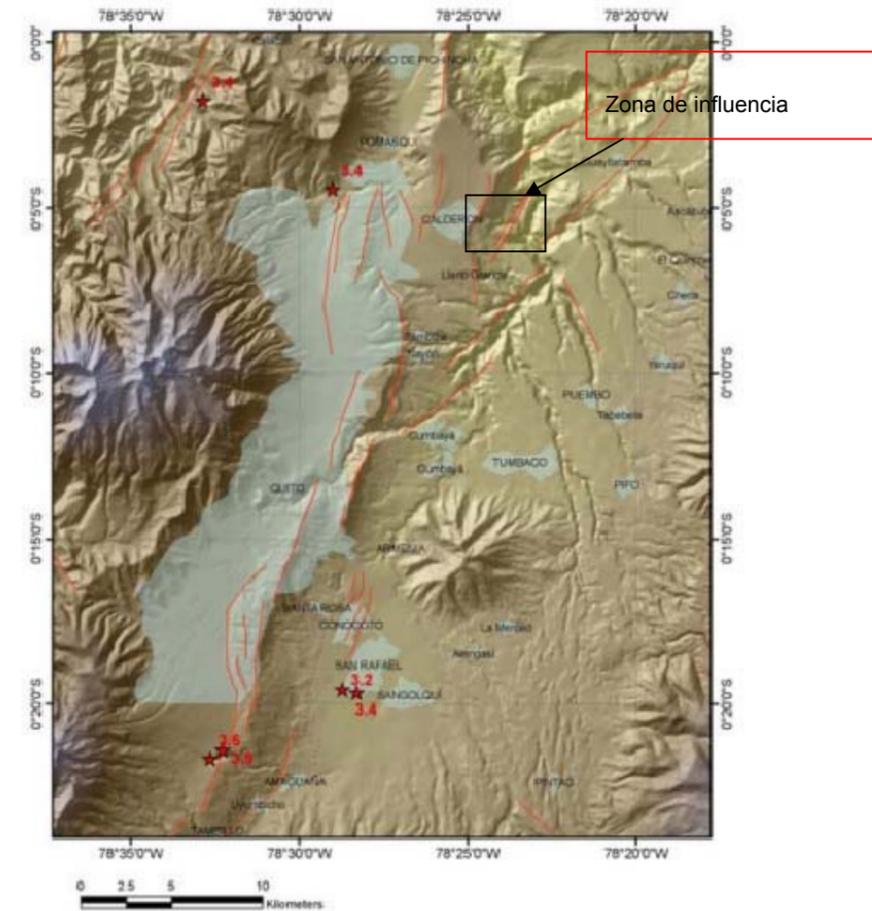
A continuación se indica en la figura 3, la densidad de sismos ocurridos en los últimos años en Ecuador especialmente cercanos a la zona de Quito, con su respectiva magnitud.

**Figura 6.97 Mapa con acercamiento a la ciudad de Quito y Guayllabamba, que muestra los sismos recientes, cercanos a la zona de estudio.**



Zona de estudio

**Figura 6.98 Ubicación de los eventos ocurridos el 12 de Enero de 2010**



En Enero del año 2010 se presentaron pequeños sismos en Quito, se recibieron reportes desde el sector de Tambillo sobre la ocurrencia de pequeños y frecuentes sismos. La RENSIG registró durante el día 12 de enero, varios eventos en la zona de Quito (Figura 6.17), 4 eventos ocurrieron en el sector sur, 2 de los cuales fueron reportados inmediatamente al Instituto por los pobladores del sector, como fuertes sacudones (Tabla 1).

Fecha	Hora (GMT)	Profundidad (km)	Magnitud	Localización
2010-01-12	00h21	11.72	3.9	Provincia de Pichincha, sector Tambillo, al sur de Quito.
2010-01-12	15h15	12.76	3.6	Provincia de Pichincha, sector Tambillo, al sur de Quito.

**Tabla 1. Eventos en el sector de Quito durante el 12 de enero, reportados como sentidos.**

En los años comprendidos entre 1541 a 1999, ocurrieron grandes eventos de intensidades consideradas en el Ecuador, la mayoría de ellos afectando a la ciudad de Quito.



En el año de 1587 el 31 de Agosto sucedió un sismo en San Antonio de Pichincha que fue considerable y tuvo una duración de 30 segundos en el cual hubo destrucción de alcantarillas, casas destruidas y en el sector de Guayllabamba se abrieron enormes grietas.

En el año de 1645 el 15 de Marzo se sintieron muchos temblores, hasta llegar a dar con un gran terremoto debido a desprendimientos internos del volcán Tungurahua.

### Conclusiones

- En el Mapa Tectónico del Valle de Quito cabe resaltar la presencia de dos estructuras importantes: la Falla de Quito (FQ) y la Falla Botadero (FB). La primera estructura (FQ) se inicia al sur de Quito y sigue hacia el Norte con una dirección hacia el Este para luego cambiar a una dirección Norte – Sur y termina en la segunda estructura (FB) que corresponde a una cola de caballo denominada Falla Botadero. Se identifican fallas normales al sur de la estructura Ilumbisí – Puengasí, de dirección aproximada N – NNE, en el sector de la quebrada Saguanchi, así como fallas Transcurrentes al norte de la misma en el río Machángara. Las fallas de dirección NNE identificadas son Pichincha 1, Pichincha 2, La Carolina, El Inca, Monjas 1, Monjas 2, Nayón, Ilumbisí, así como las de dirección NE: Machángara y Cumbayá y la de dirección NW: El Batán lo cual deberá ser considerado en el diseño del proyecto.
- Por tanto las áreas sensibles de la ciudad de Quito por sus estructuras geológicas y litológicas, tenemos al Sur de la ciudad, por la variedad de fallas que presenta la estructura Ilumbisí – Puengasí, donde definimos que desde La Ferroviaria hacia el levantamiento de Puengasí se destacan depósitos de los grandes deslizamientos, debido a las fallas antes mencionadas.
- Así, el barrio donde está la pasteurizadora Quito está levantado sobre estos depósitos que se extienden, a manera de abanico, hasta el río Machángara.
- Absolutamente todos los barrios levantados en esta vertiente occidental de la loma de Puengasí están dentro de paleo-deslizamientos, algunos de los cuales por las obras civiles ejecutadas se han reactivado parcialmente, provocando deslizamientos recientes con sus depósitos finales bien preservados, a pesar de las construcciones existentes, que disimulan muchos de los rasgos morfológicos originales.
- El sector sur de la vertiente oriental de Puengasí es la más afectada por macro-paleo- deslizamientos, reactivados con el corte de taludes para la construcción de la perimetral o nueva vía oriental (actual Av. Simón Bolívar), y presenta evidencia de inestabilidad de taludes.
- El río Machángara es tectónicamente controlado y las fallas son activas, caracterizado por una gran cantidad de deslizamientos alineados a lo largo del valle de este río. El sector de Monjas presenta, al

norte, un bloque triangular hundido por sistemas de fallas normales que han definido a este bloque con forma triangular. Hacia el límite con La Vicentina se nota la presencia de terrazas tectónicas.

- Otro sector interesante por la actividad tectónica es el flanco oriental del domo Panecillo, sector de La Recoleta, donde igualmente se evidencian terrazas tectónicas y deslizamientos, que refuerzan el criterio de sistemas de fallas activas que controlan el valle del río Machángara, lo cual deberá ser considerado en el diseño del proyecto.
- Un conocimiento nuevo, es la existencia de esos bloques levantados y alineados N-S en los límites de La Ferroviaria, al sur del área, donde hay cuerpos igualmente levantados y más pequeños, igualmente relacionados con este sistema de probables fallas inversas Norte-Sur.
- En el Diseño Definitivo de la Obra Civil para la Primera Línea del Metro de Quito, se dedican seis Tomos dentro del Anejo 3 ,en donde se realiza el análisis de la Geología y la Procedencia de Materiales así como los Efectos Sísmicos para el proyecto, estos tomos son los siguientes: Tomo II, Tomo III, Tomo IV, Tomo VI , Tomo VI, Tomo VII-Anejo 4.

### 6.2.9 Geotecnia

Las características geotécnicas de los materiales de los suelos en Quito representan una generalización para las unidades litológicas del área de estudio.

La cangahua es, en general, un material heterogéneo y es el mejor caracterizado desde el punto de vista de su resistencia al corte.

Los depósitos coluviales en el área de estudio son también heterogéneos y principalmente de matriz fina, algunos originados en cangahua y otros en los suelos volcánicos. Las características físico-mecánicas de este material en el área de estudio serían correlacionables con aquella de matriz fina, encontrada y caracterizada en la zona al norte, aunque su comportamiento depende mucho de las condiciones de humedad y del grado de saturación.

Las lavas parecen ser del mismo tipo en las laderas del volcán Pichincha y su caracterización ha sido realizada a través de ensayos de corte directo y carga puntual.

Los suelos volcánicos del área de estudio parecen ser similares a los encontrados por encima de los 3.200 msnm en la zona norte y fuera del área de estudio. Las características de resistencias al corte, efectivas y totales de estos materiales parecen también ser similares.

Los conos de deyección y el depósito de flujo de lodo en el área de estudio pueden tener el mismo origen pero con características y comportamientos geotécnicos distintos a los identificados en zonas cercanas debido a su espesor y condiciones hidrogeológicas. Para estos materiales no se obtuvieron características físico-mecánicas, pues se encuentran mayormente recubiertos por una capa gruesa de cangahua.



### Aspectos geológico-geotécnicos generales

En términos generales, el área de estudio está cubierta superficialmente en su mayoría por cangahuas depositadas periclinamente bajo los 3.200 msnm sobre lavas, conos de deyección y flujo de escombros, y por suelos volcánicos depositados encima de los 3.200 msnm sobre lavas. También se presentan como cobertura superficial por debajo de los 3.200 msnm: coluviales en las laderas, aluviales recientes, rellenos y escombros en las quebradas.

La cangahua en general es un material heterogéneo, poco plástico, con variaciones laterales y verticales de su granulometría y grado de cementación, es mayormente impermeable tanto en estado inalterado como remoldeado y compactado, pero puede ser erosionada por el agua, el viento y la intemperización. Presenta intercalaciones decimétricas (1,2 m de espesor) de capas de arena y grava fina de pómez (lapilli), fácilmente erosionables por el agua y el viento.

La cangahua en el área de estudio tiene espesores que varían entre 6 a 20 m y es mayormente del tipo limo arenoso y areno limoso. Sus propiedades en la zona sur de Quito corresponden a un suelo limoso (ML) con límites líquidos (LL) que varían entre 25,3 a 37,45; IP entre 2,7 y 10,86, con un porcentaje de humedad (W%) entre 21,5 y 39 y peso específico de 1,94 gr/cm<sup>3</sup>.

Hacia el norte del área de estudio las cangahuas de tipo limo arenosa y areno limosa corresponden a suelos ML (suelo limoso) y SM (suelo arenoso).

La permeabilidad in situ en estratos de cangahua y en muestras compactadas del material ha dado valores del orden de 0,00001 cm/s en ambos casos. Esto permite confirmar la poca permeabilidad del material inalterado y la estanqueidad del mismo, en caso de ser utilizado para terraplenes o rellenos compactados.

Los taludes en cangahua, verticales y desprotegidos presentan erosión progresiva a través de caídas de bloques decimétricos a métricos. Este fenómeno es de pequeña magnitud, pero puede ocurrir muy a menudo, de forma violenta y rápida, con una probabilidad de ocurrencia alta. Los taludes y escarpes verticales en cangahua constituyen una zona de alta peligrosidad y riesgo en el área de estudio.

La mayor parte de deslizamientos en cangahua se ubican en laderas con pendientes entre 15° y 35° según el método de Brabb.

Al norte del área de estudio se ha recomendado una relación de 1H:3V para taludes en cangahua de hasta 10 m de altura en zona urbana, y cuando la roca esté muy fracturada la relación debería ser 1H:1V. Los taludes deben ser protegidos contra la erosión, a través del control del drenaje superficial, recubrimiento con vegetación o materiales apropiados, inclusive muros al pie y cabeza del talud, retiros adecuados al tope y pie del talud. El material puede ser excavado manualmente y por métodos mecánicos.

Los suelos volcánicos se ubican sobre los 3.200 msnm con espesores de 2 a 6 m, son poco consolidados, fácilmente erosionables constituidos de arenas limosas cafés y suelos limosos orgánicos negros, intercaladas con cenizas y lapilli de pómez. Estos suelos originan reptaciones, deslizamientos de tipo traslacional, con una superficie de rotura localizada en el contacto con la lava y deslizamientos rotacionales. Estos suelos constituyen zonas de alta susceptibilidad y peligrosidad por deslizamientos. La mayor parte de los deslizamientos en laderas en este material están entre los 15° y 35° según el método de Brabb, aunque existen también deslizamientos en el rango entre 35° y 45°.

Las lavas son rocas masivas, frescas y muy fracturadas, localmente intercaladas con brechas y se ubican sobre los 3.200 msnm. Afloran principalmente en las quebradas y canteras abandonadas donde forman taludes muy inclinados y verticales, y en algunos sitios en contrapendiente. Estas lavas tienen permeabilidad secundaria por fracturación que se expresa a través de manantiales ubicados entre 3.130 y 3.520 msnm.

Los taludes verticales de lava originan caídas de rocas de pequeña y mediana magnitud, rápidas y violentas, poco frecuentes, pero constituyen sitios de alta amenaza y riesgo en el área de estudio. Fenómenos geodinámicos en este tipo de material se ubican en laderas con pendientes por encima de los 35°, según el método de Brabb, y en general, para taludes mayores que 60° según otros criterios.

Los coluviales se ubican principalmente por debajo de los 3.200 msnm, están compuestos por bloques decimétricos a métricos de lavas en una matriz areno-limosa medianamente compactada. Presentan deslizamientos rotacionales pequeños y traslacionales en pendientes entre los 10° y 40° según el método de Brabb.

Hacia el norte y fuera del área de estudio los coluviales finos con matriz limo-arenosa (arenas limosas) poco o medianamente consistentes han sido clasificados como CL-ML, MH, SM. Para la matriz de tipo MH la densidad natural varía entre 1,51 a 1,8 gr/cm<sup>3</sup>, la cohesión entre 0 y 0,7 kg/cm<sup>2</sup>, y el ángulo de fricción entre 24 y 27°. La cohesión (C<sub>u</sub>) entre 0,2 y 0,9 kg/cm<sup>2</sup> y el ángulo de fricción (φ<sub>u</sub>) entre 0 y 14°. Sin embargo, el material coluvial ubicado en la zona sur tiene cohesión de 0,49 kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción de 14°.

Los aluviales recientes que se ubican en los cauces de las quebradas presentan una composición variable y menor a 3 m. Hacia el norte y fuera del área de estudio los aluviales han sido clasificados como SM y GW, su densidad natural varía entre 1,7 y 1,9 gr/cm<sup>3</sup>, la densidad saturada entre 1,9 y 2,1 gr/cm<sup>3</sup>, la cohesión es igual a 0 y el ángulo de fricción varía entre 28° y 35°.

Los rellenos y escombros que se encuentran en los cauces de las quebradas principalmente por debajo de los 3.000 msnm corresponden a arenas limosas y limos arenosos, con escombros de construcción y basura. El espesor de los rellenos alcanza hasta 20 m y el de los escombros hasta 5 m. Los rellenos por ser más antiguos son materiales más compactados que los escombros, sin embargo se ha observado inestabilidad por hundimientos en algunos de ellos.

Un tipo de relleno ubicado en la zona sur está compuesto por arena fina café oscura, de ligera plasticidad y compacidad relativa suelta (SM) con LL entre 24,8 y 34,3; IP entre 0,8 y 7,64, porcentaje de humedad (W%) entre 13 y 34.

Se considera a los rellenos y los depósitos de escombros como materiales permeables y de fácil infiltración, por lo tanto muy susceptibles a deslizamientos y erosión por el agua. La evaluación de su estabilidad debe considerar superficies de rupturas circulares y también la zona límite entre el escombros y su base en el caso de estar ubicado en pendientes, para condiciones a corto y largo plazo, estáticas y seudoestáticas.

Los valores de los parámetros geotécnicos de los materiales expuestos anteriormente constituyen una referencia utilizable para el caso de prediseño. Para el diseño de obras se deben utilizar los resultados del reconocimiento geotécnico de cada sitio.

El peligro sísmico relacionado con una aceleración de 0,26 g (método probabilístico) parece ser poco frecuente y con una probabilidad de ocurrencia baja. El método determinístico señala sin embargo aceleraciones entre 0,2 y 0,25 g en relación a la falla de Quito. Estos valores pueden ser considerados para las evaluaciones de la estabilidad seudoestática de taludes y laderas.

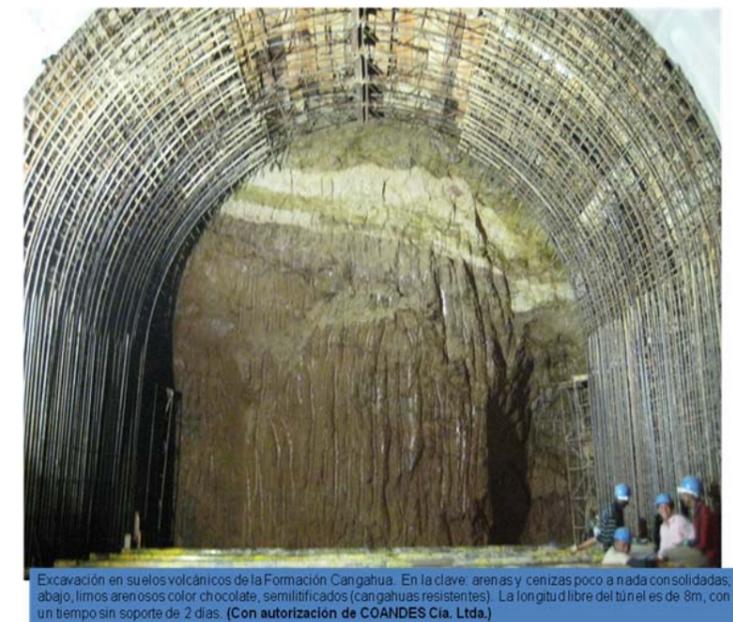
En los planos puede apreciarse la información geológica y geotécnica disponible. A continuación se incluyen dos fotografías de excavación en suelos en la formación Cangahua.

### Figura 6.99 Túnel para encauzamiento del río Machángara, sector El Trébol



Fuente: Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Medio Geológico-Geotécnico para la construcción del Tren Subterráneo en la ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, Mayo 2010

### Figura 6.100 Excavación en suelos volcánicos de la Formación Cangahua



Fuente: Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Medio Geológico-Geotécnico para la construcción del Tren Subterráneo en la ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, Mayo 2010

La descripción geotécnica de la zona de obra del proyecto de la primera línea de Metro de Quito se basa en los estudios geotécnicos elaborados por la empresa HIGGECO para UNMQ. A continuación se realiza una síntesis de los estudios geotécnicos realizados y sus resultados que ha sido proporcionado por UNMQ.

### Metodología

En los párrafos siguientes se describe la metodología seguida por la empresa HIGGECO para la realización de los estudios geotécnicos para la caracterización del subsuelo por donde discurrirá la primera línea del Metro de Quito.

Los objetivos específicos del estudio realizado, han consistido en realizar a detalle la caracterización geológica-geotécnica de las diferentes unidades, detectar zonas críticas, y obtener los parámetros Físico - mecánicos de los materiales, que servirán para el diseño de las obras civiles de la primera línea del Metro de Quito y determinar los métodos constructivos.

Entre los objetivos particulares del estudio cabe destacar los siguientes:

- Determinar las propiedades geológicas, del subsuelo
- Determinar los parámetros geotécnicos del subsuelo en los diferentes niveles.
- Determinar la existencia o no de roca sólida a lo largo del subsuelo por donde pasa la PLMQ.



- Elaborar el perfil geológico – geotécnico continuo del terreno a lo largo del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito, con base a los diferentes tipos de suelo encontrados en los distintos sondeos.
- Establecer las características geológicas y geotécnicas del terreno como las siguientes: estratigrafía, litología, espesor, secuencia, textura y límites de consistencia, resistencia etc.
- Determinar el espesor de suelos blandos como: rellenos, turbas, suelos plásticos, y demás suelos cuaternarios (aluviales, coluviales, etc.), que presentan escasa competencia y pueden condicionar el método constructivo y trazado.
- Determinar las principales propiedades geomecánicas de los suelos: resistencia, ángulo de rozamiento, cohesión, etc., en presiones efectivas.
- Identificar los posibles puntos críticos, que podrían presentarse a lo largo de la PLMQ, de acuerdo con las características geotécnicas alrededor del trazado de la línea.
- Realizar el estudio geofísico de la PLMQ, por medio de diferentes métodos como: la geofísica en pozo, sísmica y registros Gamma, SP y SPR.

Para alcanzar los objetivos anteriores se ha aplicado la metodología y realizados los trabajos que se describen a continuación.

- a) Recopilación, análisis y validación de la documentación técnica que se ha logrado obtener tanto de METRO QUITO como de otras instituciones públicas y privadas, incluyendo trabajos ejecutados por la propia Compañía HIGGECO CIA LTDA, referente a los temas de Geología, Geotecnia e Hidrogeología.
- b) . Ejecución de sondeos mecánicos en donde se ejecutaron:
  - Obtención de testigos de perforación
  - Realización de ensayos SPT
  - Toma de muestras Shelby
  - Toma de muestras indisturbadas (parafinadas)
  - Ensayos de permeabilidad
  - Instalación de piezómetros
  - Toma de medidas de nivel freático
  - Ensayos Down-Hole

- Diagramas - Registro de pozo (Gamma, Potencial Espontaneo SP, Resistividad SPR)
- Ensayos Presiométricos
- Ensayos de mecánica de suelos
- Análisis químicos de muestras de agua de los sondeos
- Acondicionamiento de los pozos para realizar ensayos geofísicos
- Ejecución de ensayos Down Hole

c) Interpretación de los datos recopilados en las fases anteriores.

- Descripción de la estratigrafía de cada sondeo establecido para esta primera etapa, a lo largo de la zona de estudio, mediante el análisis de los testigos obtenidos en los mismos.
- Elaboración del Perfil geológico – geotécnico, del eje del Metro de Quito, mediante la zonificación de las distintas unidades litoestratigráficas,
- Correlación estratigráfica de las columnas litológicas obtenidas en cada uno de los sondeos
- Determinación de las propiedades físico - mecánicas de los diferentes niveles estratigráficos, mediante ensayos de laboratorio.
- Realización de Ensayos Presiométricos, en los sondeos previamente seleccionados
- Determinación de las propiedades elásticas de las capas, mediante las correlaciones obtenidas con el empleo del método Down Hole.
- Determinación de diversas propiedades Geofísicas de los suelos mediante Diagramas - Registro de pozo (Gamma, Potencial Espontaneo SP, Resistividad SPR)
- Elaboración del perfil geotécnico del eje del túnel, empleando toda la información obtenida en los sondeos mecánicos, los resultados de los análisis de laboratorio, las características presiométricas y las propiedades Geofísicas obtenidas mediante ensayos de campo.

Tabla 6.54 Resumen de ensayos de campo realizados

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Toma de muestras inalteradas y testigos parafinados	Unidad	700
Ensayos de penetración estándar (Standard Penetration Test - SPT)	Unidad	700
Ensayos de permeabilidad	Unidad	50
Ensayos de deformabilidad (Presiométricos)	Unidad	139
Diagrafías Sísmicas (Down Hole – DH) en toda la profundidad del sondeo	Unidad	25
Diagrafías - Registro de pozo (Gamma, Potencial Espontáneo SP, Resistividad SPR)	Unidad	50
Instalación de piezómetro y monitoreo de nivel freático	Unidad	50

Fuente HIGGECO

## Resultados

### VALORES “N” DEL SPT

Los valores “N” obtenidos de los ensayos SPT realizados en los sondeos constan en las Tablas que siguen a continuación.

En dichas Tablas se constata que, de forma sistemática, se han realizado ensayos SPT, cada metro a lo largo de todo el sondeo, hasta el rechazo.

Tabla 6.55. Valores n Del SPT (SMQ-3 a SMQ-25)

Prof. (m)	SMQ-3	SMQ-6	SMQ-12	SMQ-13	SMQ-17	SMQ-21	SMQ-23	SMQ-25
	Valores de penetración estándar, N							
1,00	10		4	23	10	8	31	10
2,00			8	35	16	6	12	225
3,00	15	13	4	14	7	8	30	19
4,00	18	13	11	20	5	16	30	14
5,00	20			13	18	28	34	17
6,00	16			9	49	16	33	15
7,00	17	28	18		R	26	35	28
8,00	50	24	13		R	R	25	35
9,00	R	22	12	19	15	31	R	R
10,00	40	R	14	19	13	R	R	R
11,00	R		19	22	4	R	R	42
12,00		R	12		34	47	R	R
13,00			13		35	R		36
14,00			9		R	40		41
15,00	R		8	21	21	27		26
16,00						42		32
17,00			9			R		37
18,00			15	21		R		44
19,00			17	33		34		22
20,00			19	38		R		24
21,00			R	14	36			25
22,00				15	R			22
23,00			R		R			37
24,00			39		R			34
25,00								22
26,00			44	17				25
27,00			R	15	R			R
28,00				14				32
29,00				38				
30,00		R						
31,00								
32,00								
33,00								
34,00								
35,00				29				

Fuente HIGGECO

Como se puede observar, en la mayor parte de sondeos de la tabla anterior se consigue el rechazo, aproximadamente a partir de los 10m de profundidad, a excepción del sondeo SMQ-12 que se lo alcanza pasados los 20m y del SMQ-13 que no se lo obtiene hasta los 35 m.

Tabla 6.56 Valores n del SPT (SMQ-28 a SMQ-51)

Prof. (m)	SMQ-28	SMQ-31	SMQ-34	SMQ-42	SMQ-44	SMQ-48	SMQ-49A	SMQ-51
	Valores de penetración estándar, N							
1,00	56		6	21	11	7	8	16
2,00	33		5	21	14	3	7	30
3,00	22	12	10	18	1	8	13	
4,00	27			21	13	8	59	
5,00	30		11		2	44		
6,00	37	17	23		15			
7,00	22				21			
8,00	51				28		24	60
9,00	72	32	31	18	30			50
10,00	79	40		26				44
11,00	42	39		17	17			63
12,00	29	R	49		23			33
13,00	45	46		27		25		36
14,00	69	50		27	26	27		43
15,00	60	34	23	23	28	38	55	58
16,00	41	30				23	R	
17,00	75	38		51	32	62		74
18,00	64	R	23	30	22	95		46
19,00	58	45		38	35	58		66
20,00	31	R		33	19	36		42
21,00	29	R	10		30	50		27
22,00	60	R		62	31	63		24
23,00	82	R		47	33	50		28
24,00	74	R	23	50	19			50
25,00	46	50		53	24	39	31	35
26,00	66	R		38	22	31	46	33
27,00	44	50	33	36	20	31	30	44
28,00	41	18		28	24	21	31	69
29,00	73			24	22	31	18	
30,00	68	26	37	21	38	82	29	
31,00	90	22		35	24			39
32,00	77	40	54	33	22			81
33,00	55	38		25	33			41
34,00	93	47		66	20			89
35,00	93	35	25	70	R			
36,00	92	R	17	70	15	60		59
37,00	R	R	15		13	36		
38,00	84	R	20		24	R		65
39,00	50	R	42		40		R	36
40,00	25	R	R		R			86
41,00	50	R	35		68			54
42,00	45	R	30		52		90	
43,00	34	R	31		20			
44,00	46	R	38					
45,00	50	R	R		R	67		
46,00	50	R	35					
47,00	49	R	R					
48,00	36	R	67					
49,00	69	R	41					
50,00	60							
51,00	77							

Fuente HIGGECO

Tabla 6.57 Valores n del SPT (SMQ-56 a SMQ-69)

Prof. (m)	SMQ-56	SMQ-60	SMQ-63	SMQ-65	SMQ-66	SMQ-67	SMQ-68	SMQ-69
	Valores de penetración estándar, N							
1,00	24	3	7	32	19	7	7	29
2,00	11	5	5	15	14			22
3,00	9		8	16		11	14	26
4,00	10	4	7	39	22	18	8	34
5,00	12		13	28	19	22	9	37
6,00	12	7	4	R	26	12	8	R
7,00	17	14		40	39	11	8	R
8,00	27		10	39	36	16	10	R
9,00	4			40	31	16	21	39
10,00	11	4	6	33	R	28	11	R
11,00	32	42	9	R	40	31	12	R
12,00				R	R	45	59	
13,00	13		16	R	R	38	26	
14,00	14	8	20			33	R	R
15,00	23	14	17	R	R	9	R	R
16,00	35		29	R	R	R	R	
17,00	25	15	16	46		R	R	
18,00	29	29	21		R		R	
19,00	27	27	44	R	R	R	R	
20,00	46	26	44			R	R	R
21,00	49		30			R	55	
22,00	R	51	35			R	R	
23,00	R	72	17			R	R	
24,00	R		39			58	R	
25,00	R	51	67			R	R	
26,00		R				R	R	
27,00			43			R	R	
28,00		72	54			R	R	
29,00			34			55		
30,00			24					
31,00			30					
32,00			20					
33,00								
34,00			19					
35,00			30					

Fuente HIGGECO

### Permeabilidad de los materiales

Los ensayos de permeabilidad a gravedad, tipo LEFRANC, permiten constatar que en el sondeo SMQ-28, los valores obtenidos equivalen a una permeabilidad baja, a pesar de la presencia de un acuífero. Lo mismo sucede en el tramo comprendido entre 27,0 y 30,0m del sondeo SMQ-34.

Tabla 6.58. Permeabilidad Lefranc

SONDEO N°	ENSAYO N°	PROFUNDIDAD (m)	PERMEABILIDAD (cm/seg)
SMQ-3	Lefranc N° 1	10,00 - 13,00	1,25 E-03
SMQ-3	Lefranc N° 2	15,00 - 18,00	5,68 E-04
SMQ-28	Lefranc N° 1	70,00 - 73,00	2,37 E-06
SMQ-28	Lefranc N° 2	75,00 - 78,00	2,43 E-06
SMQ-34	Lefranc N° 1	0,00 - 3,45	4,35 E-05
SMQ-34	Lefranc N° 2	3,00 - 6,00	3,57 E-04
SMQ-34	Lefranc N° 3	6,00 - 9,00	2,72 E-04
SMQ-34	Lefranc N° 4	9,00 - 12,00	1,47 E-04
SMQ-34	Lefranc N° 5	12,00 - 15,00	8,88 E-05
SMQ-34	Lefranc N° 6	15,00 - 18,00	1,12 E-04
SMQ-34	Lefranc N° 7	27,00 - 30,00	4,73 E-06
SMQ-65	Lefranc N° 1	15,00 - 18,00	2,58 E-05
SMQ-65	Lefranc N° 2	20,00 - 23,00	1,28 E-05
SMQ-66	Lefranc N° 1	10,00 - 13,00	1,51 E-03

Fuente HIGGECO

### Parametros fisicos de los materiales

Los resultados de los ensayos de laboratorio sobre las características físicas de los suelos de estos sitios se presentan resumidos en las tablas siguientes:

Tabla 6.59 Características Físicas de los suelos (SMQ-3 a SMQ-17)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN. SUCS
				N°10 %	N° 40 %	N°200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-3	SH-1	1,55	31,47	99,9	91,9	64,9	33,6	24,6	9,0	M L
	SPT-3	3,55	31,79	99,6	79,8	51,3	31,3	20,6	10,7	CL
	SPT-5	5,55	27,99	99,5	85,9	55,8	27,2	18,6	8,6	CL
	SPT-7	7,55	39,40	100,0	92,4	71,8	38,2	27,3	10,9	ML
	SPT-9	9,55	27,92	100,0	95,6	77,0	32,4	20,7	11,7	CL
	SPT-11	15,55	31,88	97,6	63,5	34,4	NP	NP	NP	SM
SMQ-12	M-1	10,58	49,50	100	94,4	66,3	54,3	41,9	12,4	MH
	M-2	11,75	35,87	99,7	83,9	50,2	46,7	31,9	14,8	ML
	M-6	16,69	29,30	99,6	83,1	54,2	35,8	23,1	12,7	CL
	M-8	28,00	31,56	99,7	82,9	47,9	33,3	25,1	8,2	SM
	M-10	43,20	38,68	98,8	89,6	63,5	57,6	32,1	25,5	MH
	SPT-2	2,00	31,70	97,8	81,4	56,3	42,6	23,2	19,4	CL
	SPT-6	8,00	41,51	100	79,0	45,8	46,3	35,0	11,3	SM
	SPT-16	19,00	32,51	98,1	76,7	44,6	28,9	20,5	8,4	SC
	SPT-18	21,00	29,07	98,2	63,7	30,3	NP	NP	NP	SM
	SPT-19	23,00	33,76	93,5	77,0	48,3	34,7	25,2	9,5	SM
	SPT-21	26,00	24,72	96,6	65,5	35,4	20,3	17,6	2,7	ML
SMQ-17	M-1	8,68	24,47	99,6	59,2	24,8	NP	NP	NP	SM
	M-2	11,74	31,38	99,7	82	46,2	29	24,3	4,7	SM-SC
	M-6	29,50	31,26	100	73,9	44,8	37,7	28,7	9,0	SM
	M-7	32,00	27,46	99,0	83,1	49,7	35,4	22,4	13	SC
	SPT-2	2,00	35,81	99,0	65,2	33,7	39,2	26,2	13	SM
	SPT-4	4,00	47,01	99,3	81,3	49,3	NP	NP	NP	SM
	SPT-6	6,00	34,8	100	62,9	28,8	NP	NP	NP	SM
	SPT-10	10,00	38,29	99,8	71,3	38,0	33,9	25,8	8,1	SM
	SPT-14	14,00	29,97	100	88	60,7	40,1	22,5	17,6	CL
	SPT-16	21,00	24,15	99,9	32,9	12,4	NP	NP	NP	SM
	SPT-18	23,00	24,21	100	75,7	30,6	NP	NP	NP	SM
SPT-20	27,00	35,98	97,2	53,3	30,0	42	32,1	9,9	SM	

Fuente HIGGECO

Tabla 6.60 Características Físicas de los suelos (SMQ-21 a SMQ-26)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN. SUCS	
				N°10 %	N° 40 %	N°200 %	L.L.	L.P.	I.P.		
SMQ-21	M-1	2,55	28,15	99,7	91,8	59,3	33,1	20,2	12,9	CL	
	M-2	4,52	30	99,7	92,4	66,2	37,6	21,2	16,4	CL	
	M-3	5,50	23,21	100,0	92,2	61,8	27,4	17,9	9,5	CL	
	M-5	12,42	32,66	97,8	66,5	33	31,2	25,2	6,0	SM	
	M-6	15,72	34,21	100,0	89,3	68,1	40,0	26,6	13,4	ML	
	M-13	26,10	25,93	100,0	96,1	68,6	30,8	21,0	9,8	CL	
	M-14	29,10	37,38	100,0	96,0	67,3	42	24,1	17,9	CL	
	M-19	37,70	31,98	98,8	78,9	49,7	35,7	25,1	10,6	CL	
	M-20	45,50	39,76	98,3	85,8	54,0	36,2	24,9	11,3	SM	
	M-24	49,73	24,14	100,0	88,8	48,3	28,9	19,5	9,4	SC	
	SPT-9	9,00	36,34	97,9	73,9	45,6	37,1	28,0	9,1	SM	
	SPT-18	18,00	54,29	99,4	84,4	55,1	59,3	38,9	20,4	MH	
	SMQ-26	M-1	10,45	25,08	100	83,5	51,6	26,9	22,4	4,5	CL-ML
		M-5	19,70	38,17	98,4	79,8	56,1	53,3	30,7	22,6	MH
M-7		26,00	35,54	99,7	91,4	67,5	43	29,4	13,6	ML	
M-8		34,30	44,52	100	93,4	66,7	40,7	33,2	7,5	ML	
M-10		42,30	32,98	99,7	87,6	57,4	33,7	28,2	5,5	ML	
M-11		44,00	24,91	100	93,5	62,5	34,7	24,4	10,3	ML	
SPT-2		2,00	19,47	100,0	88,7	56	26,5	16,7	9,8	CL	
SPT-4		4,00	25,27	98,4	86,8	61,9	28,7	17,4	11,3	CL	
SPT-6		6,00	21,65	100	94	62,5	21,9	17,9	4,0	CL-ML	
SPT-8		8,00	26,89	99,2	69,1	36,7	NP	NP	NP	CL	
SPT-12		12,00	29,84	97,7	53,1	15,8	NP	NP	NP	SM	
SPT-14		14,00	20,88	98,6	62,2	19,9	NP	NP	NP	SM	

Fuente HIGGECO



Tabla 6.61 Características Físicas de los suelos (SMQ-28 a SMQ-34)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN SUCS
				Nº10 %	Nº 40 %	Nº200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-28	A1	57,50	38,03	100,0	73,9	43,8	37	31,9	5,1	SM
	A2	69,50	32,71	100	90,4	64,7	48,6	37,1	11,5	ML
	M5+M6	44,00	58,11	100	86,3	70,9	61,5	13,7	47,8	MH
	M9	49,54	32,26	100	92,6	65,3	38,6	29,18	9,42	ML
	M17	71,10	58,10	100	95,4	68,5	52,6	40,2	12,4	MH
	M19	75,30	49,82	100	98,6	81,2	47,4	32,9	14,5	ML
	M25	84,00	43,56	100	93,9	70,7	48,8	33,4	15,4	ML
	SPT-7	7,00	27,36	99,9	51,1	24	NP	NP	NP	SM
	SPT-12	12,00	29,07	100	82,9	52,9	25,6	22,6	3,0	ML
	SPT-17	17,00	30,89	100	91,0	62,7	28,5	25,6	2,9	ML
	SPT-22	22,00	24,86	99	83,4	48,5	22,7	20,6	2,1	SM
	SPT-27	27,00	29,94	99,5	89,1	57,8	38,7	23,3	15,4	CL
	SPT-32	32,00	44,52	100	93,1	58,6	39	38,5	0,5	ML
	SPT38	38,00	20,15	100	69,6	25,2	NP	NP	NP	SM
SMQ-34	M-13	48,51	30,24	100,0	88,0	45,5	33,7	28,5	5,2	ML
	SH-1	2,00	25,85	100,0	89,1	63,1	32,6	22,1	10,5	CL
	SH-2	4,00	30,18	98,3	89,3	68,3	36,4	24,67	11,73	ML
	SPT-3	3,00	26,83	99,0	90,8	59,1	30,6	17,4	13,2	CL
	SPT-6	9,00	22,34	98,8	74,2	40,3	21,2	19,9	1,3	SM
	SPT-8	14,55	33,64	100	87,5	53,7	36,6	21,9	14,7	CL
	SPT-10	43,54	21,00	100	96,3	77,1	48,4	27,8	20,6	ML
	SPT-12	35,4	27,00	100	92,1	61,0	47,7	23,1	24,6	CL
	SPT-15	30,81	35,45	100	80,5	43,0	32,3	20,6	11,7	SC
	SPT-21	34,99	41,55	98,7	76,3	47,6	33,3	27,1	6,2	SM
	SPT-26	36,81	46,45	99,3	81,3	51	36,1	24,5	11,6	ML

Fuente HIGGECO

Tabla 6.62 Características Físicas de los suelos (SMQ-42 a SMQ-24)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN SUCS
				Nº10 %	Nº 40 %	Nº200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-42	M-1	11,45	18,59	100	75,6	63,3	27,9	16,9	20,7	CL
	M-2	19,45	28,06	95,2	70,6	45,8	28,6	21,4	7,2	SC
	M-3	20,83	24,65	100	83,3	53,9	26,9	22,7	4,2	CL-ML
	M-6	26,65	24,34	92,9	80,9	58,2	52,3	25,1	27,2	CH
	M8+M9	28,50	26,41	100	92,4	62,7	35,7	22,4	13,3	CL
	M10+M11	34,45	31,75	99,3	74,1	40,0	35,6	25,6	10,0	SM
	M12+M13	38,40	27,03	96,8	73,6	46,34	28,4	21,0	5,4	SM-SC
	M18+M19	40,10	36,59	99,6	90,5	61,3	52,5	24,0	28,5	CH
	M22+M23	43,07	29,31	98,9	88,0	67,3	30,3	22,6	7,7	CL
	SH-2	6,00	32,94	98	91,5	74,4	31,5	25,2	6,3	ML
	SH-4	8,00	24,52	100	91,2	64,1	30,5	21,9	8,6	CL
	SPT-2	2,00	8,29	99,8	73,2	27,5	NP	NP	NP	SM
	SPT-4	4,00	16,75	99,1	76,2	39,0	23,8	18,6	5,2	SM-SC
	SPT-9	14,00	19,19	100	95,6	71,3	29,1	18,2	10,9	CL
	SPT-24	30,00	32,13	100	96,9	80,0	47,0	24,0	23,0	CL
	SPT-26	32,00	32,95	100	88,3	73,1	41,0	23,0	18,0	CL
SMQ-44	M-1	18,64	33,56	100	91,2	64,7	29,4	24,4	5,0	CL-ML
	M-2	23,65	36,83	92,1	74,7	46,2	37,0	28,4	8,6	ML
	M-3	25,54	35,9	100	84,4	59,1	40,5	28,6	11,9	ML
	M-4	29,70	40,62	100,0	98,5	83,8	36,2	25,2	11,0	ML
	M-7	35,61	37,01	100	95,9	71,4	40,4	26,7	13,7	ML
	M-8	37,66	31,11	98,7	83,6	50,2	33,5	22,9	10,6	CL
	M-10	40,54	40,35	99,3	97,6	87,3	40,9	25,9	15,0	ML
	SH-1	3,00	32,25	100,0	96,1	72,3	26,8	19,3	7,5	CL
	SH-2	5,00	32,59	100	92,1	63,9	27,4	22,2	5,2	CL-ML
	SH-3	10,00	31,46	99,5	72,3	36,1	24,4	21,7	2,7	SM
	SH-4	13,00	35,91	100,0	84,0	52,0	31,8	25,9	5,9	ML
	SPT-1	1,00	15,01	100,0	93,2	60	21,9	16,4	5,5	CL-ML
	SPT-5	7,00	18,82	100	80,8	44,3	NP	NP	NP	SM
	SPT-7	9,00	15,79	98,4	64,3	26,1	NP	NP	NP	SM
	SPT-16	21,00	29,54	100	86,4	51,8	30,0	25,1	4,9	CL-ML
	SPT-22	27,00	32,49	100,0	83,9	53,3	37,0	24,8	12,2	ML
	SPT-28	33,00	26,90	99,6	73,7	35,7	NP	NP	NP	SM
	SPT-38	43,00	36,56	100	98,3	73,5	37,6	26,9	10,7	ML
	SPT-39	45	25,29	100	88,4	52,3	NP	NP	NP	ML

Fuente HIGGECO

Tabla 6.63 Características Físicas de los suelos (SMQ-48 a SMQ-63)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN SUCS
				Nº10 %	Nº 40 %	Nº200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-48	M1+M2	11,52	24,35	98,1	90,9	69,4	27,7	19,8	7,81	CL
	M-3	26,00	22,70	99,8	91,2	63,7	38,0	20,3	17,7	CL
	SPT-2	1,55	28,67	99,7	78,4	41,8	22,5	20,4	2,1	SM
	SPT-4	3,55	21,91	100,0	82,2	50	27,4	16,2	11,2	SC
	SPT-7	13,55	28,17	100	92	69,5	24,1	17,1	7,0	CL-ML
	SPT-9	15,55	22,89	88,1	55,1	18,9	NP	NP	NP	SM
	SPT-11	17,55	15,47	99,2	55,6	23,6	NP	NP	NP	SM
	SPT-13	19,55	19,71	100	88,1	70,7	NP	NP	NP	ML
	SPT-15	21,55	12,50	97,3	67,3	27,9	NP	NP	NP	SM
	SPT-17	24,55	34,50	88,4	70,2	41,8	42,0	25,3	16,7	SC
	SPT-23	30,00	31,06	71,0	51,2	36,3	29,6	21,1	8,5	SM
	SPT-24	35,50	18,37	86,5	65,6	27,8	NP	NP	NP	SM
	SPT-28	44,55	28,23	97,1	60,9	22,2	NP	NP	NP	SM
	SMQ-63	M-2	25,45	26,38	100,0	89,7	52,6	32,7	25,7	7,0
M-4		24,60	31,64	100	95,1	72,2	33,6	20	13,6	CL-ML
M-7		39,74	22,80	100	94	64,2	37,8	17,4	20,4	CL
M-8		41,80	32,19	99,1	75,5	47,9	44,2	25,9	18,3	SM
M-10		43,45	27,95	99,4	76,9	44,9	35,7	23,6	12,1	SM
M-11		47,05	21,32	99,8	80,2	40,2	NP	NP	NP	SM
SH-1		31,74	7,00	94,0	87,3	78,4	36,5	26,4	10,1	ML
SH-3		24,94	9,50	100	97,7	81,7	27,4	22,8	4,6	CL-ML
SH-4		21,99	12,45	98,5	95,3	79,2	25,7	21,2	4,5	CL-ML
SPT-3		3,00	14,92	68,6	36,9	20,0	NP	NP	NP	SM
SPT-5		5,00	19,08	94,7	57,9	21,3	NP	NP	NP	SM
SPT-12		14,00	17,16	97,9	87,0	59,6	22,4	18	4,4	CL-ML
SPT-15		17,00	21,35	100,0	89,2	59,4	NP	NP	NP	ML
SPT-18		20,00	15,52	100,0	71,0	35,9	NP	NP	NP	SM
SPT-21		23,00	25,58	98,6	66,5	26,5	NP	NP	NP	SM
SPT-26		29,00	28,57	99,7	81,9	50,5	29,8	22,2	7,6	CL

Fuente HIGGECO

Tabla 6.64 Características Físicas de los suelos (SMQ-65 a SMQ-67)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN SUCS
				Nº10 %	Nº 40 %	Nº200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-65	SPT-2	1,55	28,42	100,0	87,2	62,6	36,6	20,3	16,3	CL
	SPT-4	3,55	26,87	100	88,1	57,9	30,5	20,8	9,7	CL
	SPT-6	5,55	30,11	98,7	84,5	60,4	32,7	21,1	11,6	CL
	SPT-8	7,55	29,71	99,0	92,2	60,1	24,5	20,5	4,0	CL
	SPT-10	9,55	34,96	98,9	79,8	36,4	NP	NP	NP	SM
	SPT-12	11,55	29,66	86,2	34,0	13,9	NP	NP	NP	SM
	SPT-14	16,00	28,03	95,5	58,0	23,4	NP	NP	NP	SM
	SPT-16	17,00	29,72	90,3	48,0	23,8	NP	NP	NP	SM
SPT-17	18,55	19,87	97,0	35,3	14,8	NP	NP	NP	SM	
SMQ-66	SPT-2	23,24	2,00	100,0	93,2	67,4	29,0	7,9	21,1	CL
	SPT-4	23,65	5,00	99,4	79,1	46,1	NP	NP	NP	SM
	SPT-8	28,57	9,00	100	94,8	72,6	38,2	23,65	14,55	CL
	SPT-10	34,88	11,00	93,2	62,7	44,8	42,1	27,6	14,5	SM
	SPT-12	37,56	13,00	97,4	75,2	41,4	39,3	25,4	13,9	SM
	SPT-13	40,05	15,45	98,6	60,2	28,7	NP	NP	NP	SM
SPT-16	47,2	19,40	90,7	54,2	26,8	NP	NP	NP	SM	
SMQ-67	SPT-1	1,00	21,25	100,0	90,6	66,5	30,4	21,5	8,9	CL
	SPT-5	6,10	31,99	100,0	98,3	78,4	41	24,3	16,7	CL
	SPT-8	9,00	29,50	97,4	90,8	62,6	25,3	21,7	3,6	ML
	SPT-10	11,00	22,53	97,5	46,2	19,3	NP	NP	NP	SM
	SPT-13	14,00	27,05	95,2	61,4	19,9	NP	NP	NP	SM
	SPT-17	19,00	19,11	93,6	56,2	24,4	NP	NP	NP	SM
	SPT-21	23,00	19,93	75,5	36,0	7,2	NP	NP	NP	SM-SW
	SPT-22	24,00	22,79	94,5	51,4	10,6	NP	NP	NP	SM-SW
SPT-27	29,00	SM	99,1	85,6	45,6	NP	NP	NP	38,78	

Fuente HIGGECO



Tabla 6.65 Características Físicas de los suelos (SMQ-68 a SMQ-69)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD w %	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN SUCS
				Nº10 %	Nº 40 %	Nº200 %	L.L.	L.P.	I.P.	
SMQ-68	M1	5,50	27,77	100	90	65,2	35,1	22,28	12,82	CL
	SH-1	2,00	27,72	100,0	89,7	60,8	32,4	20,5	11,9	CL
	SPT-1	1,00	34,04	99,4	88,8	61,7	38,6	25,8	12,8	ML
	SPT-2	3,00	23,97	100	88,5	59,5	34,3	20,6	13,7	CL
	SPT-4	5,05	27,06	99,1	90,6	64,9	36,6	21,1	15,5	CL
	SPT-6	7,00	26,09	100	95	64,8	26,4	18,9	7,5	CL
	SPT-8	9,00	21,22	97,5	59,9	18,4	NP	NP	NP	SM
	SPT-11	12,00	34,46	89,8	72	42,7	40,2	27,4	12,8	SM
	SPT-21	22,00	28,8	50,2	9,4	1,0	NP	NP	NP	SP
SMQ-68	M-1	5,60	28,65	100	95,4	68,6	35,5	24,4	11,1	ML
	M-2	12,55	35,28	99,6	93,4	67,5	37,2	28,6	8,6	ML
	SPT-4	28,13	4,00	98,1	72,0	38,4	28,6	18,2	10,4	SC
	SPT-5	21,59	5,00	100	65,1	29,3	NP	NP	NP	SM
	SPT-8	26,00	8,34	96,6	88,7	61,9	27,6	20,0	7,6	CL
	SPT-10	26,60	10,45	97,5	76,8	36,4	26,3	21,6	4,7	SC-SM
	SPT-13	19,22	15,40	97,0	63,8	24,1	NP	NP	NP	SM
	SPT-14	29,55	20,30	96,3	54,1	10,9	NP	NP	NP	SM

Fuente HIGGECO

Parametros mecanicos de los materiales

En las tablas siguientes, se reportan los resultados de los ensayos de Resistencia a la Compresión Simple, Triaxiales UU y de Consolidación, realizados en los diferentes sondeos.

Tabla 6.66 Características mecánicas de los suelos (SMQ-3 a SMQ-17)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS	γd t/m3	RCS			TRIAxIAL UU		CONSOLIDACIÓN							
					qu Kg/cm²	Def. %	E t/m2	c t/m2	φ	γd t/m3	Hn %	Si %	PRESION Kg/cm2	Cv cm2/s x 10 <sup>-2</sup>	k cm/s X 10 <sup>-7</sup>		
SMQ-3	SH-1	1,55	M L	1,30				3,0	14,9								
SMQ-12	M-1	10,58	MH	1,06	1,57	3,57											
	M-2	11,75	ML	1,28													
	M-6	16,69	CL	1,50	1,59	6,24											
	M-8	28,00	SM	1,34													
	M-10	43,20	MH	1,26	5,79	0,78											
	SH-1	5,00	ML	1,25	0,9	2,5											
	SH-2	6,00	SM	1,08				1,0	34,3	1,09	44,7	85,4	0,25	3,6	7,9		
													0,51	6,5	12,7		
													1,02	2,3	4,1		
													2,04	5,2	7,4		
												4,08	3,3	5,0			
SMQ-17	M-1	8,68	SM	1,54				6,5	29,5								
	M-2	11,74	SM-SC	1,45	2,08	6,24											
	M-6	29,50	SM	1,40	18,09	2,57											
	M-7	32,00	SC	1,44													

Fuente HIGGECO

Tabla 6.67 Características mecánicas de los suelos (SMQ-21 a SMQ-26)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS	γd t/m3	RCS			TRIAxIAL UU		CONSOLIDACIÓN							
					qu Kg/cm²	Def. %	E t/m2	c t/m2	φ	γd t/m3	Hn %	Si %	PRESION Kg/cm2	Cv cm2/s x 10 <sup>-2</sup>	k cm/s X 10 <sup>-7</sup>		
SMQ-21	M-1	2,55	CL	1,47													
	M-2	4,52	CL	1,41	0,70	4,46											
		5,50	CL	1,57				6,0	13,0	1,62	21,5	96,6	0,25	4,1	12,7		
	M-3												0,51	5,4	7,8		
													1,02	8,0	8,7		
													2,04	6,3	5,1		
													4,08	7,7	4,5		
	M-5	12,42	SM	1,44	0,57	3,57						8,16	10,0	3,6			
	M-6	15,72	ML	1,32													
	M-13	26,10	CL	1,51	6,11	1,14											
M-14	29,10	CL	1,30														
M-19	37,70	CL	1,33														
M-20	45,50	SM	1,25	1,75	6,24												
M-24	49,73	SC	1,62														
SMQ-26	M-1	10,45	CL-ML	1,43													
	M-3	16,55	CL	1,40	1,60	2,5											
	M-5	19,70	MH	1,17													
	M-7	26,00	ML	1,27													
	M-8	34,30	ML	1,08													
	M-10	42,30	ML	1,33													
	M-11	44,00	ML	1,51	18,55	0,61											
		12,00	SM							1,478	26,2	92,9	0,25	3,3	7,5		
	SPT-12												0,51	3,2	3,1		
													1,02	2,1	1,5		
													2,04	2,1	1,1		
												4,08	2,1	7,8			
												8,15	2,6	7,5			

Fuente HIGGECO

Tabla 6.68 Características mecánicas de los suelos (SMQ-28 a SMQ-42)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS	γd t/m3	RCS			TRIAxIAL UU		CONSOLIDACIÓN							
					qu Kg/cm²	Def. %	E t/m2	c t/m2	φ	γd t/m3	Hn %	Si %	PRESION Kg/cm2	Cv cm2/s x 10 <sup>-2</sup>	k cm/s X 10 <sup>-7</sup>		
SMQ-28	M5+M6	44,00	MH	1,016	4,02	1,18											
	M9	49,54	ML	1,353	7,61	1,00											
	M17	71,10	MH	0,979	1,93	1,43											
	M19	75,30	ML	1,146													
	M25	84,00	ML	1,203	1,91	1,10											
SMQ-34	M-2	14,09		1,27													
	M-2	15,09		1,44	10,07	2,28											
	M-13	48,51	ML	1,42	6,43	1,61											
	SH-1	2,00	CL	1,41													
	SH-2	4,00	ML										0,25	1,6	3,5		
												0,51	0,5	0,88			
												1,02	0,4	0,38			
												2,04	0,4	0,38			
SMQ-42	M-1	11,45	CL	1,51													
	M-2	19,45	SC	1,29													
	M-3	20,83	CL-ML	0,96	1,57	2,85											
	M-6	26,65	CH	1,08	2,22	1,78											
	M8+M9	28,50	CL	1,46													
	M10+M11	34,45	SM	1,430	8,48	2,23											
	M12+M13	38,40	SM-SC	1,490	5,55	2,04											
	M18+M19	40,10	CH	1,340	6,71	1,72											
	M22+M23	43,07	CL	1,45	5,05	1,61											
	SH-2	6,00	ML	1,33													
SH-4	8,00	CL	1,45														

Fuente HIGGECO



Tabla 6.69 Características mecánicas de los suelos (SMQ-44 a SMQ-63)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS	γd t/m3	RCS			TRIAXIAL UU		CONSOLIDACIÓN								
					qu Kg/cm²	Def. %	E t/m2	c t/m2	φ	γd t/m3	Hn %	Si %	PRESION Kg/cm2	Cv cm2/s x 10⁻⁴	k cm/s X 10⁻⁷			
SMQ-44	M-1	18,64	CL-ML	1,24														
	M-2	23,65	ML	1,210	4,89	1,07												
	M-3	25,54	ML	1,26														
	M-4	29,70	ML	1,19	7,96	1,07												
	M-7	35,61	ML	1,270	0,75	5,35												
	M-8	37,66	CL	1,340														
	M-10	40,54	ML	1,22	1,54	6,24												
	SH-1	3,00	CL	1,31														
	SH-2	5,00	CL-ML	1,33														
	SH-3	10,00	SM	1,40				3,5	17,0									
SH-4	13,00	ML	1,26															
SMQ-48	M1+M2	11,52	CL	1,54				6,5	9,1									
	M-3	26,00	CL	1,54	2,73	1,78												
SMQ-63	M-2	25,45	ML	1,51	13,54	0,75												
	M-4	24,60	CL-ML	1,49	2,02	3,21												
	M-7	39,74	CL	1,57														
	M-8	41,80	SM	1,33	11,0	1,07												
	M-10	43,45	SM	1,50														
	M-11	47,05	SM	1,63														
	SH-1	31,74	ML	1,27				7,5	11,3									
	SH-3	24,94	CL-ML	1,44	0,88	1,43												
	SH-4	21,99	CL-ML	1,42						1,481	26,1	92,6	0,25	16,3	41,7			
													0,51	8,1	9,0			
													1,02	3,6	3,0			
													2,04	4,0	2,3			
												4,08	2,6	1,1				
											8,15	6,1	2,1					

Fuente HIGGECO

Tabla 6.70 Características mecánicas de los suelos (SMQ-67 a SMQ-69)

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS	γd t/m3	RCS			TRIAXIAL UU		CONSOLIDACIÓN								
					qu Kg/cm²	Def. %	E t/m2	c t/m2	φ	γd t/m3	Hn %	Si %	PRESION Kg/cm2	Cv cm2/s x 10⁻⁴	k cm/s X 10⁻⁷			
SMQ-67	SH-1	2,00		1,56	1,40	1,93												
	SH-2	6,00		1,14														
	SH-3	6,55		1,23				5,5	11,8									
SMQ-68	M1	5,50	CL	1,386						1,441	27,3	89,0	0,25	2,2	7,3			
													0,51	0,8	1,6			
													1,02	3,2	5,7			
													2,04	2,6	4,5			
													4,08	3,3	3,9			
											8,16	2,3	1,7					
SMQ-69	M-1	5,60	ML	1,4				7,5	27,3									
	M-2	12,55	ML	1,16	5,75	0,93												

Fuente HIGGECO

Resultados de los ensayos presiometricos

Los ensayos Presiométricos realizados mediante un equipo completamente automatizado, han permitido obtener los valores de los parámetros propios de este tipo de ensayo, con un alto grado de confiabilidad, pues no están sujetos a la manipulación del operador de campo, ni a la interpretación humana de sus parámetros.

Por esta razón, el equipo entrega los valores de Presión Límite, Presión de fluencia y Modulo Presiométrico, de forma directa, tal como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 6.71 Resultados obtenidos de los ensayos Presiométricos

Información del ensayo		Parámetros fundamentales			Parámetros complementarios				Parámetros adjuntos		
Perforación	Profundidad (m)	pf (MPa)	pl (MPa)	EM (MPa)	shs (MPa)	pl* (MPa)	E/pl	E/pl*	Etmax (Mpa)	p1 (Mpa)	p2 (Mpa)
SMQ 3	5	1,6	3,12	72	0,045	3,08	23	23,4	204992	0,22	1,01
SMQ 13	20,00	0,48	0,82	26,1	0,180	0,64	32,0	41,0	27,7	0,19	0,48
SMQ 13	15,00	1,00	1,56	15,6	0,135	1,43	10,0	10,9	12,5	0,32	0,78
SMQ 13	34,50	0,55	0,37	150,2	0,310	0,06	407,3	2579,7	182296,2	0,47	0,51
SMQ 18	14,50	0,47	0,80	11,9	0,131	0,67	14,9	17,8	100036,1	0,13	0,47
SMQ 18B	15,00	0,53	1,16	8,5	0,135	1,02	7,4	8,4	8,6	0,16	0,53
SMQ 21	30,00	2,69	2,67	103,2	0,270	2,40	38,7	43,0	37,2	0,72	1,92
SMQ 23	20,00	3,69	6,27	355,3	0,180	6,09	56,6	58,3	628,2	0,70	3,69
SMQ 23	10,00	0,09	0,15	7,1	0,090	0,06	46,1	111,0	3,2	0,08	0,09
SMQ 42	9,60	1,88	2,73	28,9	0,086	2,64	10,6	10,9	116,1	0,09	1,88
SMQ 42	5,00	0,10	0,36	6,5	0,045	0,31	18,0	20,5	14,2	0,01	0,10
SMQ 42	26,00	3,74	6,36	267,1	0,234	6,13	42,0	43,6	239,1	0,61	3,74
SMQ 44	40	3,14	6,69	159,9	0,36	6,33	23,9	25,3	197,8	0,76	3,14
SMQ 44	35	2,8	6,32	192,8	0,315	6,01	30,5	32,1	369,5	1,02	2,41
SMQ 44	30	2,93	6,33	194	0,27	6,06	30,7	32	242,5	0,74	2,93
SMQ 44	20	1,99	3,65	80,3	0,18	3,47	22	23,1	131,6	0,41	1,69
SMQ 49	25	1,69	2,87	152,3	0,225	2,65	53	57,5	77	0,9	1,69
SMQ 51	5,00	0,18	0,36	5,7	0,045	0,32	15,7	17,9	7,9	0,01	0,09
SMQ 51	25,50	2,02	4,18	73,3	0,229	3,95	17,5	18,6	129,9	0,61	1,56
SMQ 56	30,00	3,12	4,24	372,7	0,270	3,97	87,9	93,8	373,2	0,93	3,12
SMQ 56	14,50	1,03	2,09	26,7	0,131	1,95	12,8	13,7	69,6	0,26	1,03
SMQ 56	20,00	1,70	2,81	17,0	0,180	2,63	6,0	6,5	18,1	0,46	1,12
SMQ 56	10,00	0,43	0,62	10,4	0,090	0,53	16,8	19,7	28,7	0,07	0,35
SMQ 60	5,00	0,46	0,76	16,5	0,045	0,71	21,8	23,2	30,4	0,02	0,37
SMQ 60	14,00	1,34	1,95	42,0	0,126	1,82	21,6	23,1	56,7	0,22	1,04

Fuente HIGGECO

Conclusiones

De los estudios realizados pueden extraerse las conclusiones siguientes:

- Los materiales atravesados y estudiados pertenecen a la formación Cangahua y formación Machángara (unidades Pintado y Guamani).
- La línea se desarrolla sobre el acuífero de Quito (sector sur y centro), variando la profundidad del nivel piezométrico entre los 3 metros de profundidad y los 20 metros de profundidad
- Existe una gran heterogeneidad de los materiales atravesados.
- Se trata fundamentalmente de suelos formados por mezclas de arenas, limos y arcillas-
- Los materiales estudiados son una mezcla de arenas, limos y arcillas.
- Las características resistivas de los materiales son muy variables dependiendo fundamentalmente del contenido en finos. A mayor cantidad de finos aumenta la cohesión y disminuye el Angulo de rozamiento interno.

- Los resultados de las pruebas de permeabilidad no son representativos de los materiales acuíferos que atrará el proyecto
- En el Diseño Definitivo para la Obra Civil de la Primera Línea del Metro del Quito , se mantiene en el Tomo IV , los estudios específicos y detallados de los ensayos de permeabilidad realizados en los sondeos, los ensayos piezométricos y las mediciones del nivel freático.

### 6.2.10 Hidrología

El área de influencia del Metro de Quito abarca desde la estación Quitumbe al Sur hasta Labrador al norte, para lo cual se requieren determinar los caudales que pueden afectar el normal funcionamiento del Metro, y que permitirán diseñar los sistemas de drenaje longitudinal y transversal de modo que no hayan puntos de retención de agua que puedan afectar a la operación normal del servicio.

En función de lo indicado se requiere realizar el estudio hidrológico-hidráulico de las quebradas y/o barrancos de la zona de Quitumbe, que permita comprobar si dichos cauces tienen capacidad para drenar el agua en los periodos de retorno considerados.

#### Metodología

##### **Estudio hidrológico de las quebradas y/o barrancos de la zona de Quitumbe**

La zona de Quitumbe abarca desde la quebrada La Raya hasta la estación Morán Valverde. En esta zona existen alrededor de nueve quebradas sobre las cuales se realizó el estudio y análisis hidráulico.

La cartografía utilizada en el estudio corresponde a una escala de 1:25.000, WGS84 sobre la cual se trazaron las cuencas de aportación, para este trazado no se contó con la información de los colectores de la zona que resulta necesario para determinar el inicio de la cuenca de aportación ya que este punto (sitio) sería la entrada de la escorrentía de las quebradas a los colectores. Al no contar con esa información, se tomó como punto de inicio de la cuenca el límite de la zona urbanizada con las quebradas, en donde se supone que se construirá el colector para captar la escorrentía de las mismas.

Tomando este criterio se procedió a trazar las cuencas de aportación, delimitando sus áreas, y obteniendo los parámetros físicos-morfométricos que permitan estimar los caudales de crecida en cada una de ellas.

##### **Modelación hidrológica aplicando el Modelo Hidrológico HEC-HMS 3.2**

El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y en el país.



El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario (GUI) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma muy transparente para el usuario.

Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos:

- Subcuencas (subbasins)
- Tramos de tránsito (routing reach)
- Uniones (junctions)
- Embalses (reservoirs)
- Fuentes (Sources)
- Sumideros (sinks)
- Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, el usuario puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que está tratando y como permita la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

**Módulo de precipitación:** permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño.

**Módulo de la cuenca:** permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir el hidrograma total de salida.

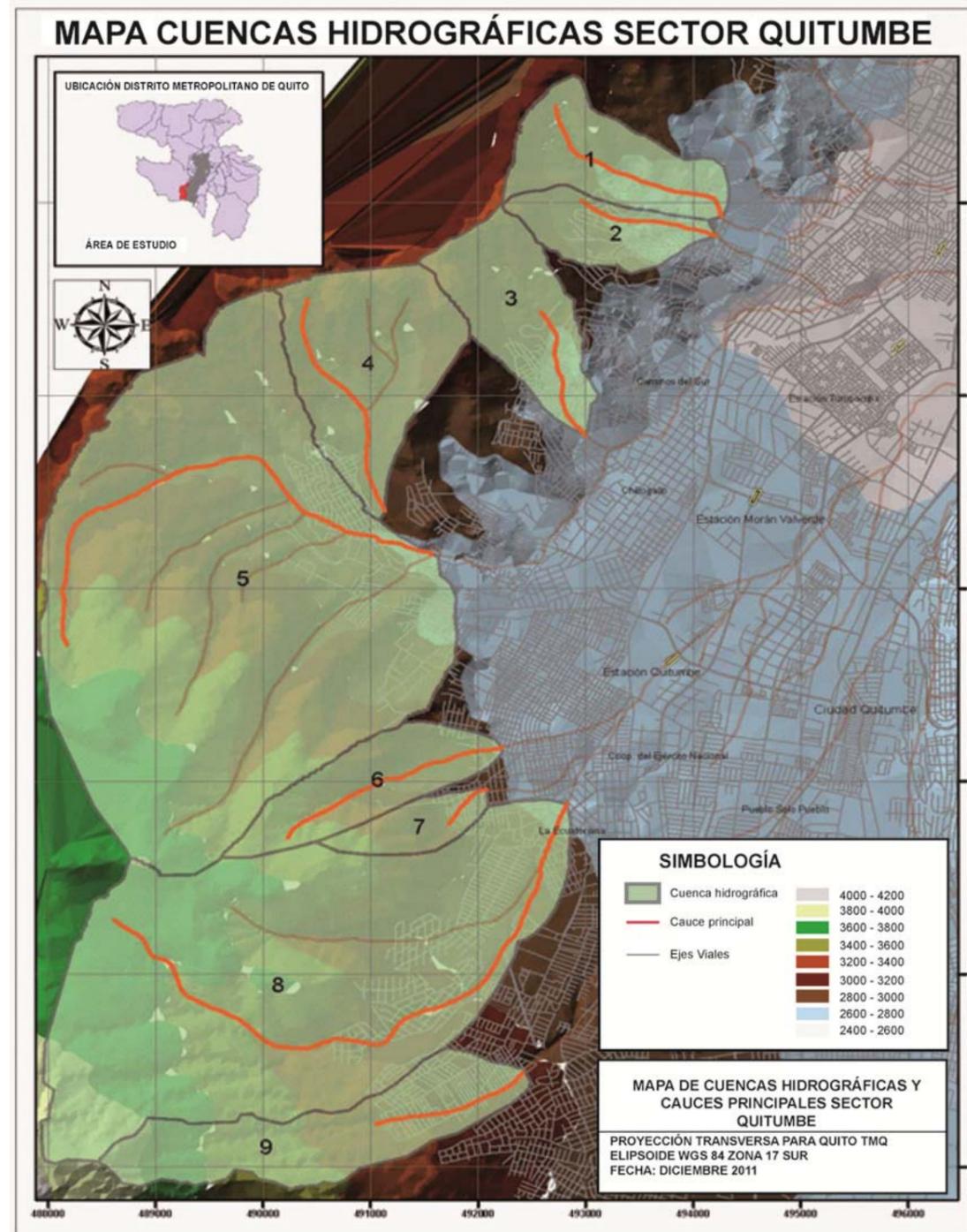
**Módulo de control:** incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Estos tres módulos deben definirse completamente antes de iniciar la corrida de simulación.



Para realizar la modelación hidrológica en la zona de estudio se han considerado las 9 subcuencas individualmente con el fin de evaluar los hidrogramas y caudales producidos por cada una de ellas que serían los que circularían en la quebrada e ingresarían al colector. Las subcuencas se pueden apreciar en la Figura 6.103.

Figura 6.101 Cuencas hidrográficas sector Quitumbe



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Existen algunos métodos que ofrece el modelo para determinación de caudales de crecida los mismos que se describen a continuación:

Tabla 6.72 Métodos de cálculo para subcuencas

Tipo de Modelo	Método
Pérdidas	Déficit y tasa constante Inicial y tasa constante Exponencial Número de Curva CN SCS Green y Ampt Consideraciones de la humedad del suelo DC por celdas CN SCS por celdas SMA por celdas
Transformación lluvia-caudal	Hidrograma unitario (HU) de Clarck Onda cinemática ModClarck HU SCS HU Snyder HU especificado por el usuario Hidrograma en S del usuario
Flujo Base	Recesión restringida Constante mensual Depósito lineal Recesión

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

En este caso y de acuerdo a la información disponible se optó en aplicar el método: Pérdidas: (Número de Curva CN SCS), Transformación lluvia –caudal: HU SCS y Flujo base: Recesión para lo cual requieren datos como: Áreas de las subcuencas en Km<sup>2</sup>, tormenta SCS Storm (Precipitación máxima promedio en 24 horas para un periodo de retorno determinado en mm.), SCS curve number (número hidrológico- CN), Initial abstracción (máxima retención- S en mm.), Impervios % (% de suelo impermeable) y Lag time (tiempo de retraso en minutos). En este contexto se han obtenido los datos solicitados por modelo hidrológico HEC-HMS 3.2.



### Determinación de datos de las subcuencas de estudio utilizadas en el modelo hidrológico HEC-HMS3.2

La estimación de la escorrentía directa se basa en la precipitación ocurrida y las condiciones de la cuenca como: condiciones iniciales de la cuenca, clasificación hidrológica de la cuenca, condición hidrológica y usos de la tierra.

De acuerdo a las consideraciones indicadas se utilizaron ecuaciones como:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

En donde

S = máxima retención -mm.

CN = Curva "Standard" ó número de curva

la =  $0.2^S$

la = Abstracciones iniciales – mm

El número de curva CN, depende de los factores que determinan el complejo hidrológico suelo – vegetación y sus valores se encuentran en varios manuales de hidrología. En este caso de acuerdo a las normativas de "Diseño hidráulico de redes de alcantarillado" y parámetros de diseño de la Empresa Pública metropolitana de Agua Potable y sanidad de Quito – EPMAPS, recomienda que: "Cuando se aplica el Método de cálculo de la US SCS, se recomienda el uso de CN (Curve Number) siguiente:

CN = 79 para laderas

CN = 83 para áreas urbanas y laderas en desarrollo

CN = 89 para zona urbana poblada

La condición hidrológica por humedad antecedente, se escogió la condición II que es aconsejable para este tipo de estudios.

Además indica que para el cálculo de las intensidades se empleará la ecuación correspondiente a la estación meteorológica Izobamba, a ser usada para el sur de Quito, a partir de la Av. 24 de Mayo, por lo que para la modelación hidrológica se utilizará los valores de P<sub>máx</sub> en 24 horas referidas a los TR calculados de la estación Izobamba ajustados a través de la distribución Log Pearson III (tabla 6) ya que las quebradas y/o barrancos de la zona de Quitumbe se encuentran en el área de influencia de esta estación.

Un resumen de los parámetros físicos- morfométricos de las subcuencas requeridos por el modelo se observan en la Tabla 6.75.

El Tlag es el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad de la precipitación neta hasta la punta del hidrograma y es aproximadamente igual a  $0,6 T_c$ .

### Resultados

Con toda la información obtenida se procedió a realizar la modelación, obteniéndose los hidrogramas y caudales de diseño para los periodos de retorno seleccionados de las 9 subcuencas.

**Tabla 6.73 Datos de las subcuencas de estudio utilizadas en el modelo hidrológico HEC-HMS**

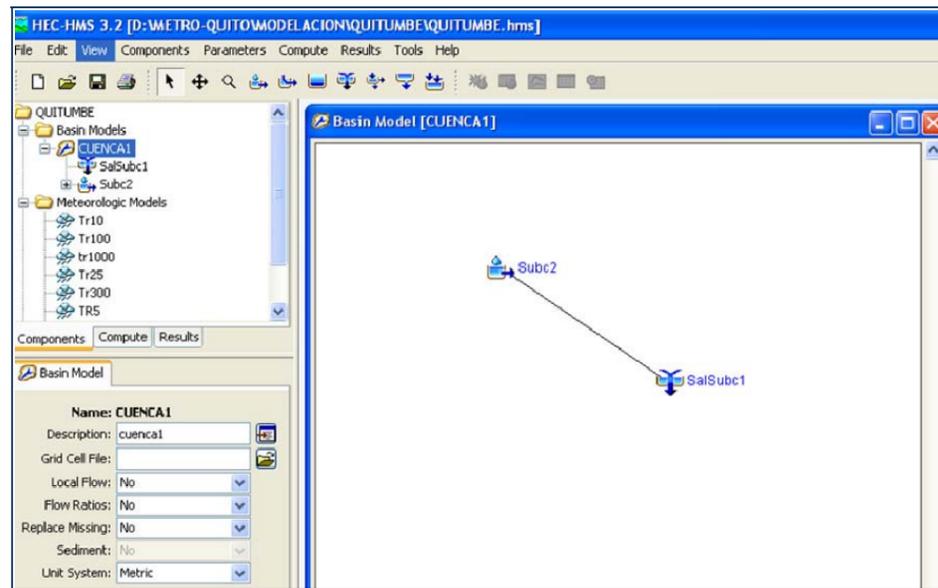
Subcuenca	COORDENADAS		Cota media (m)	Pendiente (m/m)	L. cauce más largo (Km)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	CN	Tc (hs)	Tlag (min)	S (mm.)	la = $0.2^S$	%suelo impermeable
	E	N										
1	494268.2	9971860.8	4826.5	2.232	2.113	1.650	83	0.144	5.193	52.02	10.405	10
2	494207.68	9971662.2	3150	2.524	1.347	1.016	83	0.122	4.4005	52.02	10.405	20
3	492997.93	9969597.7	3187.5	2.406	1.413	1.836	83	0.138	4.9507	52.02	10.405	10
4	491133.67	9968806.9	3262.5	1.410	2.446	2.804	79	0.272	9.7915	67.52	13.504	1
5	491564.40	9968367.8	3437.5	0.749	5.177	14.523	79	0.467	16.799	67.52	13.504	4
6	492220.60	9966357.1	3350	1.612	2.28	1.598	73	0.203	7.3051	93.95	18.789	2
7	492075.90	9965919.7	3337.5	6.892	0.526	0.611	83	0.039	1.4075	52.02	10.405	3
8	492819.58	9965769.9	3562.5	0.637	6.314	10.207	80	0.574	20.681	63.50	12.700	5
9	492434.28	9963007.2	3612.5	2.665	1.501	1.650	80	0.117	4.2123	63.50	12.700	10

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

En la siguiente Figura 6.104 se observa un esquema general de una de las subcuencas consideradas para la modelación hidrológica.



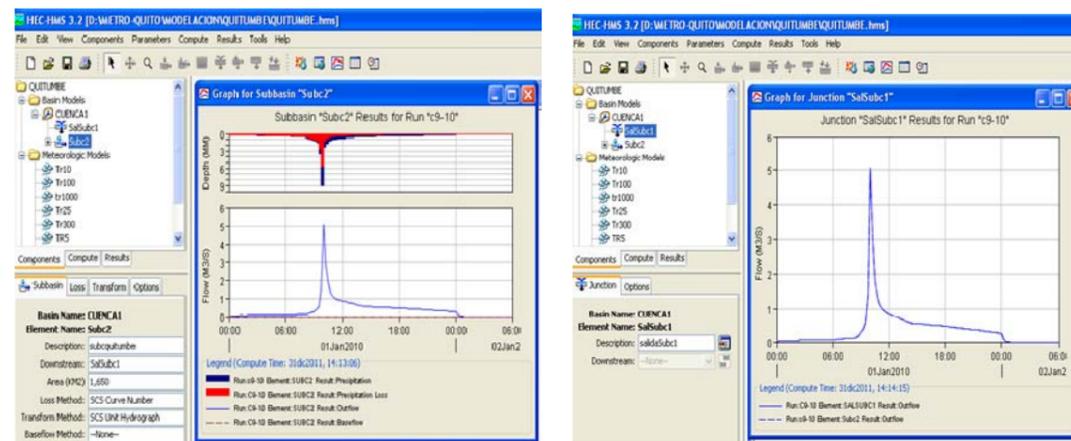
**Figura 6.102 Esquema general de una subcuenca considerada para modelación hidrológica**



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Con el esquema ingresado en el modelo hidrológico HEC-HMS 3.2 y la información solicitada de acuerdo al método empleado se obtuvieron los hietogramas, hidrogramas y caudales, para diferentes periodos de retorno como se indica en la Figura 6.105 extraída del modelo hidrológico.

**Figura 6.103 Hietogramas de precipitaciones e hidrogramas de salida de la subcuenca 9**



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Al analizar el gráfico de la izquierda, se observan dos colores, deduciéndose que el color rojo es la pérdida de precipitación (abstracciones iniciales) y el color azul es la precipitación neta que se transforma en escurrimiento directo, mientras que en el gráfico de la derecha se observa el hidrograma de salida de la subcuenca 9.

Finalmente se obtuvieron los caudales máximos para las 9 subcuencas, generados por el modelo hidrológico HEC-HMS 3.2; los mismos se observan en la Tabla 6.76.

**Tabla 6.74 Caudales máximos (m<sup>3</sup>/s) en subcuencas de las quebradas para diferentes TR**

Periodos de retorno (TR)	Subc. 1	Subc. 2	Subc. 3	Subc. 4	Subc. 5	Subc. 6	Subc. 7	Subc. 8	Subc. 9
5	4.9	3.5	5.4	4.0	18.9	1.1	1.6	14.1	3.9
10	6.2	4.3	6.9	5.7	26.0	1.9	2.1	19.1	5.1
25	8.1	5.5	9.0	8.2	36.2	3.1	2.8	26.2	6.8
50	9.6	6.4	10.7	10.2	44.6	4.2	3.3	32.1	8.2
100	11.2	7.5	12.5	12.5	53.8	5.4	3.9	38.5	9.7
300	14.1	9.2	15.7	16.5	70.1	7.5	5.0	49.8	12.4
500	15.5	10.1	17.3	18.5	78.4	8.7	5.5	55.5	13.8
1000	17.6	11.4	19.6	21.5	90.5	10.3	6.3	63.9	15.8

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Para la modelación hidráulica se deberán considerar los caudales de las nueve subcuencas, pero al no contar con la topografía a detalle, no se realiza la modelación hidráulica.

**Estudio hidrológico de la escorrentía en las entradas de las bocas de las estaciones del Metro Quito**

Las entradas principales al Metro de Quito se encuentran ubicadas en sentido norte a sur, iniciando en el sector El Labrador al norte hasta el sector de Quitumbe al sur. De acuerdo a los estudios se han planificado construir 15 estaciones principales de entrada al Metro las mismas que se indican en la Tabla 6.77 y en la Figura 6.106.

La cartografía utilizada en el estudio y entregada por la Consultora corresponde a una escala de 1:25.000, WGS84, sobre la cual se trazaron las cuencas urbanas de aportación, tomando como puntos de estudio las entradas al Metro, el trazado de las calles y su direccionamiento hasta la entrada al Metro, además se contó con información de los sumideros que se encuentran ubicados en las áreas de aportación, ya que son estructuras que ayudan a desaguar los caudales provenientes de las precipitaciones, consecuentemente, no todo el caudal de escurrimiento llegará hasta la entrada de la boca del Metro.

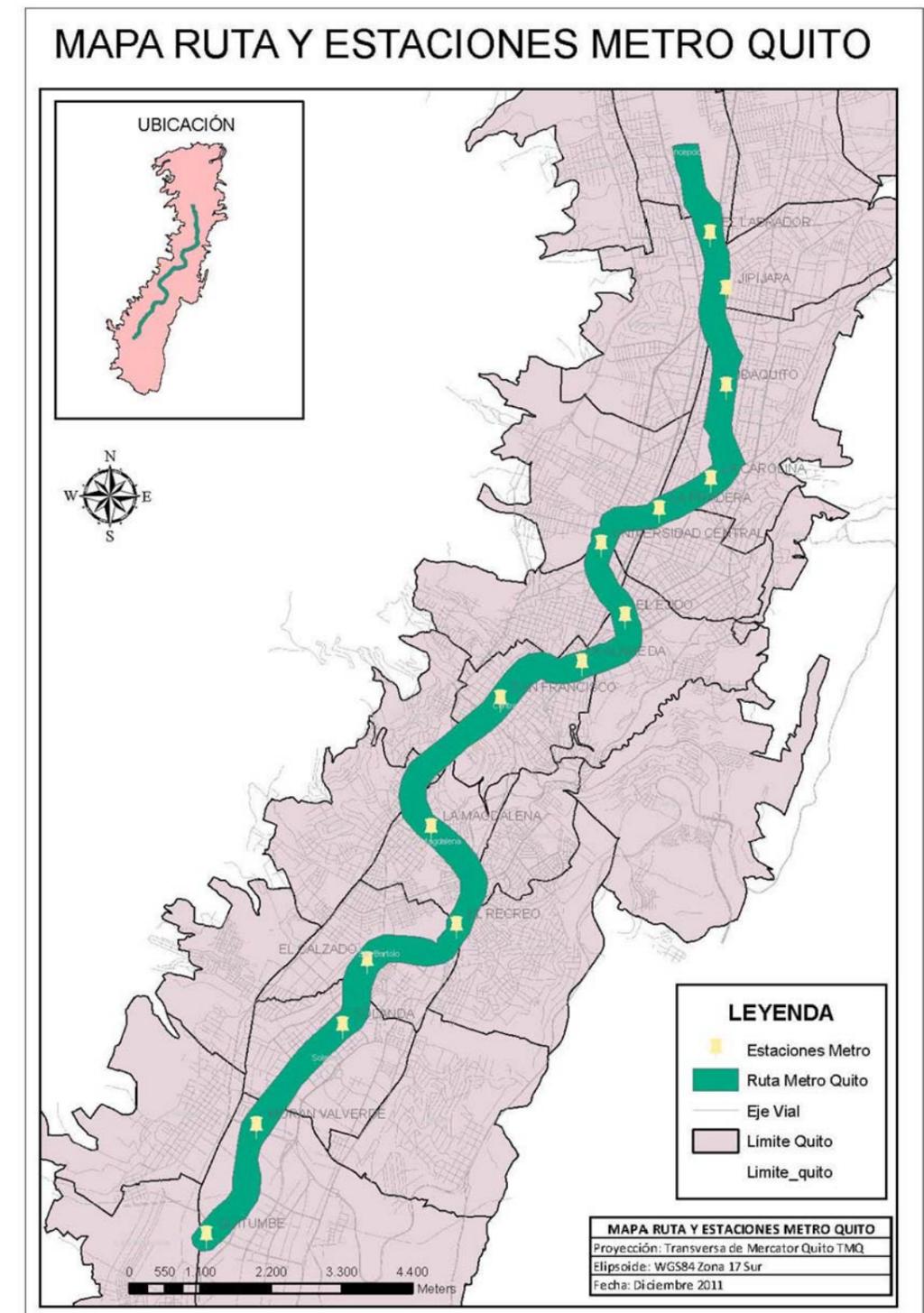


Tabla 6.75 Ubicación de las entradas de las bocas de las estaciones del Metro-Quito

Nº	Nombre	Coordenadas		Área km <sup>2</sup>	Cota Máxima	Cota Mínima
		E	N			
1	Quitumbe	493797	9967257	0.486	2950	2925
2	Moran Valverde	494575	9968951	0.244	2900	2875
3	Solanda	495902	9970508	0.877	2875	2850
4	El Calzado	496288	9971509	0.200	2850	2825
5	El Recreo	497669	9972055	0.400	2825	2800
6	La Magdalena	497283	9973573	0.337	2850	2800
7	San Francisco	498355	9975565	0.208	2850	2825
8	La Alameda	499619	9976132	0.241	2875	2800
9	El Ejido	500285	9976849	0.322	2850	2800
10	Universidad Central	499918	9977960	0.475	2920	2820
11	La Pradera	500807	9978502	0.704	2975	2775
12	La Carolina	501601	9978964	0.805	2825	2775
13	Ñaquito	501841	9980415	0.249	2825	2800
14	Jipijapa	501843	9981913	0.184	2797	2775
15	El Labrador	501599	9982774	0.371	2813	2790

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Figura 6.104 Ruta y estaciones del Metro de Quito



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Para la estimación de los caudales igualmente se aplicó Modelo Hidrológico HEC-HMS 3.2, el cual permite calcular los caudales de aportación en función de las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

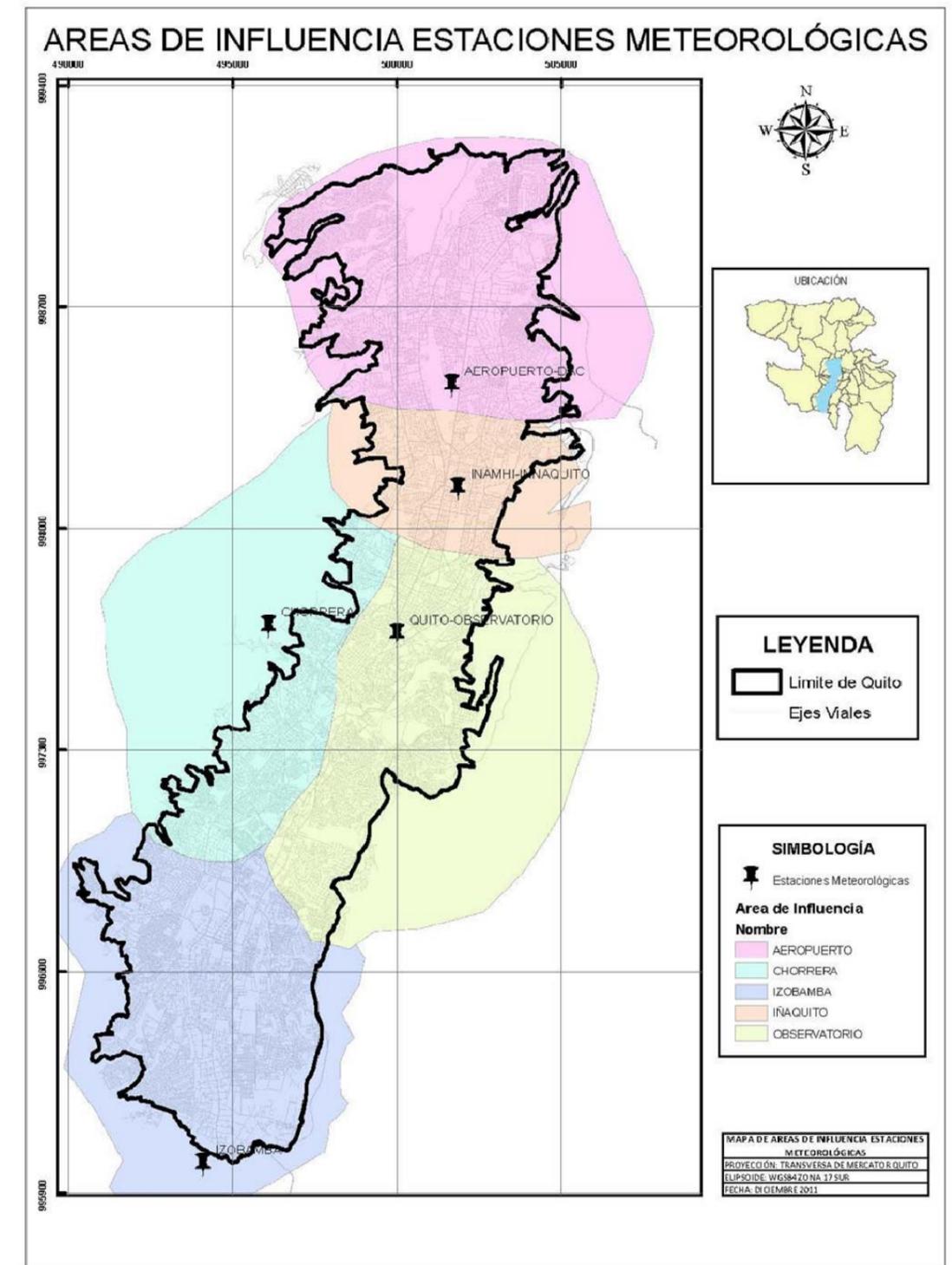
Los valores de precipitaciones máximas en 24 horas calculadas se utilizaron de acuerdo al área de influencia y ubicación de las bocas de entrada al Metro. Los caudales calculados son aquellos que llegarían a las entradas del Metro de Quito, sin embargo esa no es la realidad ya que en su trayecto se encuentran ubicados sumideros que captan la escorrentía, consecuentemente no todo el caudal producido por la lluvia, llega al sitio de la boca de entrada al Metro, por lo que se considera el número de sumideros ubicados en cada una de las áreas aportación que captarán un caudal determinado, y la diferencia del caudal entre el producido por la precipitación máxima en 24 horas y lo que captan los sumideros será el caudal que llegue a la boca de la entrada del Metro, y este valor será el caudal probable para el cual se deberá diseñar las estructuras de defensa en cada una de las entradas de las bocas del Metro.

#### Consideraciones hidrológicas para el cálculo de caudales

El cálculo de los caudales en las entradas del Metro se realizará con los valores de  $P_{m\acute{a}x}$  en 24 horas referidas a los periodos de retorno de acuerdo al área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas, así para las entradas de las bocas del Metro: Quitumbe, Morán Valverde, Solanda, El Calzado, El Recreo y La Magdalena se calcularán con los valores de  $P_{m\acute{a}x}$  24 h de la estación meteorológica Izbamba, para las entradas de las bocas del Metro: San Francisco, La Alameda, El Ejido, Universidad Central, La Pradera, La Carolina e Iñaquito se calcularán con los valores de  $P_{m\acute{a}x}$  24 h de la estación meteorológica Quito-INAMHI, para las entradas de las bocas del Metro: Jipijapa y El Labrador se calcularán con los valores de  $P_{m\acute{a}x}$  24 h de la estación meteorológica Quito-Aeropuerto.

Las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas para el Metro Quito se observan en la Figura 6.107.

Figura 6.105 Áreas de influencia estaciones meteorológicas



Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Al ser superficies totalmente urbanizadas, el valor de CN se adoptó 89 (recomendación de APMAPS, para zona urbana poblada) y el área impermeable de 85% (Ven te Chow), el tiempo de concentración para estos casos (estudios de alcantarillado) se consideró de 10 minutos.

Los parámetros requeridos por el modelo hidrológico se presentan en la Tabla 6.78.

**Tabla 6.76 Parámetros hidrológicos requeridos por el modelo hidrológico HEC-HMS 3.2**

Subcuenca	Nombre	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	CN	Tc (min)	Tlag (min)	S (mm.)	Ia = 0.2*S	%suelo impermeable
1	Quitumbe	0.486	89	10	6	31.39	6.279	85
2	Moran Valverde	0.244	89	10	6	31.39	6.279	85
3	Solanda	0.877	89	10	6	31.39	6.279	85
4	El Calzado	0.200	89	10	6	31.39	6.279	85
5	El Recreo	0.400	89	10	6	31.39	6.279	85
6	La Magdalena	0.337	89	10	6	31.39	6.279	85
7	San Francisco	0.208	89	10	6	31.39	6.279	85
8	La Alameda	0.241	89	10	6	31.39	6.279	85
9	El Ejido	0.322	89	10	6	31.39	6.279	85
10	Universidad Central	0.475	89	10	6	31.39	6.279	85
11	La Pradera	0.704	89	10	6	31.39	6.279	85
12	La Carolina	0.805	89	10	6	31.39	6.279	85
13	Iñaquito	0.249	89	10	6	31.39	6.279	85
14	Jipijapa	0.184	89	10	6	31.39	6.279	85
15	El Labrador	0.371	89	10	6	31.39	6.279	85

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Aplicando el modelo hidrológico HEC-HMS 3.2 se obtuvieron los caudales de crecida para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 300, 500 y 1000 años en las 15 entradas de las bocas del Metro, cuyos valores se observan en las Tablas 6.79 y 6.80.

**Tabla 6.77 Caudales de crecida para TR definidas, calculados en las entradas de las bocas del Metro**

CAUDALES – m <sup>3</sup> /s								
Periodos de Retorno (T <sub>R</sub> )	Quitumbe	Moran Valverde	Solanda	El Calzado	El Recreo	La Magdalena	San Francisco	La Alameda
5	3.3	1.7	6.0	1.4	2.7	2.3	1.5	1.7
10	3.8	1.9	6.9	1.6	3.1	2.6	1.6	1.9
25	4.4	2.2	8.0	1.8	3.6	3.1	1.8	2.1
50	4.9	2.5	8.9	2.0	4.1	3.4	2.0	2.3
100	5.4	2.7	9.8	2.2	4.5	3.8	2.1	2.4
300	6.3	3.2	11.4	2.6	5.2	4.4	2.3	2.6
500	6.7	3.4	12.1	2.8	5.5	4.7	2.3	2.7
1000	7.3	3.7	13.2	3.0	6.0	5.1	2.4	2.8

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe

**Tabla 6.78 Caudales de crecida para TR definidas, calculados en las entradas de las bocas del Metro**

CAUDALES – m <sup>3</sup> /s							
Periodos de Retorno (T <sub>R</sub> )	El Ejido	Universidad Central	La Pradera	La Carolina	Iñaquito	Jipijapa	El Labrador
5	2.3	3.4	5.0	5.8	6.1	1.2	2.5
10	2.5	3.8	5.6	6.4	6.7	1.4	2.8
25	2.7	4.0	6.0	6.9	7.2	1.5	3.0
50	3.0	4.5	6.6	7.6	8.0	1.6	3.2
100	3.2	4.7	7.0	8.0	8.5	1.7	3.4
300	3.5	5.2	7.6	8.7	9.2	1.8	3.7
500	3.6	5.3	7.9	9.1	9.6	1.9	3.8
1000	3.8	5.6	8.3	9.5	10.0	2.0	4.0

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Los caudales de las Tablas 6.79 y 6.80 son valores que escurren hacia los puntos de estudio (bocas de entrada al Metro), sin que existiera una estructura de desagüe para evacuar estos caudales, pero como en todas las vías existen sumideros que captan la totalidad o parte de este caudal, entonces en función del número de sumideros existentes en las vías y suponiendo que todos son de rejillas normalizadas, se estima el caudal de captación de dichas obras de desagüe multiplicando por el número de sumideros que tiene cada área de aportación para obtener el caudal desaguado o evacuado, el mismo que se resta del caudal total producido por cada área de aportación hasta la entrada de cada una de las bocas del Metro para obtener el caudal de exceso con que se diseñarán las estructuras de protección de dichas entradas.

Para el cálculo aproximado del caudal que capta cada sumidero se asume que existen sumideros tipo calzada normalizados cuyas dimensiones son de 0,6 x 0,96 m y 10 ranuras con un área neta de 0,27m<sup>2</sup> que representa casi el 50% del área de la cámara.

De acuerdo a investigaciones experimentales realizadas por la John Hopkins University, para este tipo de sumideros con una depresión de 5 cm se tiene lo siguiente (Tabla 6.81).

**Tabla 6.79 Referencia rápida para sumideros de rejilla normalizados (0,61x0,90) depresión 5 cm**

Pendiente calle (%)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
Capacidad de Sumidero (l/s)	104	99	91.5	89.5	84.5	79.7	75.3	70.7	66.5	63.0	59.3	52.5	47.8

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

Tomando en cuenta los valores de caudales evacuados por el número de sumideros existentes en cada una de las áreas de aportación, así como la obstrucción por basura y otros elementos de un 50% en la evacuación del caudal, en función de la pendiente longitudinal aproximada de las vías en donde se encuentran ubicados los sumideros se tienen los siguientes valores de caudales de exceso aproximados que serían aquellos que llegarían a la boca de entrada al Metro. Los valores se observan en las Tablas 6.82 y 6.83.

**Tabla 6.80 Caudales aproximados de exceso (m<sup>3</sup>/s) que ingresarían a las bocas del Metro Quito**

	Quitumbe	Moran Valverde	Solanda	El Calzado	El Recreo	La Magdalena	San Francisco	La Alameda
Número de sumideros	288	120	350	200	200	260	100	15
Q evacuado por sumidero (lit./s)	99	99	99	99	99	91.5	91.5	99
Q total sumideros (m <sup>3</sup> /s)	14.256	5.94	17.325	9.9	9.9	11.895	4.575	0.7425
T <sub>R</sub> (años)	Caudales aproximados de exceso (m <sup>3</sup> /s)							
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.6605
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.8605
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0605
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.2605
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.3605
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.5605
500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.6605
1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.7605

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012



**Tabla 6.81 Caudales aproximados de exceso (m<sup>3</sup>/s) que ingresarían a las bocas del Metro-Quito**

	El Ejido	Universidad Central	La Pradera	La Carolina	Iñaquito	Jipijapa	El Labrador
Número de sumideros	38	220	200	320	130	214	194
Q evacuado por sumidero (lit./s)	99	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
Q total sumideros (m <sup>3</sup> /s)	2.6334	14.091	12.81	20.496	8.3265	13.7067	12.4257
T <sub>R</sub> (años)	Caudales aproximados de exceso (m <sup>3</sup> /s)						
5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.0666	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.3666	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.5666	0.00	0.00	0.00	0.1735	0.00	0.00
300	0.8666	0.00	0.00	0.00	0.8735	0.00	0.00
500	0.9666	0.00	0.00	0.00	1.2735	0.00	0.00
1000	1.1666	0.00	0.00	0.00	1.6735	0.00	0.00

Fuente: Carlos Gutiérrez Caiza. Estudio Meteorológico-Climatológico e Hidrológico de la zona de influencia del Metro de Quito. Informe preliminar. Enero, 2012

## Conclusiones y recomendaciones

- Las quebradas del sector de Quitumbe tienen una influencia directa sobre el Metro de Quito, cuyos caudales estimados para diferentes períodos de retorno deberán ser tomados en cuenta para la operación y mantenimiento de los colectores que captan estos caudales.
- Para la estimación de los caudales en las entradas a las bocas del Metro-Quito, se utilizaron información de las estaciones meteorológicas (P<sub>máx</sub> 24 horas y curvas I-D-F del SISHILAD) que se encuentran ubicadas cerca de las mismas para lo cual se realizó una zonificación, tomándose en cuenta criterios de distribución de la lluvia y los recomendados por la EPMAPS.
- Para estimar los caudales que realmente llegarían a las entradas a las bocas del Metro-Quito, se restaron los caudales que desaguan los sumideros ubicados en las vías y/o área de influencia, del caudal total producido por las precipitaciones referidas a los períodos de retorno considerados.
- De acuerdo a los caudales estimados, las estaciones que se requieren necesariamente construir obras de protección son La Alameda, El Ejido y La Pradera.

- En las restantes entradas de la Boca del Metro, a pesar que no se observan caudales que provocarían daños al metro, se recomienda construir obras de protección con un cierto grado de seguridad.
- Con el fin que los caudales producidos por las lluvias intensas no lleguen hasta las bocas del Metro, se recomienda realizar una limpieza (durante la época seca), optimizar el sistema de drenaje construyendo nuevo interceptores de caudales (sumideros), realizar operación y mantenimiento constante de los sumideros y del sistema de alcantarillado que converge al Metro.

## 6.2.11 Hidrogeología

### Modelo Conceptual

Interpretar toda la información histórica existente de interés: geológica, geoquímica, hidrogeológica y geotécnica.

Generar e Interpretar toda la información actual/reciente requerida principalmente del tipo hidrogeológico y geoquímico (pruebas de bombeo, análisis físico-químico, etc.).

Integrar toda la información hidrogeológica y geoquímica anterior en una base de datos digital, la cual permita migrar toda esta información al programa de modelación a utilizar para el objetivo principal del estudio.

### Modelos de Flujo Subterráneo mediante Métodos Numéricos

Modelar la superficie piezométrica mediante modelos numéricos (calibrados) con carácter previo al inicio de las obras, lo cual servirá de línea base en zonas específicas de influencia. Inicialmente las zonas prioritarias serán las estaciones y puntos intermedios de la ruta que revistan mayor importancia.

Basados en los modelos iniciales y los parámetros de construcción, simular los efectos en la piezometría que se generarán durante el avance de la obra.

Una vez caracterizado hidráulicamente el medio, se deben estimar los caudales de entrada (excavaciones, túneles, etc.), para así poder diseñar los sistemas de abatimientos requeridos

### Impacto de Obras sobre Hidráulica Subterránea

Valorar los efectos de las nuevas obras sobre la piezometría, y su posible influencia sobre el entorno urbano.

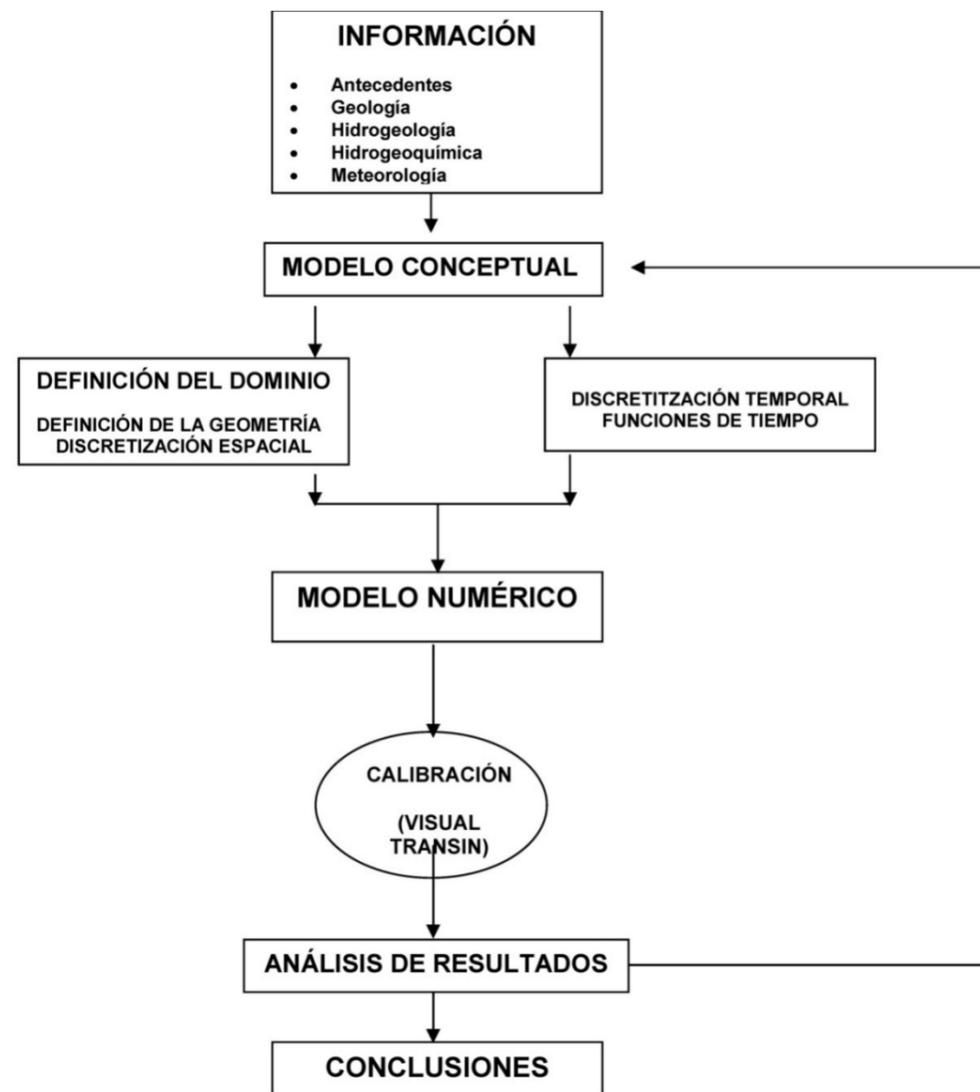
Sugerir, al menos conceptualmente, las posibles medidas de mitigación de dichos efectos.

## Metodología

La Figura siguiente pretende ilustrar el proceso de modelación. Ya se ha dicho que un modelo numérico es el reflejo del modelo conceptual, y que su parecido a la realidad está acotado por la medida en que el modelo conceptual esté más o menos cercano a la misma.

Para la modelización numérica del acuífero se ha utilizado el programa VISUAL TRANSIN. El programa VISUAL TRANSIN resuelve el problema inverso utilizando calibración automática. Para la resolución de la ecuación de flujo se aplica el método de elementos finitos, lo que lleva a la necesidad de efectuar una discretización espacial del dominio territorial objeto de análisis. El problema que afronta el presente trabajo se resolverá en régimen estacionario, por lo que no tendrá relevancia la discretización temporal. Además es necesario decir que el análisis crítico de los resultados del modelo conduce frecuentemente a replantear características más o menos extraídas del modelo conceptual, generándose un mecanismo iterativo que comporta la mejora del modelo, siempre que el examen de resultados sea verdaderamente objetivo.

**Figura 6.106 Diagrama del proceso de modelación**



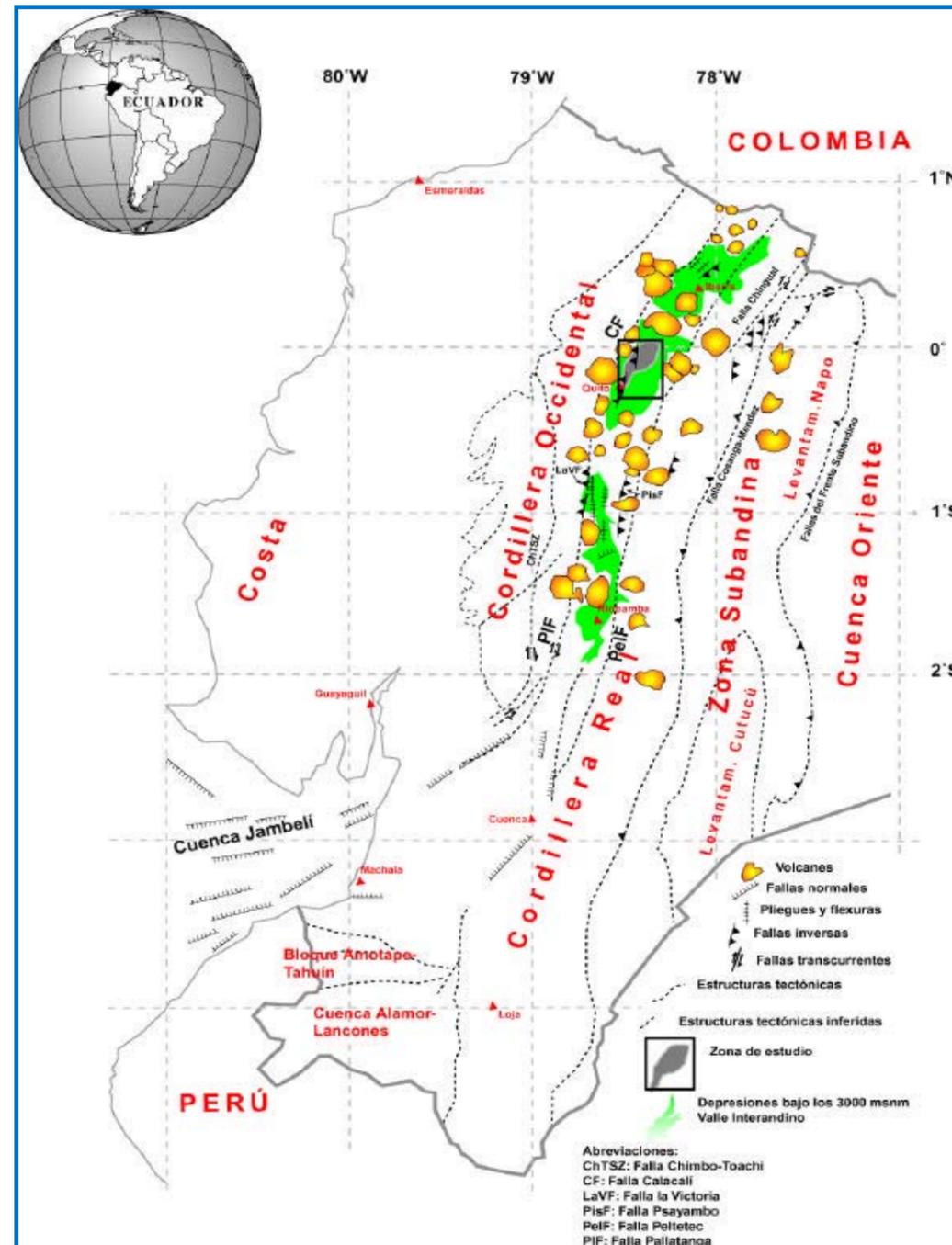
## Descripción de condiciones hidrogeológicas

### Marco Geológico

En el entregable 1 ya ha sido descrita la geología regional, local y la configuración estructural. No obstante, para darle coherencia a este documento se realiza una síntesis de la información geológica con interés hidrogeológico.

La síntesis estructural de la zona está basada en los estudios realizados por Villagómez (2003). La zona de estudio se ubica en una depresión de origen tectónico limitada por importantes fallas inversas que se relacionan con la formación de los Andes (Figura 6.109).

**Figura 6.107 Mapa estructural simplificado del Ecuador con énfasis en la estructura IAV (Modificado de Winkler et al, 2002). Se indica la zona de estudio. (Villagómez et al, 2002a)**



La característica geológica más prominente en el AV Central es el “Sistema de Fallas activas inversas de Quito” (QF, BF, CF), el cual juega un rol fundamental en la evolución tectónica de la región.

La expresión morfológica de este sistema es definida por un set de tres lomas (ridges), que si bien tienen una orientación común aproximadamente N a NNE, no están conectadas una con otra, de Norte a Sur a estas lomas se las ha denominado: Calderón-Catequilla (CCR), Batán-La Bota (BBR) e Ilumbisí-Puengasí (IPR) (Villagómez et al, 2002a). A su vez en la zona son distinguibles tres subcuencas perteneciendo el área de estudio a la subcuenca de Quito.

La subcuenca de Quito se encuentra en el valle formado entre la Cordillera Occidental (Complejo volcánico Pichincha) y BBR e IPR, es una cuenca depiggyback, sobre un segmento del Sistema (Falla de Quito: QF).

**Inventario de datos de pozos**

**Fuentes del Inventario**

Las fuentes de los datos de pozos recopilados para este estudio han sido las siguientes;

- EPMAMPS: Inventario de puntos de agua de los acuíferos recopilados por EPMAMPS en distintos estudios realizados y datos químicos de las aguas subterráneas
- Metro de Quito: Sondeos de investigación geotécnica realizados por HIGGECO.
- Algunos particulares: Industrias con pozos que utilizan agua subterránea del acuífero.

**Inventario de puntos de agua**

La recopilación y análisis de información presentada en este numeral se refieren fundamentalmente al inventario existente de puntos de agua; tomando como base los datos existentes en la EPMAPS, varias industrias y los pozos de investigación geotécnica construidos por HIGGECO para el Proyecto Metro de Quito

Se han inventariado un total de 61 pozos con profundidades entre 50 y 284 metros y 45 perforaciones de investigación geotécnica con profundidades entre 25 y 70 metros (Plano n° 10).

**Tabla 6.82 Inventario de Pozos**

N°	NOMBRE	X	Y	PROFUNDIDAD	COTA
38	7QS	492312.93	9968483.34	140.21	2936.52
12	17 DE MAYO	492394.42	9965768.23	140.21	3012.43
30	3QS	492636.68	9966590.54	140.21	2964.42
24	2QS	492859.24	9967825.51	131.60	2943.68
101	SMQ-65	493493.31	9966958.00	25.00	2922.37
102	SMQ-66	493625.29	9966844.56	25.00	2922.55
103	SMQ-67	493687.81	9966792.75	30.00	2922.73
104	SMQ-68	493746.88	9966979.72	30.00	2914.74



N°	NOMBRE	X	Y	PROFUNDIDAD	COTA
105	SMQ-69	493854.41	9967014.30	30.00	2913.28
69	SMQ-2	493918.49	9967342.44	30.00	2914.86
78	SMQ-3	494192.95	9967669.17	20.00	2903.99
60	PS-4	494368.34	9967103.04	100.00	2904.25
84	SMQ-4	494378.01	9967900.81	30.00	2897.31
85	SMQ-4	494378.01	9967900.81	30.00	2898.80
50	LAS CUADRAS	494468.65	9968174.67	60.57	2893.55
97	SMQ-6	494586.02	9968888.89	40.00	2876.35
106	SMQ-8	494702.69	9969153.19	25.00	2864.55
51	MECANICA	494804.12	9969322.85	3.5	0.00
57	PS-1	494814.49	9969335.27	50.00	2862.00
48	INTERQUIMIEC	494997.30	9960667.99	60.00	3016.73
44	ALAMBREC	495014.41	9961720.24	155.00	3026.68
62	SMQ-12	495933.06	9970484.09	45.00	2844.39
63	SMQ-13	496035.52	9970589.69	45.00	2843.69
65	SMQ-16	496135.38	9971282.50	45.00	2831.62
64	SMQ-14	496186.87	9970910.69	25.00	2826.69
66	SMQ-17	496317.54	9971560.34	45.00	2827.00
59	PS-3	496426.23	9971701.12	80.00	2821.87
58	PS-2	496430.05	9972643.04	80.00	2821.94
67	SMQ-18	496796.77	9971724.55	40.00	2816.33
76	SMQ-28	496994.23	9974209.99	85.00	2880
75	SMQ-26	497197.83	9973646.72	45.00	2818.54
77	SMQ-29	497268.74	9974627.90	40.00	2848.52
74	SMQ-25	497328.93	9973533.90	45.00	2809.93
68	SMQ-19	497332.90	9971745.92	35.00	2800.10
73	SMQ-24	497478.61	9973398.30	30.00	2800.51
79	SMQ-30	497546.89	9974818.46	70.00	2893.83
49	LA INTERNACIONAL	497657.84	9972560.26	200.00	2815.45
70	SMQ-20	497677.72	9972097.93	50.00	2820.41
71	SMQ-21	497702.12	9972149.07	50.00	2821.22
80	SMQ-31	497781.05	9975029.59	80.00	2888.63
72	SMQ-23	497815.88	9973103.86	30.00	2813.01
81	SMQ-33	498357.56	9975450.21	40.00	2823.42
82	SMQ-34	498387.99	9975605.49	50.00	2823,6
54	P-4	499538.75	9978804.72	174.00	2858.68
83	SMQ-38	499748.72	9976184.48	45.00	2816.04
56	PEDREGAL	499835.00	9984552.80	0.00	2870.00
88	SMQ-44	499887.03	9977876.42	50.00	2805,09

N°	NOMBRE	X	Y	PROFUNDIDAD	COTA
53	P-3	499896.45	9980682.58	170.00	2896.88
61	PULIDA	499967.33	9984396.41	225.00	2862.62
37	7	499978.56	9976770.69	83.82	2795.40
46	E2	500021.01	9976700.02	280.00	2795.07
32	46	500130.49	9985201.83	170.00	2838.69
36	6	500132.14	9977079.55	341.00	2794.03
6	137	500189.27	9979583.95	212.00	2862.66
14	19	500227.60	9976708.59	85.00	2793.68
86	SMQ-41	500253.33	9976774.41	45.00	2792.47
87	SMQ-42	500299.20	9976954.91	45.00	2793.10
39	8	500342.90	9977699.30	118.00	2791.07
8	15	500646.15	9985284.59	120.00	2816.28
89	SMQ-48	500759.48	9978501.95	45.00	2785.64
7	13 <sup>a</sup>	500763.74	9984635.68	198.12	2815.37
90	SMQ-49A	500806.93	9978602.63	45.00	2784.97
18	23	500876.19	9986368.51	363.00	2791.37
4	12	500996.33	9977578.25	98.00	2782.30
25	31	501067.42	9983329.89	124.00	2805.41
33	5	501093.95	9978803.50	95.09	2778.37
19	24	501117.13	9981054.85	100.00	2787.95
5	13	501126.87	9986093.71	66.00	2801.06
47	E4	501156.71	9986094.12	301.30	2802.24
55	PEAJE	501159.05	9989279.69	0.00	0.00
99	SMQ-62	501367.84	9982796.90	45.00	2795.47
27	36	501442.56	9981694.32	120.00	2784.18
23	29	501481.53	9984775.39	0.00	2862,35
35	57	501503.33	9989267.61	0.00	0.00
3	11	501538.90	9980809.07	0.00	2779,11
31	4	501558.54	9978941.21	104.00	2770.82
91	SMQ-51	501579.98	9978944.44	45.00	2771.95
21	26	501610.83	9983342.35	120.00	2798.27
20	25	501621.16	9981442.47	126.50	2779.90
17	22	501635.91	9984320.86	120.00	2803.77
9	16	501666.05	9982110.14	138.00	2783.80
100	SMQ-63	501667.40	9982670.97	45.00	2791.69
29	3 <sup>a</sup>	501712.73	9979997.05	107.00	2779.32
96	SMQ-59	501719.49	9981983.76	45.00	2781.58
92	SMQ-52	501741.59	9979028.09	45.00	2770.50
13	18 <sup>a</sup>	501756.53	9980353.18	195.11	2776.89

Nº	NOMBRE	X	Y	PROFUNDIDAD	COTA
1	1	501792.20	9979463.76	105.20	2772.07
15	1ª	501792.20	9979463.76	237.70	2772.07
94	SMQ-56	501822.28	9980459.46	45.00	2780.17
93	SMQ-55	501829.77	9980426.33	45.00	2775.09
98	SMQ-60	501835.29	9981669.93	45.00	2780.10
95	SMQ-57	501846.99	9980816.80	35.00	2777.25
16	21	501893.63	9983524.08	142.00	2797.58
22	27	501967.38	9981639.31	135.00	2779.01
2	10	502182.02	9980466.40	92.00	2776.12
42	9	502218.58	9981274.84	94.40	2778.43
11	17	502293.65	9982018.75	0.00	2780,32
45	E1	502303.14	9982021.40	283.50	2780.26
34	51	502338.87	9979469.56	158.50	2777.21
52	P-2	502636.24	9989700.81	176.40	2792.88
26	32	502756.75	9981930.61	127.20	2786.20
10	16ª	502823.84	9980416.05	164.70	2807.88
40	84	502912.27	9983387.41	141.00	2806.27
41	85	503297.93	9984464.35	180.00	2859.62
28	37	503380.42	9982936.36	112.80	2798.37
43	ACADEMIA COTOPAXI	504311.17	9982397.00	200.00	2872.07

Fuente: EPMAPS. Metro Quito, Particulares

Se han inventariado 23 manantiales en la zona sur y centro norte de Quito (Plano nº 10).

**Tabla 6.83 Inventario de manantiales**

No	Nombre	Elevación	UTM (X)	UTM (Y)
1	Hacienda Álvarez	2968	492,879,626	9,966,315,205
2	Lecumberry	2975	493,135,202	9,965,414,236
3	La Perla	2972	494,059,387	9,965,056,057
4	El Corazón II	3018	494,789,020	9,960,343,002
5	El Corazón I	3016	494,857,241	9,960,313,616
6	Simón Bolívar	2975	496,092,400	9,960,387,110
7	Río Machángara	2790	497,890,916	9,973,633,195
8	Sena	2755	498,211,630	9,974,171,085
9	Rancho Bajo	2730	499,341,857	9,989,412,047
10	El Censo	2720	499,353,756	9,974,411,807
11	Colinas del Norte II	2740	499,879,493	9,989,466,724
12	Colinas del Norte I	2690	499,907,730	9,989,570,149
13	El Condado	2695	500,000,077	9,989,655,118

No	Nombre	Elevación	UTM (X)	UTM (Y)
14	San José de Cangahua	2695	500,030,921	9,989,414,151
15	Zambopogyo (Guashayacu)	2598	502,413,912	9,976,566,426
16	Antigua Estación de bombeo	2630	502,472,297	9,976,997,839
17	Galería de Guápulo	2665	502,762,839	9,978,378,889
18	Piscinas de Guápulo	2650	502,804,146	9,978,346,943
19	Batán	2675	502,966,339	9,978,676,250

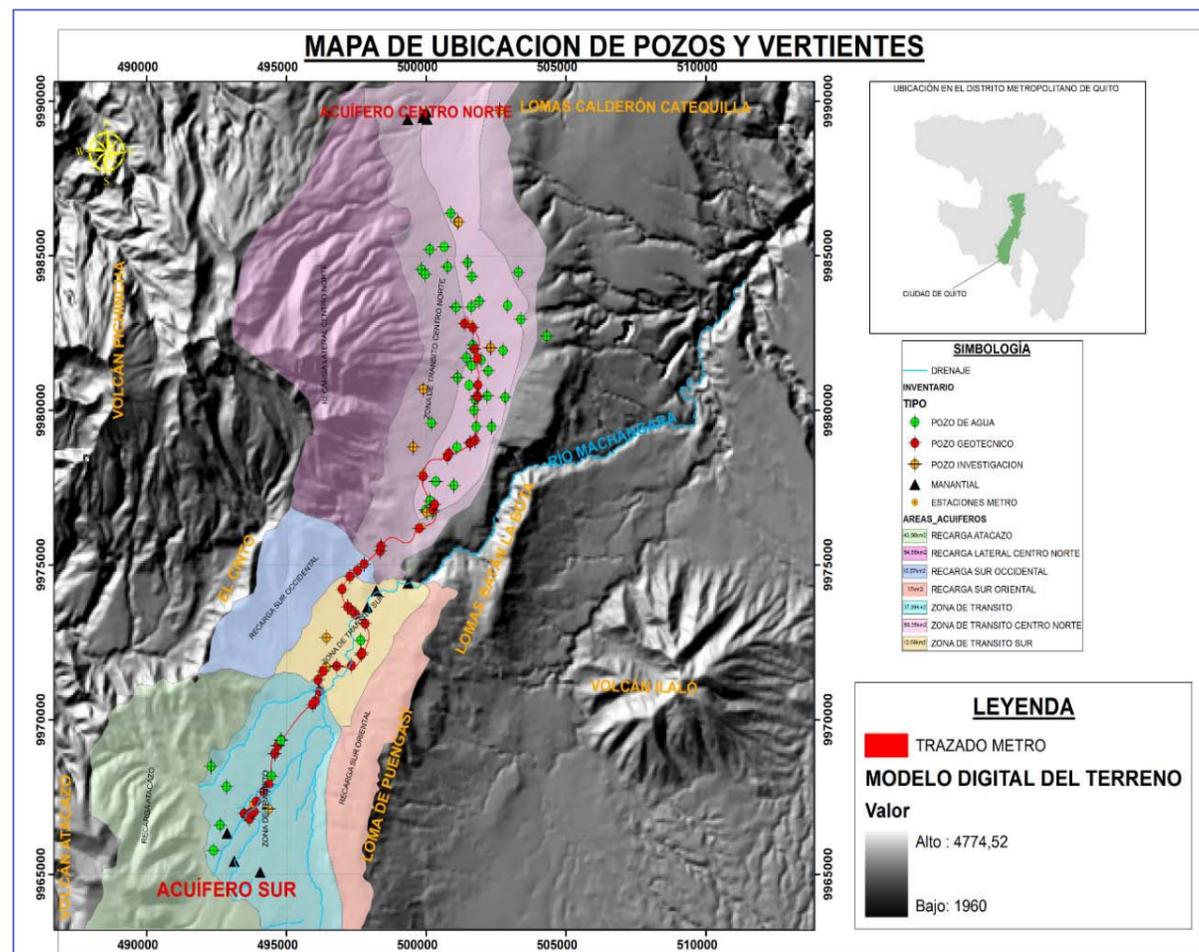
Fuente: EPMAPS

**Figura 6.108 Vista panorámica de la descarga del acuífero norte vertientes El Batán**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.109 Ubicación de puntos de agua**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de EPMAPS, Metro Quito y Particulares

En el anexo nº 2 se recogen los datos de inventario de los puntos de agua

### 6.2.12 Parámetros hidrogeológicos

#### Porosidad total y porosidad efectiva

La porosidad total “n” se define como el volumen total de vacíos por unidad de volumen de medio poroso, este parámetro es conocido luego de ensayos de laboratorio ó con fórmulas semiempíricas, ya que no toda el agua contenida en los poros se puede drenar.

Mientras que la porosidad efectiva ó eficaz se define como el volumen total efectivamente drenado por unidad de volumen de medio poroso.

Los únicos datos reportados para la porosidad efectiva son los realizados por la EPMAPS, 2004 y son los que se presentan en la siguiente tabla, los mismos que se podrían generalizar para la Formación Cangahua en toda la zona:

**Tabla 6.84 Porosidad efectiva para la Cangahua**

Muestra Cangahua	Porosidad efectiva (%)
M4	28.76
M6	35.66
M9	34.05

Fuente: EPMAPS

#### Conductividad hidráulica (K), Permeabilidad (K) y Transmisividad

La conductividad hidráulica se define como el caudal de un líquido que fluye por un medio poroso a través de un área unitaria bajo un gradiente unitario a la temperatura ambiente:

La conductividad hidráulica  $K$  depende de la permeabilidad  $k$  del medio poroso, y de la densidad la viscosidad del fluido. El término permeabilidad, o permeabilidad intrínseca se refiere a la permeabilidad exclusiva de la fase sólida.

La transmisividad es la propiedad de un acuífero para transmitir el agua en todo su espesor saturado, se define como el volumen de agua (a la viscosidad cinemática existente), que fluye por unidad de tiempo (caudal), bajo un gradiente unitario, a través de un ancho unitario de acuífero, en todo su espesor.

Se han recopilado los datos de ensayos de bombeos realizados por al EMAAPQ en el año 2002 al objeto de obtener datos sobre las permeabilidad y transmisividad de los niveles acuíferos presentes en el subsuelo de Quito y que pueden verse afectados por la primera línea del Metro de Quito.

Hay que tener en cuenta que según C. de Miguel Fernández en EMAAPQ 2002, las pruebas de bombeo realizadas en el sistema acuífero sur y centro norte, no aportan datos que caractericen los parámetros reales de los estratos acuíferos. La mayoría de los bombeos (78 %) se realizaron con muy poca duración menor de 12 horas. Con estas condiciones de bombeo no se caracterizó la estructura interna de los acuíferos en función de la conductividad hidráulica y de límites internos de los acuíferos en el área de desarrollo de los mismos, estas condiciones no permiten obtener la argumentación necesaria para cálculos de parámetros hidrogeológicos.

De tal forma y considerando que las metodologías existentes para cálculos de precisión corresponden a regímenes de bombeo estacionario y cuasiestacionario (métodos hidrodinámicos, analíticos y grafo-analíticos), condiciones que no se lograron con los bombeos ejecutados y para la aplicación de los cuales no contaron con

todos los datos necesarios. Los cálculos de parámetros hidrogeológicos fueron determinados mediante la metodología establecida para bombeos cortos, con los que se logran resultados también aproximados a los que ese obtendría mediante métodos más complejos y para los cuales no se dispone de todos los datos necesarios.

Considerando que el régimen de aguas subterráneas predominante es de aguas artesianas las formulas que se aplicaron corresponden a:

La tabla siguiente recoge los datos obtenidos en el estudio de EMAAPQ 2002, en el cual se seleccionaron un grupo de pozos significativos de cada yacimientos y se determinaron los parámetros hidrogeológicas mediante formulas que dan como resultados valores aproximados como se ha comentado anteriormente.

**Tabla 6.85 Parámetros Hidrogeológicos calculados en los pozos reportados por la EPMAPS Proyecto recarga artificial acuífero Quito, año 1989, procesados en función del Estudio de Caracterización de los Acuíferos de Quito C. De Miguel Fernández, 2002**

No Pozo	Q l/seg.	S m.	t día.	q l/seg.m.	A	R m.	T m <sup>2</sup> /día.	a m <sup>2</sup> /día.	μ	Parámetros Medios.
<b>Acuífero Centro Norte</b>										
35	10,32	2,76	1	3,74	94	103,5	259,4	4751,5	0,05	Q- 15,87 l/seg S-13,1 m. q-2,24 l/seg.m R-244,3 m T- 196,0 m <sup>2</sup> /día a-163485m <sup>2</sup> /día μ-0,0122
39	15,33	12,26	0,437	1,27	85	254,7	107,9	65845	0,0016	
40	16,5	11,96	0,226	1,38	85	259,0	117,3	131656	0,0009	
42	23,8	7,13	0,333	3,97	95	277,0	377,0	102203	0,0037	
44	17,5	6,38	0,104	2,74	90	200,4	246,6	171281	0,0014	
50	5,14	2,82	1	1,82	87	71,0	158,34	2236	0,071	
52	6,08	13,24	0,46	0,46	81	161,6	37,0	25181	0,0014	
57	20,8	5,29	0,028	3,93	95	204,0	373,3	659351	0,00057	
58	18,0	6,3	0,239	2,86	91	203,3	260,3	76705	0,0034	
69	6,15	23,1	0,5	0,27	81	216,0	21,87	41389	0,0005	
72	25,0	53,0	0,5	0,47	81	654,0	38,1	379432	0,0001	
1	62,5	27,4	1	2,28	89	780,6	203,0	270293	0,00075	
3	66,68	20,12	1	3,32	93	707,0	308,7	221761	0,0014	
5	59,5	28,65	1,333	2,08	88	775,0	183,0	199858	0,0009	
7	43,04	15,85	1,052	2,71	90	495,0	244,0	103310	0,0024	
11	25,0	10,13	0,177	2,47	89	300,0	219,18	226121	0,001	
11 D	16,8	2,1	0,153	8,0	-	125,0	380,0	45298	0,00415	
12	18,70	17,28	0,333	1,08	84	329,0	90,9	144177	0,0006	
14	3,3	0,28	1,083	11,78	120	21,0	1414,0	12189	0,116 )	
17	20,5	15,48	0,5	1,32	85	328	112,2	95439	0,0012	
18	13,33	5,77	0,417	2,32	89	165,8	206,0	29240	0,007	
22	5,0	2,81	0,208	1,78	87	70,0	155,0	10449	0,0148	
<b>Acuífero Sur</b>										
75	14,05	7,18	0,236	2,02	88	191,5	177,8	68924	0,0026	Q-15,75 l/seg. S-13,04 m. q- 1,68 l/seg.m. R-251,7 m. T-150,15 2/día a- 24959 m <sup>2</sup> /día μ-0,003
76	19,62	30,81	0,25	0,64	82	446,4	52,5	353546	0,00015	
77	19,31	6,10	0,25	3,16	92	208,0	291,0	76772	0,004	
79	18,68	5,22	0,275	3,57	94	191,0	336,0	58995	0,0057	
92	8,4	15,39	0,208	0,546	82	206,0	44,8	90454	0,0005	
93	11,22	15,26	0,253	0,735	82	237,0	60,3	98423	0,0006	
94	18,9	12,74	0,285	1,48	85	286,0	125,8	127111	0,0099	
95	15,5	11,65	0,217	1,33	85	248,0	113,0	125450	0,0009	

Fuente: C. De Miguel Fernández, 2002



No Pozo	Q l/seg.	S m.	t día.	q l/seg.m.	A	R m.	T m <sup>2</sup> /día.	a m <sup>2</sup> /día.	μ	Parámetros Medios.
<b>Acuífero Centro Norte</b>										
24	15,0	8,03	0,083	1,87	87	204,8	162,7	224145	0,00073	
25	10,0	6,2	0,29	1,61	86	146,0	138,5	32603	0,0042	
<b>Acuífero Sur</b>										
75	14,05	7,18	0,236	2,02	88	191,5	177,8	68924	0,0026	Q-15,75 l/seg. S-13,04 m. q- 1,68 l/seg.m. R-251,7 m. T-150,15 2/día a- 24959 m <sup>2</sup> /día μ-0,003
76	19,62	30,81	0,25	0,64	82	446,4	52,5	353546	0,00015	
77	19,31	6,10	0,25	3,16	92	208,0	291,0	76772	0,004	
79	18,68	5,22	0,275	3,57	94	191,0	336,0	58995	0,0057	
92	8,4	15,39	0,208	0,546	82	206,0	44,8	90454	0,0005	
93	11,22	15,26	0,253	0,735	82	237,0	60,3	98423	0,0006	
94	18,9	12,74	0,285	1,48	85	286,0	125,8	127111	0,0099	
95	15,5	11,65	0,217	1,33	85	248,0	113,0	125450	0,0009	

En la tabla anterior

Q: Caudal.

S: Descenso durante el ensayo de bombeo

t: tiempo del ensayo de bombeo.

q: descenso específico

A: Parámetro que caracteriza la permeabilidad en función del caudal específico, se determina mediante tablas.

R- Radio de influencia de bombeo

T: Transmisividad acuífera

a: Piezoconductividad de nivel

μ: Coeficiente de almacenamiento

De acuerdo a las últimas perforaciones geotécnicas realizadas por HIGGECO para el proyecto Metro de Quito, se han reportado valores de permeabilidad y Transmisividad completamente diferentes a los reportados y recalculados por Miguel de Fernández., Hay que resaltar que las metodologías para determinación de parámetros hidrogeológicos utilizadas por EPMAPS (pruebas de bombeo) e HIGGECO (Ensayos Lefranc), son diferentes y los valores pueden diferir bastante.

Los bombeos de ensayo realizados por el EMAAPQ 2002 obtienen valores medios de los niveles acuíferos atravesados por el sondeo y con ranurado en la tubería en diferentes niveles acuíferos (incluido el nivel profundo



confinado-semiconfinado) que no será afectado por las obras de la línea primera del Metro. Además estos pozos en el sector centro –norte no están ranurados en la formación Carolina y Cangahualos pozos de la

Analizando los datos reportados por HIGGECO en base a las pruebas de permeabilidad ejecutadas en las perforaciones de investigación geotécnica en el trazado del Metro de Quito, se tiene la siguiente tabla resumen los valores de transmisividad mínimos y máximos reportados para cada una de las Unidades Hidrogeológicas, valores que difieren enormemente de los presentados por EPMAPS.

Está claro que una de las investigaciones posteriores deberá ser la obtención de parámetros hidrogeológicos con pruebas de bombeo de larga duración y en pozos de diferente profundidad que caractericen por separado los niveles acuíferos, para garantizar la calidad y exactitud de los resultados.

**Tabla 6.86 Valores de Transmisividad de las unidades hidrogeológicas del acuífero de Quito a partir de los datos aportados por Metro Quito de las investigaciones realizadas por HIGGECO 212**

Unidades Hidrogeológicas	T (m <sup>2</sup> /día ) Mínimo	T (m <sup>2</sup> /día ) Máximo
Depósitos La Carolina	0.0252	3.9265
Formación Cangahua	0.0610	128.7051
Miembro Quito	0.1552	53.9991

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por UNMQ

**Tabla 6.87 Parámetros Hidrogeológicos calculados en los pozos para investigaciones geotécnicas, reportados por HIGGECO 2012.**

N°	Prof (m)	PROFUNDIDAD DEL ENSAYO		k media(m/día)	nivel agua(m)	T m <sup>2</sup> /día
		DE_m	A_m			
SMQ-55	45	3	6	1.48E-03	15.12	0.30146688
SMQ-55	45	12	15	3.28E-04	15.12	0.46208448
SMQ-57	35	7	9	2.74E-03	9.74	3.92654304
SMQ-59	45	6	9	1.82E-03	13.38	2.4989472
SMQ-59	45	12	15	3.27E-04	13.38	0.32566925
SMQ-62	45	3	6	2.38E-03	27.62	0.02519726
SMQ-3	20	10	13	5.41E-03	9.36	13.284
SMQ-28	85	70	73	2.07E-05	SECO	0.15875663
SMQ-28	85	75	78	2.10E-05	SECO	0.16277579
SMQ-34	50	0	3.45	1.27E-03	15.6	1.96489152
SMQ-34	50	3	6	1.27E-03	15.6	16.1256614
SMQ-34	50	6	9	1.27E-03	15.6	12.2862182
SMQ-34	50	9	12	1.27E-03	15.6	6.63997824
SMQ-34	50	12	15	1.27E-03	15.6	4.0110889
SMQ-34	50	15	18	1.27E-03	15.6	5.05903104

N°	Prof (m)	PROFUNDIDAD DEL ENSAYO		k media(m/día)	nivel agua(m)	T m <sup>2</sup> /día
		DE_m	A_m			
SMQ-34	50	27	30	1.27E-03	15.6	0.21365372
SMQ-30	70	53	56	2.63E-03	0,65 (ARTESIANO)	1.3447296
SMQ-30	70	62	65	2.63E-03	0,65 (ARTESIANO)	43.9726579
SMQ-30	70	67	70	2.63E-03	0,65 (ARTESIANO)	16.0022822
SMQ-33	40	7.45	10.45	8.52E-04	32.8	0.88403184
SMQ-33	40	13	16	8.52E-04	32.8	1.43089805
SMQ-33	40	20	23	8.52E-04	32.8	7.4011968
SMQ-33	40	27.5	30.45	8.52E-04	32.8	4.64630688
SMQ-33	40	33.5	36.45	8.52E-04	32.8	5.92095744
SMQ-38	45	6.45	9	4.28E-05	19.7	0.57195072
SMQ-38	45	19.45	22.45	4.28E-05	19.7	0.17837107
SMQ-38	45	24	27	4.28E-05	19.7	0.14670374
SMQ-38	45	30	33	4.28E-05	19.7	0.31602701
SMQ-38	45	37.5	41	4.28E-05	19.7	0.26109389
SMQ-38	45	42	45	4.28E-05	19.7	0.44592768
SMQ-41	45	14.45	17.45	1.68E-04	17.8	0.28420762
SMQ-41	45	21	24	1.68E-04	17.8	3.1681152
SMQ-41	45	42	45	1.68E-04	17.8	0.13410662
SMQ-52	45	8	11	5.91E-04	6.1	17.1334656
SMQ-52	45	14	17	5.91E-04	6.1	4.07455229
SMQ-52	45	18.45	22	5.91E-04	6.1	1.81507651
SMQ-52	45	24.45	28	5.91E-04	6.1	1.51524086
SMQ-52	45	29	32	5.91E-04	6.1	0.51721649
SMQ-52	45	35	38	5.91E-04	6.1	0.344811
SMQ-52	45	41	44	5.91E-04	6.1	0.22969552
SMQ-55	45	18	21	3.28E-04	15.12	4.43310797
SMQ-55	45	27	30	3.28E-04	15.12	0.71980877
SMQ-57	35	9	12	4.09E-03	9.74	128.705069
SMQ-57	35	13.5	16.45	4.09E-03	9.74	1.93401734
SMQ-57	35	19	22	4.09E-03	9.74	1.07368934
SMQ-57	35	25.5	28	4.09E-03	9.74	11.5628083
SMQ-57	35	30.5	33.45	4.09E-03	9.74	19.9596096
SMQ-59	45	18	21	3.27E-04	13.38	1.7139168
SMQ-59	45	24	27	3.27E-04	13.38	1.0326528
SMQ-59	45	33	36	3.27E-04	13.38	0.50628672
SMQ-59	45	39	42	3.27E-04	13.38	1.828656
SMQ-59	45	42	45	3.27E-04	13.38	1.3768704
SMQ-62	45	9.5	12.45	1.28E-04	27.62	2.5979616
SMQ-62	45	22.5	25.5	1.28E-04	27.62	0.286416



N°	Prof (m)	PROFUNDIDAD DEL ENSAYO		k media(m/día)	nivel agua(m)	T m <sup>2</sup> /día
		DE_m	A_m			
SMQ-62	45	25	28	1.28E-04	27.62	0.23688288
SMQ-62	45	34.5	37.5	1.28E-04	27.62	0.07379424
SMQ-62	45	37.5	40.5	1.28E-04	27.62	0.117936
SMQ-62	45	42	45	1.28E-04	27.62	0.06098976
SMQ-3	20	15	18	4.91E-03	9.36	9.81504
SMQ-20	50	24	27	1.81E-03	5.65	0.64408608
SMQ-20	50	27	30	1.81E-03	5.65	53.999136
SMQ-20	50	30	33	1.81E-03	5.65	0.41963184
SMQ-20	50	33	36	1.81E-03	5.65	0.5042088
SMQ-20	50	36	39	1.81E-03	5.65	0.2924411
SMQ-20	50	39	42	1.81E-03	5.65	0.67986864
SMQ-20	50	42	45	1.81E-03	5.65	0.15516619
SMQ-20	50	45	48	1.81E-03	5.65	3.6433152
SMQ-20	50	48	50	1.81E-03	5.65	0.93359952
SMQ-65	25	15	18	1.67E-04	2.18	0.4681152
SMQ-65	25	20	23	1.67E-04	2.18	0.2322432
SMQ-66	25	10	13		3.13	15.65568

Tabla 6.88 Coeficiente de Almacenamiento según tipo de acuífero.

Acuífero	S
Libre	0.3 - 10 <sup>-3</sup>
Confinado y Semiconfinado	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-7</sup>

Fuente: Varios autores

### 6.2.13 Piezometria

El monitoreo y control de los niveles piezométricos son herramientas muy utilizadas para establecer el flujo del agua subterránea,

En el presente estudio se han recopilado los datos sobre niveles piezométricos de los sondeos controlados por la EPMAPS y los niveles piezométricos medidos en los sondeos de investigación geotécnica realizados por UNMQ.

### 6.2.14 Datos hidroquímicos del acuífero de Quito

Se han recopilado los datos la ex EMAAP-Q sobre análisis químicos de las aguas subterráneas del Acuífero de Quito. Estos análisis abarcan un período de 22 años (1987-2009) y contienen datos de 685 muestras entre vertientes y pozos localizados en el Distrito Metropolitano de Quito. De dichos análisis se han seleccionado los análisis de los pozos y vertientes localizados en el área urbana de Quito y flancos del volcán Pichincha.

En la tabla siguiente se observan las campañas de muestreo, número de pozos y vertientes, además de los parámetros analizados en cada campaña. Los análisis físico-químicos contienen información sobre iones mayores (aniones y cationes) y parámetros determinados in situ (pH, Eh, conductividad eléctrica la alcalinidad (expresada en mg/L de CaCO<sub>3</sub>) y temperatura del agua).



Fuente: Datos suministrados por UNMQ procedentes de los Estudios de HIGGECO 2012 y elaboración propia

### Coeficiente de almacenamiento (S)

Es el volumen de agua que un acuífero puede dar ó recibir en almacenamiento por unidad de área por unidad de cambio en la cabeza. En acuíferos confinados el coeficiente de almacenamiento es igual al producto del almacenamiento específico por el espesor del acuífero.

En acuíferos libres la definición es la misma, pero como físicamente se drena un volumen de acuífero, es igual al rendimiento específico, que a su vez es igual a la porosidad eficaz.

El tipo de acuífero depende del grado exponencial del Coeficiente de Almacenamiento, es decir:



**Tabla 6.89 Datos de las campañas representativas de recogida de muestras para análisis químicos de las aguas subterráneas**

<b>Acuífero Sur de Quito</b>			
Campaña de muestreo	No de pozos	No de vertientes	Total de muestras
2003	7		7
2004	6		6
2006	19		19
2007	7	2	8
2008	7	3	9
2009	6	3	8
<b>Acuífero Centro Norte de Quito</b>			
Campaña de muestreo	No de pozos	No de vertientes	Total de muestras
2003	10	2	12
2004	11	2	13
2006	18	4	22
2007	16	4	21
2008	11	5	17
2009	10	11	22

Fuente: ex EMAAP-Q

### 6.2.15 Cálculo del balance hídrico del acuífero.

#### Generalidades

Para calcular el balance hídrico del acuífero es necesario calcular la evapotranspiración y la infiltración de agua de lluvia en el acuífero.

Estos dos parámetros pueden calcularse mediante mediciones directas, pero a falta de datos directos en el Acuífero de Quito se tiene que recurrir a estimaciones basadas en parámetros relacionados con la evapotranspiración y la infiltración.

A continuación se describen los datos recopilados que serán utilizados para el cálculo de la evapotranspiración e infiltración que luego se incorporará al balance hídrico del acuífero.

En los cálculos de la evapotranspiración e infiltración se han considerado cuatro cuencas que son las siguientes:

- Cuenca Rumipamba
- Cuenca Rumihurcu.
- Cuenca Miraflores
- Cuenca La Raya.

### 6.2.16 Temperatura mensual media y precipitaciones mensuales

Para la cuenca Rumipamba, los valores de precipitaciones y temperaturas medias mensuales corresponden a la estación Rumipamba Bodegas – P8. (3200 msnm). La temperatura media se ha tomado del Proyecto Acuífero de Quito, la cual se calculó a los 3750 msnm, en la zona de recarga de las laderas del Pichincha.

En la estación Rumihurcu, los valores de precipitaciones y temperatura media mensual corresponden a la estación Rumihurcu – P3 (3575 msnm). No obstante la temperatura se ha tomado del Proyecto Acuífero de Quito, la cual se ha corregido para una altura de 3750 msnm, en la zona de recarga de las laderas del Pichincha.

Para la estación de Miraflores, los valores de precipitación media mensual corresponden a la estación Antenas – P11 (3760 msnm) y los valores de temperatura media mensual se generaron en función de la altura interpolando los valores de la estación Izobamba ubicada en el sur a una altitud de 3060 msnm y la temperatura generada por el Proyecto Acuífero calculada a los 3750 msnm.

Por último en la estación de la Raya, los valores de precipitación media mensual corresponden a la estación El Cinto – P15 (2000 msnm) y los valores de temperatura media mensual se generaron en función de la altura interpolando los valores de la estación Izobamba ubicada en el sur a una altitud de 3060 msnm y la temperatura generada por el Proyecto Acuífero calculada a los 3750 msnm.

**Tabla 6.90 Valores de Precipitación media y temperatura media Mensual utilizada para el cálculo de la evapotranspiración e infiltración.**

	Rumipamba		Rumihurcu		Miraflores		La Raya	
	P	T	P	T	P	T	P	T
	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C
Enero	93.6	10.8	69.4	8.0	97.0	6.6	77.9	10.8
Febrero	137.7	10.7	91.4	7.9	102.7	6.5	96.7	10.7
Marzo	134.8	10.8	125.5	8.0	148.7	6.6	142.6	10.8
Abril	192.4	10.8	156.3	8.0	158.9	6.6	166.2	10.8
Mayo	114.1	10.9	100.6	8.1	48.6	6.7	110.3	10.9
Junio	31.5	10.7	48.7	7.9	33.6	6.5	63.9	10.7
Julio	32.6	10.5	39.7	7.8	33.5	6.5	37.0	10.5
Agosto	24.8	10.8	19.9	8.0	36.0	6.6	47.6	10.8
Septiembre	55.9	10.8	49.2	8.0	57.3	6.6	63.8	10.8
Octubre	113.4	10.8	71.9	8.0	95.6	6.6	100.1	10.8
Noviembre	125.2	10.7	74.7	7.9	123.8	6.5	114.3	10.7
Diciembre	141.7	10.8	8.3	8.0	115.3	6.6	134.8	10.8

Fuente: Proyecto Acuífero de Quito e INAMHI

### 6.2.17 Coeficientes de infiltración

El "Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos" realizado por las Naciones Unidas, proponen la siguiente ecuación para el análisis del coeficiente de infiltración aparente, que corresponde a la fracción de lluvia que aparentemente se infiltra:

$$C = (K_p + K_v + K_{fc})$$

Donde:

C [tanto por uno] = Coeficiente de infiltración.

K<sub>p</sub> [tanto por uno] = Fracción que infiltra por efecto de pendiente.

K<sub>v</sub> [tanto por uno] = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal.

K<sub>fc</sub> [tanto por uno] = Fracción que infiltra por textura del suelo.

A continuación se muestran los valores que componen el coeficiente de infiltración sugeridos en el Manual de Estudios Hidrológicos (ONU, 1972).

Por textura de suelo	K <sub>fc</sub>
Arcilla compacta impermeable .....	0,10
Combinación de limo y arcilla .....	0,20
Suelo limo arenoso no muy compacto .....	0,40
Por pendiente	K <sub>p</sub>
Plana 0.02%-0.06% .....	0,30
Moderada 0.3%-0.4% .....	0,20
Colinas 3%-4% .....	0,10
Por cobertura vegetal	K <sub>v</sub>
Terrenos cultivados .....	0,10
Bosques .....	0,20

### 6.2.18 Síntesis de estudios hidrogeológicos

#### Metodología

Se han consultado los estudios hidrogeológicos disponibles en la UNMQ y otros trabajos sobre la hidrogeología del acuífero de Quito que se recogen en el capítulo 10 siguiente.

A continuación se realiza una síntesis de la información recabada.

### 6.2.19 Hidrogeología regional

Las unidades Hidrogeológicas son medios acuíferos continuos dotados de homogeneidad y constituyen unidades naturales de planeamiento y gestión del recurso.

De acuerdo al Mapa Hidrogeológico Nacional de 1983, se han clasificado a las formaciones geológicas en tres grandes grupos:

- Permeables de naturaleza primaria, integradas por rocas detríticas no consolidadas.
- Permeables de naturaleza secundaria, cuya porosidad tiene origen en la existencia de fracturas, diaclasas, grietas u oquedades debidas a enfriamientos o disoluciones.
- Impermeables.

Dentro de cada uno de estos se cuentan con una gradación por conductividad hidráulica desde baja hasta muy alta, en función de la información de geología y criterios establecidos de hidrogeología; es así que el país cuenta con 26 unidades hidrogeológicas. Una de estas Unidades es la Unidad Quito-Machachi, que es donde se encuentra inmerso este proyecto.

La zona de Quito-Machachi comprende las áreas de Machachi, Aloag, Tambillo y Quito cuyo acuífero involucra materiales de pie de monte y depósitos lagunares. Los pozos que han sido perforados en el sector tienen fines agrícolas, industriales y doméstico.

La mayoría de las vertientes en rocas volcánicas fisuradas y/o en contactos con otras formaciones geológicas tienen control estructural, (siguiendo fallas o fisuras) generalmente éstas presentan mayor interés en cuanto a caudales.

### 6.2.20 Hidrogeología local

#### Zonas de recarga, tránsito y descarga en el acuífero de Quito

Según el mapa Hidrogeológico del Distrito Metropolitano de Quito desarrollado por el Departamento Acuífero de Quito de la Gerencia de Ingeniería de la EMAAP/Q en el año 2009 en el acuífero de Quito pueden distinguirse las zonas siguientes:

**Zona de recarga:** la recarga del sistema acuífero de Quito está determinada por la altura, es así que se distinguen tres zonas:

**Zonas Altas** de los volcanes Pichincha y Atacazo, de acuerdo a la isotopía presentada en 1989 y 2005 por EMAAPQ concuerda con las altas concentraciones e sales disueltas, correspondiendo a periodos de circulación largos.

**Zonas de piedemonte** en donde depósitos permeables compuestos por gravas y arenas contribuyen a la infiltración, sin embargo, por no ser una permeabilidad alta, estos depósitos también ayudan a la recuperación por evapotranspiración (Aranyossy, et al 1989) afectando a la recarga antes y durante la infiltración.

**Zonas del Valle:** se realiza la infiltración directa de las precipitaciones sobre el valle y probablemente por la reinfiltración de los caudales provenientes de la escorrentía, esta recarga se ha disminuido a través del tiempo debido a la urbanización, y está limitada únicamente a las áreas verdes de la ciudad.

**Zona de tránsito:** zonas generalmente onduladas a planas en las que el agua subterránea tiene un comportamiento de acuífero libre, confinado y semiconfinado y la recarga puede ser directa, lateral (desde las zonas de acumulación o de acuífero libre con pendiente fuerte a moderada) y profunda.

**Zonas de descarga:** estas corresponden básicamente a cruces de la topografía versus la geología, en la mayoría de casos corresponden a sitios en los cuales los ríos han socavado zonas, dejando expuestos estratos litológicos, por donde el agua subterránea discurre (Quebrada El Batán). En otros casos parece que la geología estructural está controlando las descargas (Manantial Simón Bolívar)

**Figura 6.110 Comparación de la Circulación entre los acuíferos Norte y Sur** <sup>15</sup>

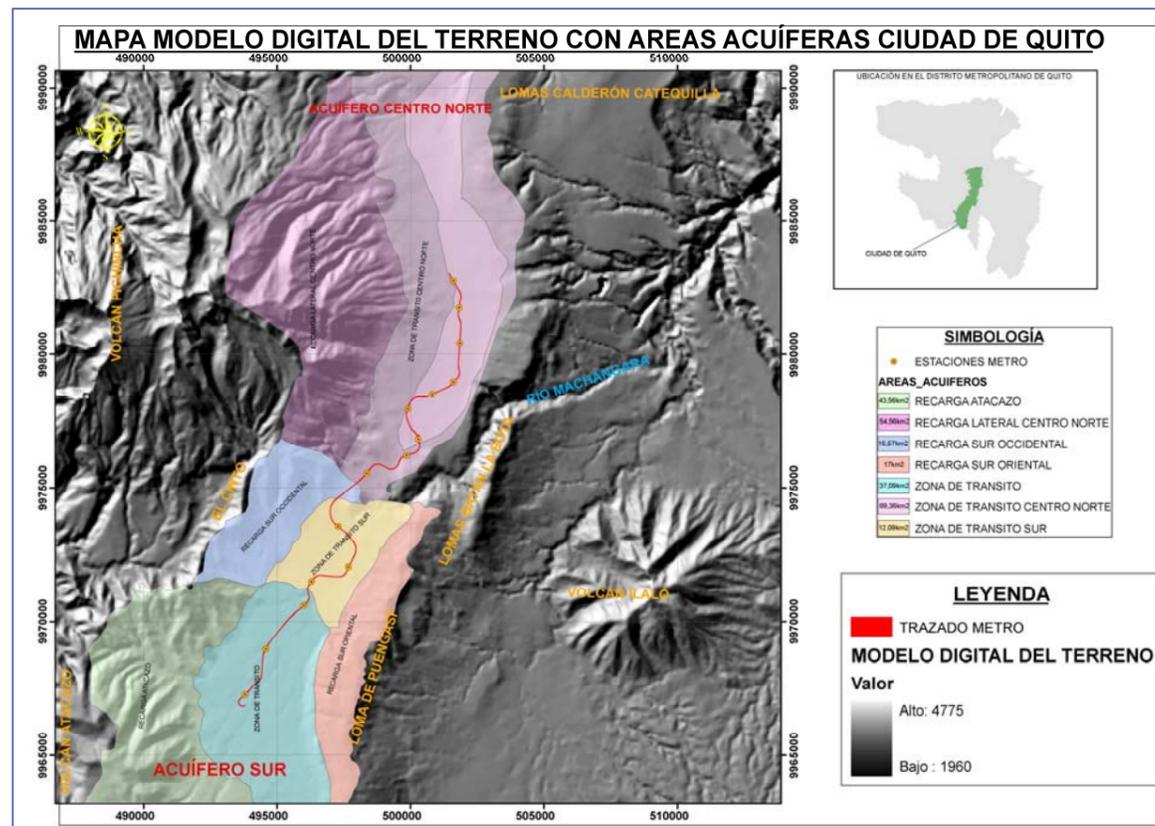


Fuente: Aranyossy, J.F.; Pourrut, P. y Maldonado. 1989

El Plano n° 11 grafía las áreas acuíferas identificadas en el mapa Hidrogeológico del Distrito Metropolitano de Quito

<sup>15</sup>Aranyossy, J.F.; Pourrut, P. y Maldonado, Comportamiento general y problemática de la recarga natural del acuífero. 1989

**Figura 6.111 Ubicación de Áreas Acuíferas**



Fuente: mapa Hidrogeológico del Distrito Metropolitano de Quito

**Definición de unidades hidrogeológica**

La bibliografía consultada distingue dentro del acuífero de Quito dos sectores:

- A. Sector sur.
- B. Sector Centro-Norte

Ambos sectores presentan estructuras complejas, con estratificación y niveles de diferente conductividad hidráulica tanto lateral como vertical.

**ACUÍFERO SUR**

De acuerdo al reporte realizado por la EPMAPS, el Acuífero Sur se desarrolla dentro de la cuenca del río Machángara. Su límite Norte ha sido establecido en las estribaciones de El Panecillo, el acuífero se extiende al Sur hasta cerca del sitio denominado La Joya. Los límites Oeste se establecieron en las laderas orientales del cerro Unguí, El Cinto y El Atacazo, al Este el horst que separa la Cubeta de Quito del valle de Los Chillos.

El sector sur puede subdividirse a la vez en dos subsectores caracterizados por las distintas litologías que los forman.

Subsector: YACIMIENTO EL PINTADO

Denominado así por la EPMAPS, por su ubicación dentro del barrio El Pintado, su área de tránsito se ha establecido en 12.09 Km<sup>2</sup> y con una recarga de 15.57 Km<sup>2</sup>, las características hidrogeológicas son moderadas, no presenta buenas condiciones para su aprovechamiento intensivo. Estructuralmente, éste yacimiento hasta la profundidad estudiada de 100 m, está constituido por un estrato superior semipermeable que corresponde a depósitos de tobas (cangahua retrabajada), con un espesor que varía entre 5 a 15m., bajo este estrato se encuentra un depósito de sedimentos lagunares compuestos por secuencias estratificadas de arcillas, limos, turbas y arenas con espesores que varían entre uno a diez metros. El estudio realizado por la EMAAP-2009, considera a este Acuífero como multicapa con 80 m de profundidad y un espesor promedio de 60 m.

**Figura 6.112 Vista panorámica de la zona de recarga Atacazo y zona de tránsito Acuífero Sur Yacimiento El Pintado**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.113 Columnas Estratigráfica tipo del sector Sur Subsector Yacimiento El Pintado**

15 m		Cangahua retrabajada
20 m		Turba
25m		Limo arenoso, plástico,
30m		Arena grano fino a medio
40 m		Limo arenoso cangahua con pómez
50 m		Limo arenoso
80 m		Arena grano grueso con líticos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diversas fuentes

Según datos de las investigaciones geofísicas y pozos de explotación perforados en el sector, a partir de los 100 m de profundidad existiría un nivel acuífero, aparentemente, con mejores características hidrogeológicas, el mismo que alcanzaría los 165 m de profundidad (espesor 65 m aprox.); por la profundidad prevista para la primera línea de metro de Quito no se verá afectado por dichas obras.

**Subsector: YACIMIENTO GUAMANÍ**

El Yacimiento Guamaní, tiene un área de tránsito de 37.09 Km<sup>2</sup> y un área de recarga de 43.53 Km<sup>2</sup>, de acuerdo con EPMAPS 2009, este yacimiento está compuesto por dos niveles acuíferos de aproximadamente 70 m de espesor, separados por un estrato de baja permeabilidad, correspondiente a depósitos fluvio-lacustres y flujos de lodo de aproximadamente 20 m de espesor. El Yacimiento alcanza la profundidad de 165 m.; la cobertura superior corresponde a depósitos de cangahua retrabajada con un espesor promedio de 15m.

Es importante mencionar que en nivel acuífero inferior (bajo los 100 m de profundidad), es confinado y presenta artesianismo fluyente.

**Figura 6.114 Vista panorámica de la zona de recarga Atacazo y zona de tránsito Acuífero Sur Yacimiento Guamaní**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.115 Columnas Estratigráfica típicas del Acuífero Sur Yacimiento Guamaní**

15 m		Cangahua retrabajada
20 m		Turba
35 m		<b>Brecha tobacea</b>
50 m		Arena grano fino a medio
70 m		Toba (cangahua)
90 m		Flujo de lodo
165 m		Flujo piroclástico

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diversas fuentes

### Acuífero centro-norte

El acuífero Centro está ubicado en la cuenca del río Machángara, subcuenca de la quebrada El Batán y tiene una superficie de tránsito 69.36 Km<sup>2</sup> y cuenca de recarga desde los límites occidentales de 54.56 Km<sup>2</sup>. Sus límites son: al Sur El Panecillo, considerado como una estructura volcánica antigua, en la que el drenaje principal (Río Machángara) cambia de rumbo, al Norte su límite ha sido establecido en base a criterios morfológicos de superficie un levantamiento “estructural” que estaría alineado a la Quebrada de Zambiza (Botadero) en la mitad del aeropuerto “Mariscal Antonio José de Sucre”, sin embargo de ellos, la EPMAPS considera que existe continuidad de flujo con el acuífero Norte, es por esta razón que se lo considera como uno solo.

Al oeste se encuentra las laderas del volcán Ruco Pichincha, mientras que al Este lo limitan los levantamientos Illumbisí-Batán-La Bota, que está asociado a la actividad de la Falla de Quito y posiblemente a la Falla Seis de Diciembre, aún no comprobada, que separa la Cubeta de Quito del Valles de Tumbaco.

### Figura 6.116 Vista panorámica del Acuífero Centro Norte de Quito



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los límites verticales, de acuerdo a las condiciones geológicas e hidrogeológicas e hidroquímicas, se considera como un complejo acuífero único multicapa, hidráulicamente los dos horizontes acuíferos están relacionados entre sí, ya que todos los sedimentos presentes son permeables (acuíferos) aunque tienen permeabilidad variable. Esa relación se ejecuta tanto en profundidad a través de sus contactos como en horizontal entre los distintos límites de estratos y lentes.

La cubierta semipermeable con espesor variado con una media de 12 m., corresponden a los depósitos de La Carolina.

Un estrato acuífero con espesor promedio de 100 m, que involucra los depósitos lacustres y sedimentos de la Formación Cangahua, y estratificación de sedimentos limosos, arenos limosos, arenas con gravas y cantos en matriz limosa, siendo los estratos acuíferos superficiales freáticos y, los de mayor profundidad (a partir de los 50 m), con presiones bajas a medias.

Un horizonte acuífero de espesor variable con una media de 72 m, representado por rocas de la formación Machángara, específicamente el Miembro Quito, con intercalaciones de sedimentos arenosos, gravas y cantos con arena en matriz limosa y limo. Este estrato acuífero se presenta con permeabilidades medias y con características de confinamiento medio.

Un horizonte de permeabilidad primaria baja y posiblemente permeabilidad secundaria media, correspondiente a la Formación Machángara, Miembro Volcánicos Basales, el mismo que está compuesto por flujos de lava andesítica con características de permeabilidad bastante baja por su textura masiva; el espesor de estos depósitos está entre 305 y 500m, de acuerdo a las proyecciones de EPMAPS.

Figura 6.117 Columnas estratigráficas tipo del sector Centro Norte

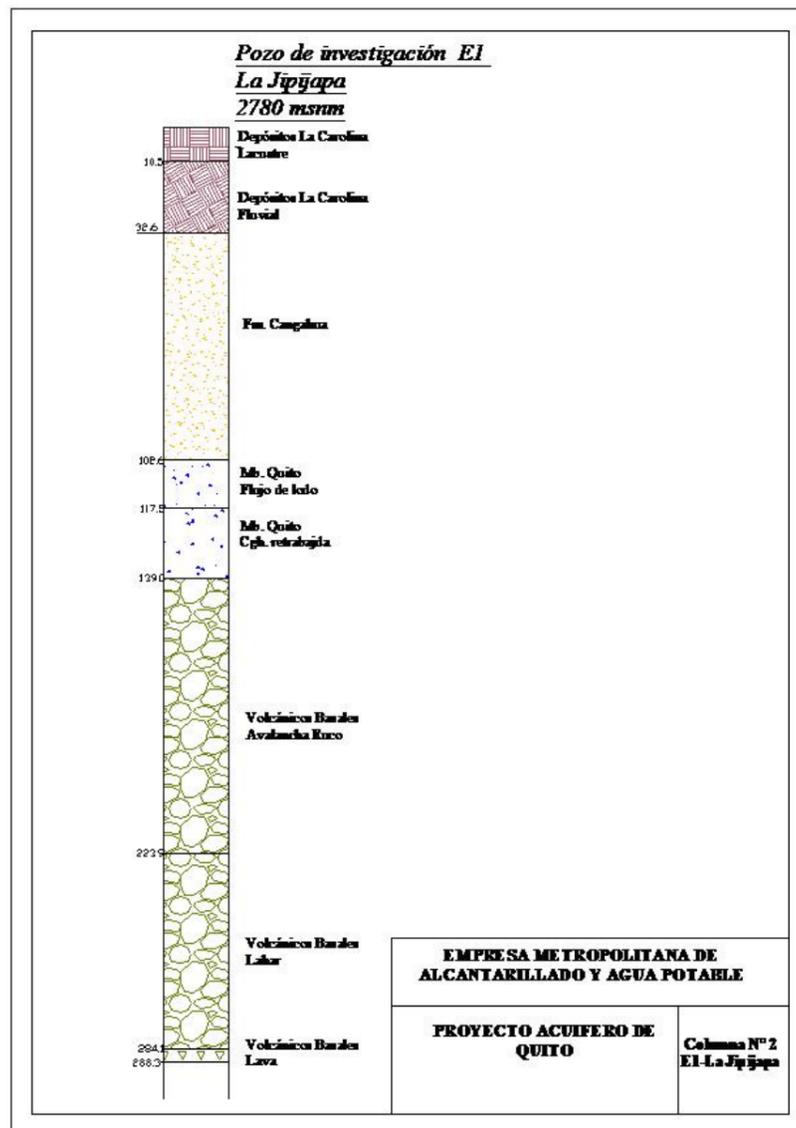
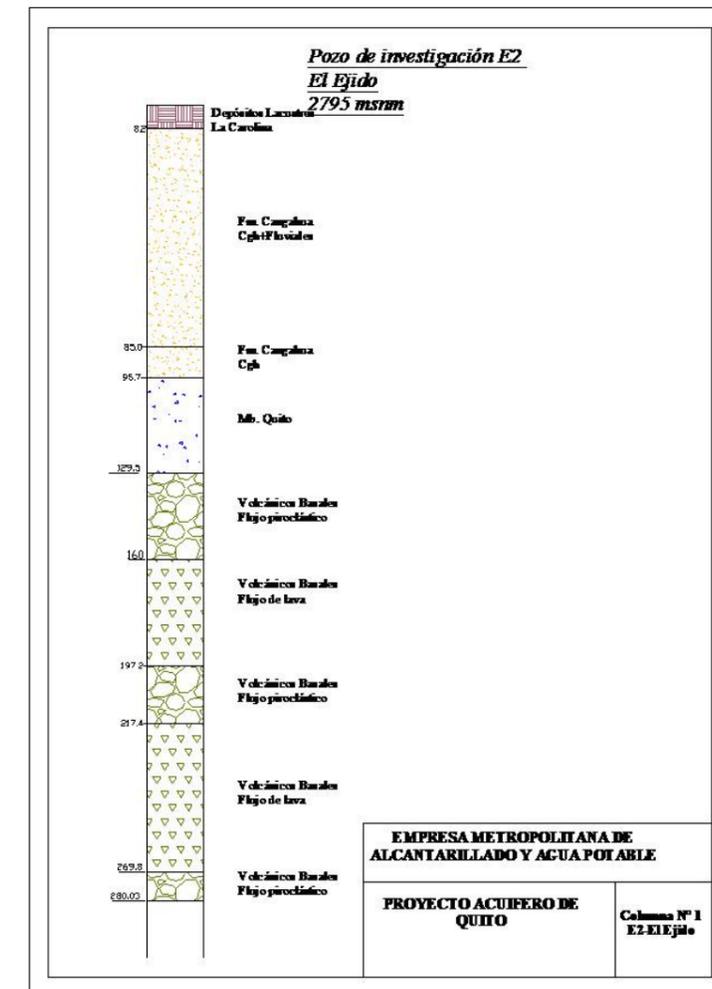


Figura 6.118 Columnas estratigráficas tipo del sector Centro Norte



Fuente: EPMAPS. Proyecto acuífero de Quito

A continuación se recogen las observaciones y conclusiones del estudio. Algunas de las recomendaciones, observaciones y conclusiones ya se han establecido en los capítulos correspondientes pero por su importancia se repiten en este capítulo final.

El acuífero de Quito se extiende por la cubeta tectónica de Quito, siendo sus límites las divisorias de agua superficial que rodean a la ciudad de Quito. El sustrato impermeable lo forman los materiales volcánicos del miembro Volcánico Basal de la formación Machángara. En el acuífero de Quito cabe distinguir dos sectores que son los siguientes:



- a) Sector Sur: que se desarrolla al sur del cerro del Panecillo y caracterizado por materiales acuíferos de las unidades Guamaní y Pintado del miembro Quito de la formación Machángara y formación Cangahua. El espesor está comprendido entre los 150 y 60 metros, adelgazándose hacia el Panecillo.
- b) Sector Centro (se mantiene la denominación de Centro, a pesar de que sería más correcto denominarlo Norte del acuífero de Quito para no inducir a error con lo que la bibliografía tradicionalmente denomina Norte del acuífero de Quito, acuífero que drena sus aguas hacia la cuenca de las Monjas) que se desarrolla al norte del Panecillo y al sur de la divisoria de aguas entre el Batán y las Monjas. El acuífero está constituido por la unidad Guamaní del Miembro Quito (no aflora la unidad Pintado) y los materiales de la formación Cangahua y La Carolina. No es descartable que en este sector formen parte del acuífero las capas superiores del miembro Volcánico Basal de la formación Machángara. El espesor de los materiales acuíferos es de unos 172 metros.

El límite entre los dos sectores sur y centro se ubica en la zona del Panecillo. En esta zona existe una elevación del sustrato impermeable que está recubierto directamente por la formación Cangahua, por lo que en la zona la potencia del acuífero se reduce y la permeabilidad del mismo también.

Mención especial requieren las formaciones Cangahua y La Carolina. Estas formaciones desde el punto de vista hidrogeológico se caracterizan por una permeabilidad por porosidad. La permeabilidad es reducida aunque no pueden considerarse impermeables.

La heterogeneidad litológica de las formaciones ocasiona que exista una gran variabilidad de la permeabilidad, tanto en la vertical como en la horizontal, pero sin que exista desconexión hidráulica entre las capas, no siendo descartables que existan dentro del paquete acuífero fenómenos de semiconfinamiento local por la presencia de niveles de baja permeabilidad.

Se trata pues en ambos sectores de un acuífero único multicapa con conexiones hidráulicas, tanto en la vertical como en la horizontal, y permeabilidad por porosidad intergranular.

El proyecto del Metro discurre por el acuífero de Quito: desde Quitumbe hasta el Panecillo la línea atravesará el sector Sur del acuífero y desde el Panecillo hasta el aeropuerto por el sector Centro.

Los valores de permeabilidad obtenidos en la última campaña de sondeos geotécnicos realizada por HIGECCO para UNMQ no son representativos de los materiales acuíferos del Acuífero de Quito. La permeabilidad calculada indica que se trata de materiales de baja permeabilidad que no deberían constituir un acuífero.

La baja permeabilidad calculada posiblemente sea debido a que se han ensayado los materiales de baja permeabilidad que se intercalan entre los materiales acuíferos en las formaciones Machángara y Carolina. Así pues, estos valores no son típicos de los materiales acuíferos del Acuífero de Quito, sino de los niveles de baja permeabilidad (cenizas, limos, etc.) que se intercalan entre los materiales acuíferos y que ya se han descrito con anterioridad.

Por otra parte, los ensayos Lefranc en formaciones heterogéneas como las aflorantes en el acuífero de Quito no son adecuados para caracterizar el comportamiento hidrogeológico de las formaciones a nivel general. Estos ensayos se realizan sobre espesores reducidos de la columna litológica, por lo que, como parece ser el presente caso, pueden ensayarse tramos de baja permeabilidad o tramos de muy alta permeabilidad, pero que no se corresponden con el funcionamiento medio general de la formación.

La transmisividad calculada mediante ensayos Lefranc es una estimación, ya que estos ensayos solo permiten calcular la permeabilidad y a partir de ésta y del espesor de los materiales se estima la transmisividad. Así pues, estos valores estimados tampoco son los idóneos para la caracterización del comportamiento hidrogeológico de las formaciones ensayadas.

Los ensayos de bombeo generalmente aportan una información muy valiosa para la caracterización de los materiales acuíferos, ya que permiten calcular la transmisividad. Para que dicha información sea lo más exacta posible se requieren ensayos de larga duración con piezómetros de control y ensayos en régimen variable y permanente.

En el presente caso, los ensayos de bombeo realizados son de corta duración y se desconoce si se han medido piezómetros de control. También se desconoce la ubicación del ranurado de las tuberías de revestimiento, por lo que no se sabe si se estaba ensayando un único nivel acuífero o varios.

En conclusión, los valores de transmisividad calculados mediante ensayos de bombeo, por las incertidumbres antes descritas, proporcionan un orden de magnitud de la transmisividad, pero no permiten una caracterización precisa de los materiales acuíferos.

Los coeficientes de almacenamiento calculados mediante ensayos de bombeo sin control en piezómetros de medición simultánea deben considerarse simples estimaciones, ya que directamente los ensayos de bombeo no permiten calcular dicho parámetro). Por lo tanto, el coeficiente de almacenamiento calculado solo indica órdenes de magnitud pero en ningún caso la caracterización precisa del acuífero. Los valores obtenidos no son concluyentes ya que valores entre 0,05 y 0,03 son propios de acuíferos libres, mientras que valores entre  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  son propios de acuíferos semiconfinados o confinados. En el caso del acuífero de Quito se obtienen valores que pueden atribuirse a un tipo u otro de acuífero.

De todo lo anterior pueden extraerse las conclusiones siguientes:

1. Los valores de permeabilidad calculados por el método Lefranc no son representativos para la caracterización hidrogeológica del acuífero de Quito.
2. Los valores de permeabilidad calculados mediante ensayos Lefranc se corresponden con materiales de baja permeabilidad, posiblemente se correspondan con los niveles de baja permeabilidad intercalados con los materiales acuíferos presentes en la Formación Machángara.



3. La transmisividad obtenida a partir de los ensayos Lefranc es una transmisividad estimada, ya que estos ensayos no permiten el cálculo directo de este parámetro. Al basarse la estimación en la permeabilidad calculada y ser ésta muy baja, no permite la caracterización del acuífero.
4. Los valores de transmisividad calculados mediante ensayos de bombeo son los más fiables, si bien en los datos recopilados existen incertidumbres (corta duración del bombeo, falta de piezómetros de control, desconocimiento de la unidad ensayada, etc.) que deben obligar a considerarlas solo como valores indicativos del orden de magnitud de la transmisividad, pero no permitan una precisa caracterización del comportamiento hidrogeológico de las formaciones acuíferas.

Ante las incertidumbres existentes en los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos en la modelización se han adoptado valores extraídos de la bibliografía para materiales similares y la concreción de los mismos se ha realizado mediante calibrado del modelo.

Se recomienda para una mejor caracterización del acuífero se realicen ensayos de bombeo de larga duración con control de al menos tres piezómetros y con ranurado en una sola formación acuífera. Las unidades acuíferas a ensayar deben ser las siguientes:

- a) Unidad Guamaní en el sector Sur.
- b) Unidad Pintado en el sector Sur.
- c) Miembro Quito en el sector Centro.

Sería recomendable realizar al menos 3 ensayos en cada una de las unidades acuíferas del listado anterior.

En la formación Cangahua y en La Carolina sería conveniente realizar ensayos de permeabilidad in situ, ensayando toda la columna al objeto de concretar sus características a nivel general. Sería conveniente realizar como mínimo tres ensayos en el sector centro y tres ensayos en el sector sur.

La recarga del acuífero, como ya se ha indicado, ocurre en toda su superficie, bien sea por infiltración directa del agua de lluvia o por fugas de las redes de abastecimiento y alcantarillado. La zona de descarga del acuífero se sitúa en el río Machángara y vertientes al mismo que se sitúan al este del Panecillo y hasta la confluencia de la quebrada del Batán.

En el sector Sur el flujo general de la escorrentía es del SW hacia el NE. En las laderas el flujo del agua es prácticamente perpendicular (W-E) a la pendiente y en la zona central de topografía más llana el flujo es preferentemente paralelo al eje de la cuenca de dirección S-N.

En el sector Centro, en las laderas occidentales, el flujo es preferentemente perpendicular a la pendiente de las laderas (W-E). En la zona central y oriental del sector el flujo toma una componente N-S.

Los gradientes piezométricos son elevados en las zonas de laderas occidentales (0,125-0,16). En el centro y laderas occidentales del acuífero el gradiente es menor (0,02-0,01). El gradiente de nuevo aumenta en la zona de descarga (0,11).

Se recomienda que se diseñe una red de control piezométrico que se extienda por toda la superficie del acuífero al objeto de poder disponer de datos de campo de niveles piezométricos, no solo en el eje central de acuífero, sino también en las zonas laterales del mismo. Así mismo sería conveniente nivelar los sondeos con precisión centimétrica al objeto de aumentar la precisión de las medidas de nivel piezométrico que se realicen en los mismos.

Los datos más recientes (Informe HIGGECCO para UNMQ) indican un modelo del acuífero como el de la figura siguiente:

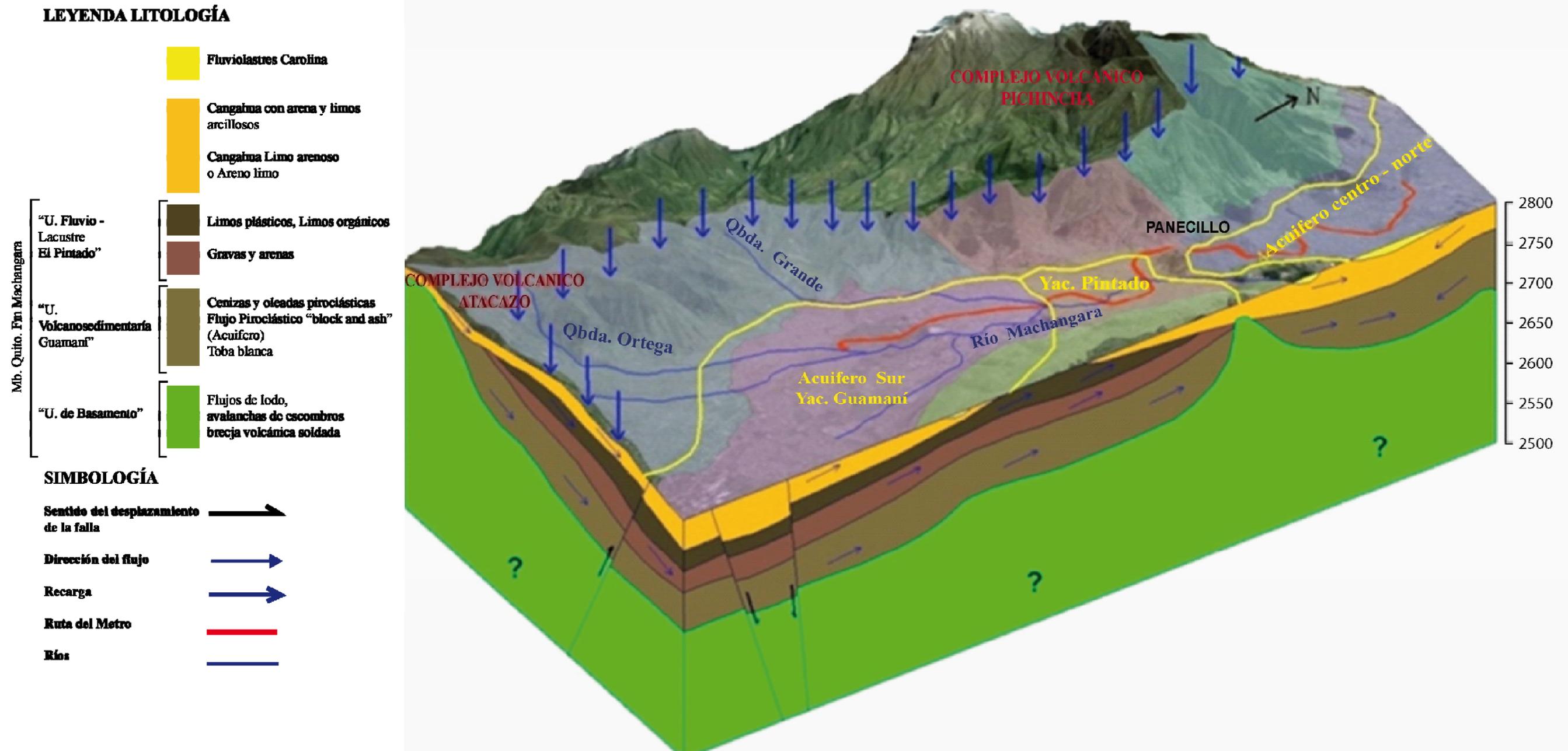
Los análisis químicos presentan errores en el balance iónico elevados, por lo que se su interpretación deber realizarse con precaución.

Las aguas del Acuífero de Quito presentan unas facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas. En la zona suroriental del sector Sur se han detectado aguas con elevados contenidos en metales, posiblemente procedentes de la alteración de rocas ricas en metales.

Se recomienda se diseñe una red de control hidroquímico que contenga pozos uniformemente distribuidos por el acuífero y que incluya las vertientes y al río Machángara. Es recomendable que se realicen campañas semestrales de recogida de muestras y su análisis. Las analíticas deben de controlarse al objeto de que se compruebe que no contienen errores y en su caso repetir los análisis. Es recomendable que se analicen los iones mayoritarios y los metales (Fe, Al y Mn). En caso de que la red se utilice no solo para la caracterización del acuífero, sino también

Figura 6.119 Modelo Conceptual Acuífero de Quito (Sur-Centro)

MODELO CONCEPTUAL - ACUÍFERO - ÁREA DE INFLUENCIA - TRAZADO DEL METRO





para control de la calidad de agua de abastecimiento, esta analítica debería ampliarse a los parámetros establecidos en la legislación vigente.

Realizar una construcción subterránea por debajo del nivel piezométrico, entraña riesgos durante la construcción, pero también hay que tener en cuenta las consecuencias que esta obra puede tener sobre el comportamiento natural de los acuíferos presentes en la zona a largo plazo. Es por ello, que es necesario realizar, previamente a la construcción, estudios que permitan conocer cual será el alcance de las posibles afecciones creadas por la estructura. Los modelos numéricos nos permiten simular diferentes escenarios, mediante los cuales es posible predecir previamente a la construcción comportamientos futuros, y en casos de que las afecciones superen los umbrales permitidos, diseñar sistemas para mitigarlas. En el presente informe se muestra el procedimiento llevado a cabo con el fin de predecir el comportamiento futuro de los acuíferos localizados bajo la ciudad de Quito una vez se haya construido el túnel del metro que atravesará la ciudad. La metodología empleada ha sido la siguiente:

- Construcción de un modelo numérico: Teniendo en cuenta la geología y la geomorfología de la zona.
- Calibración del modelo numérico: Partiendo de valores aproximados de transmisividad e intentando ajustar los niveles calculados con los observados.
- Predicción de posibles afecciones se han simulado diversos escenarios que muestran las posibles afecciones que podría tener la construcción del túnel sobre el comportamiento del agua subterránea en la zona. Pese a que se describen los efectos dren y pantalla como posibles en este tipo de obras subterráneas, las condiciones geológicas e hidrológicas a lo largo de la ruta de la Primera Línea del Metro de Quito permiten aseverar que esta situación no se va a presentar en esta obra en particular.
  - Se considera que los valores obtenidos en la calibración del modelo numérico son representativos de la realidad. Esto se deduce a partir del buen ajuste entre los niveles calculados y medidos. Por otro lado los valores de transmisividad obtenidos para las diferentes capas son realistas.
  - Una vez calibrado el modelo se ha procedido a la simulación de los diferentes escenarios. De la simulación del efecto barrera creado por el túnel se puede concluir que las variaciones que provoca en el nivel piezométrico del acuífero son relativamente pequeñas, incrementando el nivel en el lado de aguas arriba un máximo de 1.2 metros y provocando un descenso máximo en el lado de aguas abajo de 0.8 metros. Esta modificación del nivel piezométrico se puede considerar como aceptable teniendo en cuenta la magnitud de la construcción.
  - Respecto al efecto dren, se han considerado 3 escenarios. Los correspondientes a los coeficientes de goteo de 1000 y 10000, provocan grandes descensos entorno del túnel, en concreto 4 y 18 metros. Además los caudales extraídos por el túnel son considerables, lo que implica que hay disponer de complicados sistemas de bombeo para poder tener el túnel en condiciones secas. Pero hay que tener en cuenta que estos dos coeficientes de goteo son poco realistas, ya que implican que las paredes del túnel tendrían una transmisividad muy elevada. Por

otro lado, la simulación correspondiente al coeficiente de goteo de 100 es la más realista, aún así, probablemente el túnel final presentara un coeficiente de goteo inferior. Este coeficiente de goteo da lugar a descensos máximos de 0.45 metros (en las zonas cercanas al túnel) y un caudal de extracción de 5.6 l/s por cada 100 metros de túnel. Ambas cosas resultan asumibles teniendo en cuenta el espesor total de los acuíferos y la magnitud de la construcción.

- Esta evaluación está hecha a escala general del proyecto. Para evaluar casos puntuales como las obras y drenajes a realizar en estaciones y otras estructuras concretas, no es válido. En esos casos debe hacerse estudios específicos de mucho mayor detalle en los que el punto de partida sería el presente estudio, y en el que los aspectos específicos del diseño puedan ser implementados con suficiente detalle.

### 6.2.21 Suelos

Los suelos de la sierra ecuatoriana, y en particular los valles interandinos, en su mayoría, son fértiles, aptos para muchos tipos de cultivos; sin embargo, las pendientes presentan problemas de erosión.

Quito está ubicado sobre la hoya de Guayllabamba en las laderas orientales del estratovolcán activo Pichincha, en la parte occidental de los Andes. Casi todos los suelos originales del área metropolitana son de origen volcánico. Estos suelos tienen una retención de humedad extremadamente alta, pero no se consideran adecuados para uso agrícola debido a su localización en áreas muy empinadas.

En las áreas periféricas localizadas en las escarpas occidentales de las cadenas montañosas de la zona, los suelos dominantes son francos y pseudo arenosos de textura fina. Las zonas agrícolas más importantes del DMQ están localizadas en Puembo, Pifo, Yaruquí, Checa, Tumbaco, El Quinche, Amaguaña y Píntag. Predominan en estas áreas los suelos volcánicos negros profundos (>1 m) con alguna presencia de limo y un contenido de arcilla menor al 30%. También se encuentran suelos similares en las zonas de Lloa y Quito Sur.

Se observan muy altos niveles de erosión en toda el área metropolitana. Las cuencas de los ríos y las quebradas están especialmente afectadas, al igual que los suelos piroclásticos arenosos en Calacalí, Calderón, San Antonio y Pomasqui. Bajo las laderas de la escarpa occidental existe una capa dura de duripan (cangahua) a menos de un metro de profundidad, que a veces se expone por la erosión causada por la perturbación humana (IMQ, 1992).

En muestreos de suelos realizados en el núcleo urbano se encontró que la textura del suelo es relativamente homogénea a lo largo de toda la ciudad. En su mayoría son suelos francos con predominio de arenas. En muchos lugares también se encontró material artificial (por ejemplo escombros de construcciones) y la profundidad del suelo fue extremadamente variable.

El contenido de materia orgánica es bajo (menos de 2%) o intermedio (entre 2 y 4%), hay bajos niveles de nitrógeno y fósforo asimilables y los niveles de potasio son intermedios. El pH del suelo varió entre 6,4 y 8,0 (Gangotena et al, 1990).



## Metodología

La caracterización de suelos contempla primeramente una descripción teórica de los suelos, la misma que se describe considerando estándares a nivel internacional. Esta información incluyen las características físicas y edafológicas del suelo.

La principal fuente de consulta es la bibliografía existente, utilizando mayoritariamente la información generada por el Ministerio de Agricultura, Pronareg y la ORSTOM, también se acude a otras fuentes y estudios existentes, luego de recopilada la información bibliográfica, se realizaron recorridos a lo largo del trazado de la línea 1 del metro de Quito, observando el uso actual del suelo y las zonas donde aún existe cobertura vegetal y suelo, también se observó la forma del terreno.

Con la información bibliográfica y la validación de la misma durante los recorridos de campo se procede con la descripción física y taxonómica de los suelos.

Para la descripción de la cobertura vegetal se procede también a la compilación desde fuentes bibliográficas, se considera como característica importante en la ciudad de Quito que el 100 % del área de influencia del proyecto se encuentra en zona urbana, cubierta en su totalidad por edificaciones, los únicos espacios verdes que se pueden encontrar en el recorrido son parques, jardines, espacios recreativos y parterres, por lo que no es necesario un levantamiento a detalle de este componente.

## Clasificación

Los suelos son clasificados de acuerdo al sistema americano de clasificación de suelos denominado "Soil Taxonomy, USDA, 1975", adoptado en el país para el inventario del recurso suelo por parte del Pronareg.

Este sistema utiliza seis categorías, cada una de las cuales tiene sus propias características diferenciadoras, desde el nivel más alto al más bajo de generalización. Para efectos del presente estudio y en función de la información cartográfica obtenida y de la escala de trabajo se definirán los primeros tres grupos: Orden, Suborden y Gran Grupo.

**Orden**, permite agrupar los suelos de acuerdo a los procesos de formación indicados por la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico. Ejemplo: Mollisoles: suelos con epipedonmollico.

**Suborden**, indica una homogeneidad genética; es una subdivisión de los órdenes de acuerdo a la presencia o ausencia de propiedades asociadas con la humedad del suelo, material de partida dominante y efectos de la vegetación. Ejemplo: Udolls: suelos con epipedonmollico de áreas húmedas.

**Gran Grupo**, subdivisiones de los subórdenes de acuerdo con la clase, disposición de los horizontes, temperatura y humedad del suelo; presencia o ausencia de capas diagnosticadas, cangahua por ejemplo.

Ejemplo: Argiudolls: suelos con epipedonmollico sobre horizontes argilico; Duriudolls: suelos con epipedonmollico sobre cangahua; Tropofluvents: suelos no desarrollados de origen fluvial; de zonas tropicales; Ustipsamments: suelos arenosos no desarrollados, de áreas secas.

## Órdenes

**Orden Entisoles:** son aquellos suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo de horizontes pedogénicos. Hay muchas razones por las cuales no se han formado los horizontes; en muchos de los suelos el tiempo de desarrollo ha sido muy corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes sujetas a erosión y otros sobre planicies de inundación, condiciones que no permiten el desarrollo del suelo. Pero no todos los entisoles son suelos jóvenes, existen algunos que se han formado sobre materiales muy antiguos pero contienen arenas de cuarzo y otros minerales muy pobres que no forman horizontes sino con extrema lentitud.

Los entisoles de manera general se presentan en cualquier régimen climático. Suelen ocurrir sobre pendientes fuertes en las cuales la pérdida de suelo es más rápida que su formación o donde la acumulación de materiales es continua, tal es el caso de las llanuras aluviales, estuarios, dunas, etc., o sobre materiales frescos (lavas).

Las condiciones de poco espesor o desarrollo del suelo limitan su uso; los principales problemas para su aprovechamiento son la erosión, rocosidad, excesivos materiales gruesos, susceptibilidad a la inundación, saturación permanente de agua. Sin embargo, los entisoles fértiles de los aluviones y llanuras costeras, sirven de sustento a la agricultura intensiva como es el caso de los suelos del banano y cacao en la cuenca del Guayas.

Los subórdenes dentro de los entisoles se los define en función de su material de origen.

**Orden Inceptisoles:** Suelos que evidencian un incipiente desarrollo pedogénico, dando lugar a la acumulación de algunos horizontes alterados; los procesos de traslocación y acumulación pueden presentarse. Constituyen una etapa subsiguiente de evolución, en relación con los entisoles; sin embargo, son considerados inmaduros en su evolución.

Los inceptisoles ocurren en cualquier tipo de clima y se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en porciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes.

La definición de los inceptisoles es inevitablemente complicada. Abarca suelos que son pobremente drenados a suelos bien drenados y, como ya se ha indicado, hay la presencia de algunos horizontes de diagnóstico; sin embargo, el perfil ideal de los inceptisoles incluiría una secuencia de un epipedonocrico sobre un horizonte cámbrico.

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas en pendientes son apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente.



Dentro de este orden se identifican tres subórdenes caracterizados por la humedad, temperatura y mineralogía del suelo.

**Orden Mollisoles:** Los mollisoles son en su mayoría aquellos suelos de color negro; ricos en bases de cambio, muy comunes de las áreas originalmente de praderas que han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorable al desarrollo radicular (epipedonmollico), debiendo destacarse para ello la acción de microorganismos y lombrices.

En estos suelos pueden presentarse procesos de translocación de arcillas que permitirán la formación de un horizonte de iluviación o argílico. Los mollisoles se encuentran cubriendo áreas con regímenes climáticos secos o húmedos, cálidos y templados de la sierra y de la costa, y se encuentran actualmente bajo cultivos.

**Orden Histosoles:** Corresponden a los suelos compuestos principalmente por materia orgánica y en general se los conoce como turbas. Se encuentran saturados de agua, condición que impide la mineralización de los materiales orgánicos. Adicionalmente, las condiciones topográficas, en general cubetas y depresiones cerradas, tienden a favorecer su desarrollo al concentrar humedad en ellos.

#### Taxonomía

En la Tabla 6.93 se incluye la taxonomía de los suelos presentes en el Cantón de Quito.

**Tabla 6.91 Clasificación taxonómica de los suelos presentes en el Cantón Quito**

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO
Entisol	Orthent	Ustorthent
		Troporthent
		Ustorthent
	Fluvent	Tropofluvent
	Psamment	Ustipsamment
Inceptisol	Andept	Dystrandept
		Cryandept
		Vitrandept
	Tropept	Dystropept

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO
Mollisol	Udoll	Hapludoll
		Argiudoll
		Duriudoll
Histosol	Ustoll	Haplustoll
	Hemist	Tropohemist

Fuente: Elaboración propia, 2011

#### Caracterización de los suelos

Para la descripción de las características de los suelos se utilizó la agrupación adoptada por el Pronareg, que considera los conjuntos y subconjuntos de suelos.

Regionalmente en el cantón Quito se observan los siguientes suelos:

**Conjunto de suelos:** Representa macro divisiones que agrupan a los suelos de acuerdo al material de origen y proceso de formación, identificándolos con letras mayúsculas, por ejemplo: A.

**Subconjunto de suelos:** Subdivisiones dentro de cada conjunto de suelos, representados por medio de números o letras minúsculas. Por ejemplo, el conjunto de suelos D tiene varios subconjuntos D1, D2, D3, etc.

Los subconjuntos muestran diferencias especiales en las características de los suelos que pueden influir en el uso y manejo de los mismos, como: cambio textural, profundidad efectiva del suelo, variación en drenaje, en clima, toxicidad, etc.

Los subconjuntos además son utilizados como unidades taxonómicas (clasificación de suelos) y cartográficas, así un subconjunto representado por una sola sigla es considerado su presencia o pureza en más del 75% en el área, conformando una unidad simple, por ejemplo D2 (clasificados como Dystrandeps). Cuando en un mismo sitio o espacio geográfico se presentan dos subconjuntos o más, generalmente en iguales proporciones y que no pueden ser separados a la escala del estudio, conforman la denominada asociación de suelos o unidades compuestas, representadas con las siglas de sus componentes y separadas por un guión (-). Cuando la distribución de las unidades es indistinta o no uniforme se las separa con el signo (+). Ejemplo: D2-D3 o D3+Ed (clasificación Dystrandeps + Troporthents), respectivamente.

**Conjunto de suelos A:** Suelos muy ricos en materia orgánica -más del 30%-, poco meteorizada, con poco material mineral.

**A1:** Parte alta y baja de las cordilleras, relieve ligeramente ondulado y concavidades, altitud menor a 4.000 msnm, suelos orgánicos, francos, saturados con agua, mal drenados y pantanosos, de áreas frías a muy frías,



superficiales, drenaje lento, inundabilidad permanente, capa freática superficial, pH ácido, fertilidad alta (Tropohemits y/o Cryaquepts).

**Conjunto de suelos C:** Suelos arenosos a arcillosos, erosionados, poco a moderadamente profundos sobre capa de ceniza cementada (cangahua) a menos de 1 m de profundidad.

**C1:** Parte alta de las vertientes del callejón interandino, de relieve moderado a fuertemente ondulado en altitudes de 2.800 a 3.200 msnm. Suelos franco arcillo arenosos, poco profundos, drenaje moderado, pH ligeramente ácido a neutro (6,6 a 7,0), fertilidad media, de áreas húmedas (Duriudolls).

**C2:** Parte media de las vertientes del callejón interandino con relieve de moderado a fuertemente ondulado, altitudes de 2.800 a 3.600 msnm, suelos franco arcillo arenosos, poco a moderadamente profundos, drenaje moderado, pH ligeramente ácido a neutro, fertilidad mediana, de áreas secas (Durustolls).

**C3:** Parte media y baja de las vertientes de la cordillera en contacto con el callejón interandino, relieve ligera a fuertemente ondulado, en altitudes de 2.400 a 3.200 msnm. Suelos arenosos sobre franco arcillo arenosos, superficiales a poco profundos, drenaje moderado, pH neutro (>7,0), fertilidad mediana, de áreas secas (Durustolls).

**C5:** Vertientes y partes bajas del callejón interandino, de relieve ondulado a fuertemente socavado en regímenes de humedad variables, generalmente seco a muy seco. Suelos severamente erosionados con la cangahua en superficie, arcillo arenosos, superficiales, drenaje lento, pH neutro, fertilidad baja (Ustorthents, Torriorthents).

**Conjunto de suelos J:** Suelos arenosos derivados de material volcánico (piroclásticos), poco meteorizados.

**J1:** Parte alta de la sierra cerca de los volcanes, con relieve ligeramente ondulado. Suelos erosionados, presencia de pómez, poco alterados desde la superficie, intercalado con capas de ceniza, gravas y piedras duras (lavas, escorias) (Udorthent).

**J3:** Parte baja del callejón interandino, relieve plano a ligeramente ondulado, altitud de 2.400 a 3.200 msnm. Suelos arenosos con menos de 1% de materia orgánica en un espesor de 0-20cm, profundos, drenaje excesivo, pH neutro, fertilidad muy baja, de áreas secas (Ustipsamments).

**J6:** Parte alta del callejón interandino con relieve moderado a fuertemente ondulado, altitud: 3.000 a 3.600 msnm. Suelo arenoso con más de 1% de materia orgánica de 0-20 cm, profundos, excesivo drenaje, pH ligeramente ácido (<6,0), fertilidad baja, de áreas húmedas (Vitrandepts).

**J7:** Parte media y baja de las vertientes y parte baja del callejón interandino, relieve plano a moderadamente ondulado, altitud 2.400-3.400 msnm. Suelos arenosos similares a J6 pero en áreas secas y pH neutro (Vitrandepts).

**Conjunto de suelos H:** Suelos negros de texturas francas a arenosas, derivados de materiales volcánicos (piroclásticos) con menos de 30% de arcilla en el primer metro y generalmente ricos en bases de cambio.

**H3:** Parte media y alta del callejón interandino; relieve moderado a fuertemente ondulado, en altitudes 2.800-3.400 msnm. Suelos negros, franco arenosos, profundos, drenaje bueno, pH ligeramente ácido, fertilidad alta, de áreas húmedas (Hapludolls).

**H4:** Parte baja y plana del callejón interandino, relieve moderado a fuertemente ondulado, altitud 2.800-3.600 msnm. Suelos negros, franco arenosos, profundos, drenaje bueno, pH neutro, fertilidad mediana, de áreas secas (Haplustolls).

**H7:** Parte alta de las vertientes del callejón interandino con relieve muy variable de moderado a muy fuerte en altitudes de 2.800-3.600 msnm. Suelos muy negros, francos, profundos, buen drenaje, pH neutro, fertilidad alta, de áreas húmedas (Hapludolls).

**H8:** Parte alta de las vertientes del callejón interandino con relieve ligeramente ondulado, altitud: 3.200-3.600 msnm. Suelos negros, franco, profundos, drenaje bueno, pH ligeramente ácido, fertilidad alta, de áreas húmedas (Eutrandepts).

**H9:** Partes altas de las vertientes al callejón interandino con relieve moderadamente ondulado. Altitud 2.800-3.600 msnm. Suelos negros, francos, profundos, drenaje bueno, pH ligeramente ácido, fertilidad alta, de áreas húmedas (Hapludolls).

**H10:** Parte media y baja de las vertientes del callejón interandino, relieve muy variado en altitudes de 2.400-3.200 msnm. Suelos negros, francos a franco arcilloso, ligero incremento del porcentaje de arcilla en profundidad, profundos, drenaje bueno, pH neutro, fertilidad alta, de áreas secas (Haplustolls a Argiustolls).

**Conjunto de suelos D:** Suelos derivados de cenizas volcánicas, alofánicos, con baja densidad aparente, francos a arenosos, gran capacidad de retención de agua. Muy negros en áreas frías a muy frías, negros en clima templado y presencia de horizonte amarillento de gran espesor en clima cálido.

**D1:** Partes altas de la sierra con relieves ligera a moderadamente ondulados, suelos arenosos de áreas húmedas o muy húmedas con retención de agua de 20% a 50% (Dystrandept).

**D2:** Sierra volcánica alta en altitudes hasta 3.600 msnm con relieve ligero y moderado a fuertemente ondulado y estribaciones occidentales de la Sierra de fuertes pendientes. Suelos negros o muy negros, francos, profundos, drenaje bueno, pH ácido, fertilidad baja, áreas húmedas, retención de humedad de 20% a 50% (Dystrandeps y/o Cryandeps).

**D2+Rgd:** Zonas generalmente deprimidas con relieves moderados muy disectados. Suelos con características de los suelos de la unidad D2 recubriendo localmente a suelos rojizo amarillentos, arcillosos (Dystrandeps + Dystropepts).



**D2+Ed:** Flanco occidental de la cordillera de Los Andes con relieves altos de fuertes pendientes. Suelos similares a la unidad D2 pero con abundantes escombros y afloramientos rocosos (Dystrandeps + Troporthents).

**D2+Fpd:** Terrazas colgantes de las cuencas deprimidas con suelos de la unidad D2 asociados a suelos aluviales, arenosos y pedregosos (Dystrandeps + Tropofluents).

**D3:** Sierra volcánica alta en altitudes de 3.200 a 4.000 msnm y estribaciones orientales y occidentales de las cordilleras con relieve fuertemente ondulado. Suelos negros o muy negros, franco, profundo, drenaje bueno, pH ácido, fertilidad baja a mediana, de áreas húmedas, retención de humedad de 50% a 100% (Dystrandeps y/o Cryandeps).

**D3+Rgd:** Zonas generalmente deprimidas de relieve homogéneo moderado. Suelos similares a D3 recubriendo localmente a suelos rojizo amarillentos, arcillosos (Dystrandeps + Dystropepts).

**D3+Ed:** Parte superior e inferior del flanco occidental de la cordillera de Los Andes, relieves generalmente altos con vertientes largas muy fuertes. Suelos similares a D3 pero con abundantes escombros y afloramientos rocosos, áreas cálido-húmedas (Dystrandeps + Troporthents).

**Conjunto de suelos M:** Suelos derivados de materiales volcánicos de color negro o pardo, texturas franco arenosa a franco arcillo arenosa, incremento del porcentaje de arcilla en profundidad, ricos en bases de cambio. Se encuentran cubriendo regímenes climáticos secos o húmedos, cálidos y templados de la costa y sierra.

**M3:** Parte alta de la vertiente de contacto con el callejón interandino con relieve moderadamente ondulado, presencia de horizonte duro (cangahua) a menos de 1 m de profundidad, suelos arcillo arenosos, moderadamente profundos, drenaje moderado, pH ligeramente ácido, fertilidad mediana, de áreas húmedas (Argiudolls).

**M5:** Parte alta y media de las vertientes de contacto al callejón interandino de relieve ondulado a moderadamente ondulado, altitudes de 3.200-3.600 msnm. Suelos arcillo arenosos similar a M3 pero sin presencia del horizonte duro (Argiudolls).

**Conjunto de suelos S o E:** Suelos poco profundos, arenosos a arcillo arenosos, generalmente erosionados, sobre roca dura.

**Exd:** Abruptos circundantes de las terrazas colgantes. Suelos superficiales, franco arenosos, con abundantes afloramientos rocosos (Troporthents).

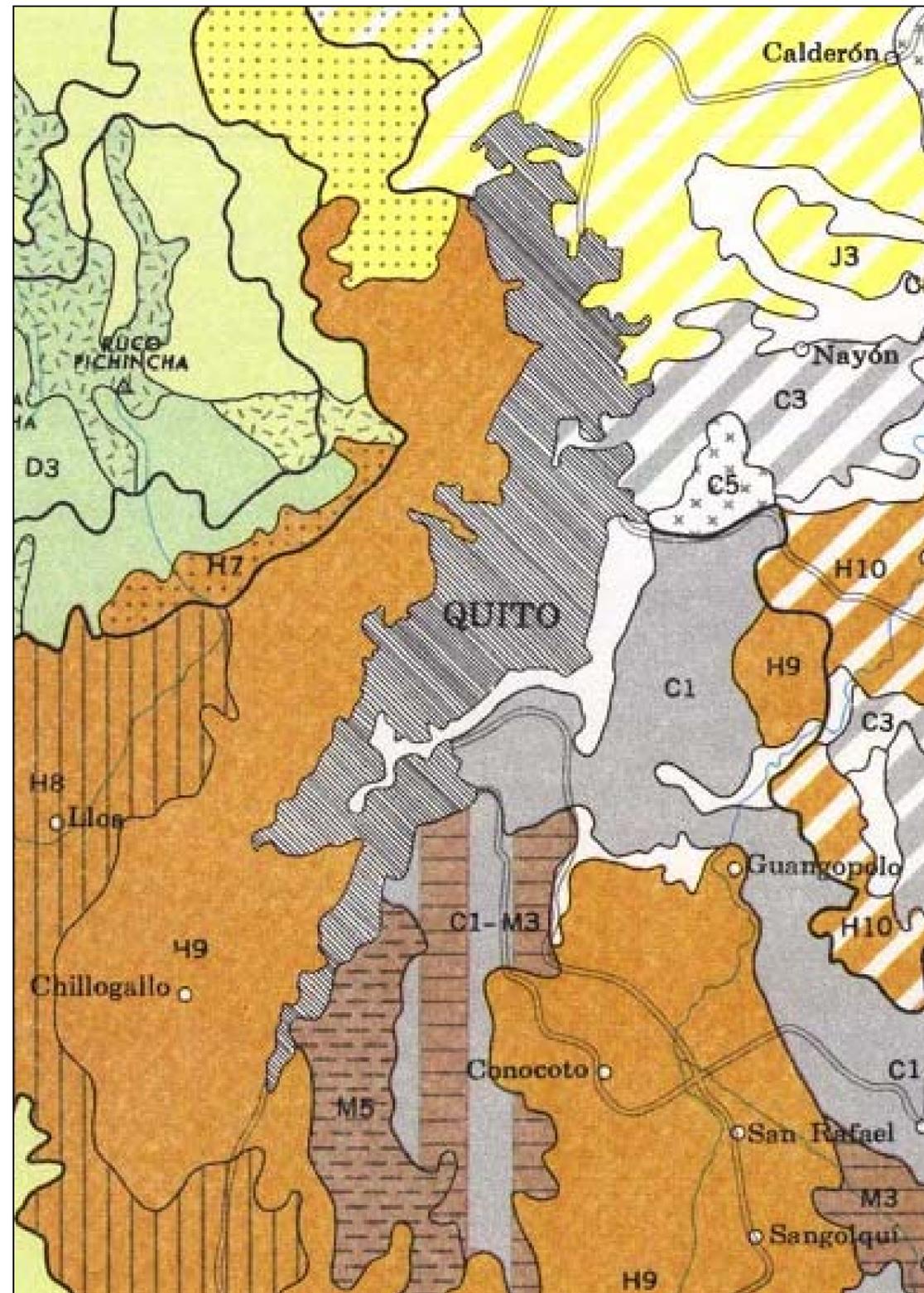
**S1:** Vertientes abruptas con fuertes pendientes de la cordillera Oriental, en altitudes de los 3.200 a 3.600 msnm, son áreas húmedas. Suelos superficiales, franco arenosos, sobre roca dura, drenaje variable de rápido a moderado, pH ligeramente ácido, fertilidad muy baja (Troporthents).

**S2:** Vertientes hacia el río Mira con pendientes fuertes cóncavo-convexas. Altitud: 1.600-2.000 msnm, suelos similares a S1 pero en áreas secas a muy secas (Ustorhents).

**Exd:** Abruptos circundantes de las terrazas colgantes. Suelos superficiales, franco arenosos, con muy abundantes afloramientos rocosos (Troporthents).

**Conjunto de suelos T o F:** Suelos de origen aluvial, de texturas variables y distribución irregular del contenido de materia orgánica.

**Frd:** Terraza media del río Blanco y terrazas bajas y cauces actuales de divagación de relieve plano, áreas húmedas. Suelos con superposición de capas de diferente textura generalmente arenosa o arenosa y limosas, profundos, drenaje excesivo, pH ligeramente ácido, fertilidad baja, localmente sujetas a inundación con capa freática moderadamente profunda (Tropofluents).



De los tipos de suelo mencionados, y con presencia en el Cantón Quito, a lo largo del área de influencia de la Primera Línea del Metro de Quito se encuentran los siguientes:

Estación Quitumbe H9 (Hapludolls) Suelos limosos con presencia de arena muy fina y a veces con incremento de arcilla a profundidad. Suelos negros chroma 2. Ph ligeramente ácido a neutro

Túnel Morán Valverde – C1 (Duriudoll) El Calzado, Túnel Magdalena el Labrador, Estación Morán Valverde, Solanda, El Calzado, Magdalena, San Francisco, La Alameda, el Ejido Universidad Central, La Pradera: Horizonte bien definido y de gran espesor, de colores de pardo oscuro a negro, texturas arenosas con incremento de arcilla en la profundidad

Estación El Recreo M3 (Argiudoll) Suelos con horizonte Argílico en áreas húmedas

Estación Jipijapa, Iñaquito y La Carolina C3 (Durustoll) Suelos sin horizonte Argílico, texturas arenosas finas

Estación El Labrador Suelos con menos del 1 % de M. O. en horizonte superior, de colores oscuros

Estos tipos de suelo están identificados en el mapa de suelos que consta en la sección de Planos.

Según el mapa de suelos de Quito, de las ORSTOM 1984, considerando el régimen de humedad los suelos, éstos corresponden al UDICO, el cual mantiene sequedad por periodos menores a los tres meses al año.

Según el régimen de temperatura el suelo de la zona norte de Quito es un suelo ISOTÉRMICO cuya temperatura se mantiene entre los 13 y 20°C, hacia el sur de la ciudad el suelo es de tipo ISOMESICO se caracteriza por mantener temperaturas entre los 10 y 13°C.

Las características edafológicas y taxonómicas de Quito se han visto alteradas potencialmente debido a la urbanización, por lo que casi el 100 % del suelo ha sido alterado. Sin embargo, como se ve en la figura anterior hacia el sur del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito y específicamente en la zona de Quitumbe, los suelos pertenecen al conjunto de suelos H, éstos son suelos negros limosos y limo arenosos, derivados de materiales piroclásticos, con contenidos de arcilla menores al 30 %, saturación de bases mayor al 50 %.

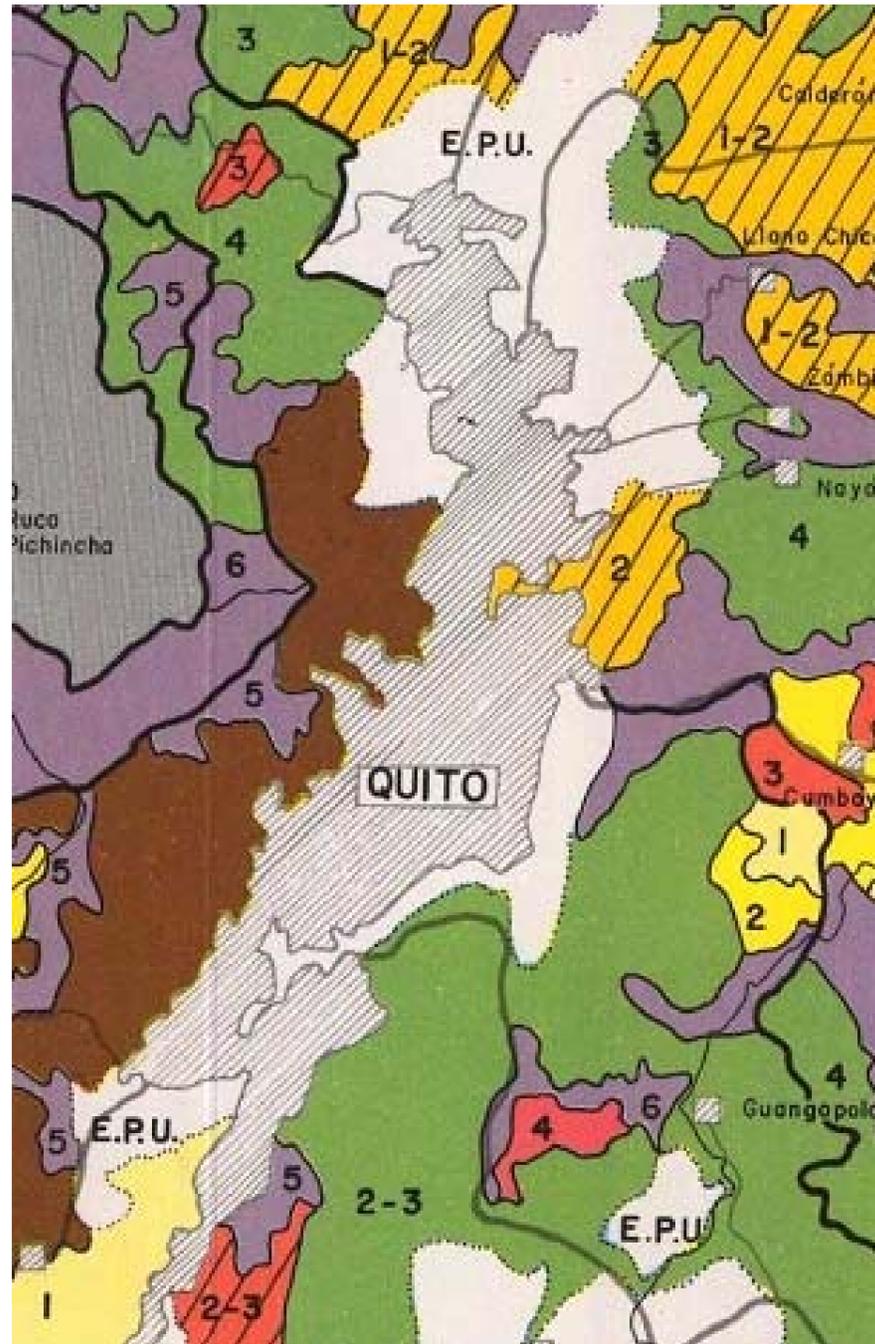
Suelos con pH neutro, sin reacción al NaF, se encuentra en relieves ondulados, con pendientes entre el 12 y 50%, es un suelo UDICO HAPLUDOLL.

Hacia la zona centro y norte, los suelos corresponden al grupo C, son suelos poco profundos erosionados, sobre una capa cementada (cangahua) a menos de 1 metro de profundidad.

Tiene un horizonte argílico bien diferenciado y de gran espesor, de color pardo oscuro a negro, texturas arcillo arenosas con incremento de arcilla en la profundidad y un pH neutro.

Relieve moderado a fuertemente ondulados, pendientes mayores a 12%, es un suelo UDICO DURIUDOLL.

## APTITUDES AGRICOLAS



En cuanto a la aptitud agrícola, considerando las limitaciones climáticas del suelo, en el área de influencia del proyecto se observa un suelo húmedo ubicado en el piso climático temperado, con precipitaciones superiores a los 1000 mm y un déficit hídrico entre 50 y 150 mm. Los meses secos varían entre 2 y 4 meses al año, cuyas aptitudes agrícolas potenciales, en la zona donde aún se mantiene la cobertura vegetal, son productos de ciclo corto como las hortalizas, legumbres, cereales, pastos artificiales y mejorados.

Los suelos que conforman el área de influencia de la Primera Línea del metro de Quito, en su totalidad, son suelos de uso urbano por lo que han sido cubiertos por edificaciones y material de relleno. Se puede observar suelo únicamente en la zona de las cocheras y en áreas recreacionales como canchas, parques y parterres. Al sur de Quitumbe se cuenta con un suelo negro profundo muy productivo, con textura limosa.

### Calidad de los suelos

#### **Criterios metodológicos**

Para los fines de este estudio se realizó un muestreo superficial de suelos a lo largo del trayecto propuesto para la Primera Línea del Metro de Quito, con muestras puntuales representativas en cada una de las estaciones. El muestreo se llevó a cabo en el mes de abril de 2012.

La metodología de muestreo fue la toma directa en sitios representativos, donde se retiró el material vegetativo, piedras y otros elementos extraños, con la ayuda de una pala, se excavó un hoyo de 20x20x20 cm para proceder a la toma de muestra del horizonte A. El peso de la misma fue de aproximadamente 2 kg.

La ubicación y descripción de los sitios de muestreo de suelos se detallan en la Tabla 6.94 que incluye las coordenadas de ubicación, sitio, identificación de las muestras y las características observadas tales como cobertura vegetal, color, olor, textura, estructuras, entre otros; así como la posible identificación evidente por medio de la vista, olor y tacto de potenciales afectaciones existentes en los suelos evaluados.

Se realizaron seis muestras a lo largo del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito, dos muestras al Sur, dos muestras en el Centro y dos muestras en el Norte, cabe señalar que el muestreo superficial de suelo se ha realizado en las Estaciones que poseen áreas verdes o parque recreativos, es decir en los lugares en donde es factible realizar el muestreo sin afectaciones a la infraestructura urbana. Por tanto, se deja especificado que en el resto de Estaciones no es factible la toma de muestra de suelos, por cuanto corresponden a áreas concretamente consolidadas, con infraestructura urbana superficial que no permite este muestreo.

Tabla 6.92 Sitios de Muestreo de Suelos

No. Muestra	Nombre de la muestra	Nombre de la Estación	Ubicación		Altitud msnm	Descripción del Sitio
			Norte	Este		
1	ME0S1	Cocheras	9967434	771808	2944	En terreno baldío, afueras del Terminal Terrestre Quitumbe en la Av. Mariscal Sucre. Suelo franco-arenoso de estructura granular, color café oscuro. En la superficie césped, suelo húmedo.
2	ME3S4	Solanda	9970550	774118	2870	Cancha deportiva, en la calle José María Alemán y Simón Guerra junto a la Escuela de Alto Rendimiento Militar. Suelo franco-arenoso, de color café claro y estructura granular. Seco. Alrededor parqueaderos y césped.
3	ME9S6	El Ejido	9976727	778217	2840	Parque Recreativo El Ejido en la Av. 10 de Agosto y calle Tarqui esquina. Suelo arenoso-franco de estructura granular. Húmedo, a su alrededor césped con poca vegetación.
4	ME12S10	Carolina	9978981	779852	2802	Área verde Parque Recreativo la Carolina, en la Av. Eloy Alfaro y Av. República a 100 m de la campana de la paz. Suelo franco-arenoso de estructura granular, cubierto de capa vegetal (césped), de color café oscuro.
5	ME13S12	Iñaquito	9979933	780024	2797	Área verde, zona central del Parque Recreativo la Carolina, diagonal al Centro de Exposiciones Quito. Suelo franco de estructura granular, de color café oscuro humedecido por la lluvia.

No. Muestra	Nombre de la muestra	Nombre de la Estación	Ubicación		Altitud msnm	Descripción del Sitio
			Norte	Este		
6	MEUS14	Escombrera	9978823	780337	2775	Entrada al túnel Guayasamin, aproximadamente a unos 100 m. en dirección a la Quebrada del Batán. Suelo arenoso de estructura granular, de color café claro, húmedo, en la superficie sin vegetación, posible material de relleno.

Fuente: Trabajo de Campo, abril 2012.

Los parámetros de análisis son los establecidos en la reglamentación legal (Tabla 2 del Anexo 2 del Libro VI del TULSMA), y se presentan en la Tabla 6.96.

Tabla 6.93 Parámetros de Análisis de Suelos

Parámetros	ExpresadoEn
PH	UpH
Conductividad	mmhos/cm
Textura	%
Amonio	mg/Kg
Nitrato	mg/Kg
Fosfato	mg/Kg
Potasio disponible	mg/Kg
Materia orgánica	%
Aceites y grasas	mg/Kg
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/Kg
Aluminio	%
Antimonio	mg/Kg



Parámetros	ExpresadoEn
Arsénico	mg/Kg
Azufre	%
Bario	mg/Kg
Bismuto	mg/Kg
Boro	mg/Kg
Cadmio	mg/Kg
Calcio	%
Cromo	mg/Kg
Cobalto	mg/Kg
Cobre	mg/Kg
Hierro	%
Fósforo	%
Litio	mg/Kg
Magnesio	%
Manganeso	mg/Kg
Mercurio	mg/Kg
Molibdeno	mg/Kg
Niquel	mg/Kg
Potasio	%
Selenio	mg/Kg
Plata	mg/Kg
Plomo	mg/Kg
Sodio	%
Estroncio	mg/Kg
Escandio	mg/Kg

Parámetros	ExpresadoEn
Talio	mg/Kg
Estaño	mg/Kg
Titanio	%
Uraneo	mg/Kg
Vanadio	mg/Kg
Zinc	mg/Kg
Cromo Hexavalente	mg/Kg

Fuente: Resultados del Laboratorio

### Resultados

Los resultados de los análisis de suelo se presentan en la Tabla 6.97 y en los anexos Resultados de Laboratorio.

**Tabla 6.94 Resultados del Análisis de Suelo**

Parámetros	Expresado En	MEOS1 COCHERAS	ME3S4 SOLANDA	ME9S6 EL EJIDO	Límitemáximopermisible	MÉTODOS
PH		6.1	7.3	7.5	6 a 8	EPA 9045D
Conductividad		0.06	0.04	0.04	2	EPA 9050 <sup>a</sup>
Textura		Franco-arenoso	Franco-arenoso	Arenoso-franco	---	Método interno
<b>Aniones solubles en agua</b>						
Amonio	mg/Kg	<0.5	<0.5	<0.5	---	EPA 350.3
Nitrato	mg/Kg	9.2	4.2	7.2	---	EPA 300.1
Fosfato	mg/Kg	<0.5	<05	<0.5	---	EPA 300.1
Potasio disponible	mg/Kg				---	LDNR



Parámetros	Expresado En	MEOS1 COCHERAS	ME3S4 SOLANDA	ME9S6 EL EJIDO	Límitemáximopermisible	MÉTODOS
<b>Parámetros Orgánicos</b>						
Materia orgánica	%	1.1	2.8	1.3	---	HACH 8097
Aceites y grasas	mg/Kg	<200	213	203	---	EPA 1664A
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/Kg	<50	<50	<50	---	EPA 8015 DCG-FID
<b>Metales</b>						
Aluminio	%	1.3	1.1	0.7	---	EPA 6020A
Antimonio	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	---	EPA 6020A
Arsénico	mg/Kg	2.6	2.0	2.1	5	EPA 6020A
Azufre	%	<0.5	<05	<0.5	250	EPA 6020A
Bario	mg/Kg	163	167	114	200	EPA 6020A
Bismuto	mg/Kg	<5	<5	<5	---	EPA 6020A
Boro	mg/Kg	<20	<20	<20	1	EPA 6020A
Cadmio	mg/Kg	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	EPA 6020A
Calcio	%	0.3	0.4	0.3	---	EPA 6020A
Cromo	mg/Kg	8.4	11	9.1	---	EPA 6020A
Cobalto	mg/Kg	6.0	6.6	5.2	10	EPA 6020A
Cobre	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	30	EPA 6020A
Hierro	%	1.4	1.6	1.1	---	EPA 6020A
Fósforo	%	0.045	0.064	0.067	---	EPA 6020A
Litio	mg/Kg	6.6	4.6	3.2	---	EPA 6020A
Magnesio	%	0.12	0.13	0.12	---	EPA 6020A
Manganeso	mg/Kg	314	328	198	---	EPA 6020A
Mercurio	mg/Kg			<0.1	0.1	EPA 6020A

Parámetros	Expresado En	MEOS1 COCHERAS	ME3S4 SOLANDA	ME9S6 EL EJIDO	Límitemáximopermisible	MÉTODOS
Molibdeno	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	2	EPA 6020A
Niquel	mg/Kg	6.4	8.9	8.2	20	EPA 6020A
Potasio	%	0.07	0.10	0.08	---	EPA 6020A
Selenio	mg/Kg	< 1	< 1	< 1	---	EPA 6020A
Plata	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.5	---	EPA 6020A
Plomo	mg/Kg	3.9	5.7	14	25	EPA 6020A
Sodio	%	0.038	0.034	0.028	---	EPA 6020A
Estroncio	mg/Kg	47	44	30	---	EPA 6020A
Escandio		<5	<5	<5	---	EPA 6020A
Talio	mg/Kg	<0.5	<05	<0.5	---	EPA 6020A
Estaño	mg/Kg	<0.5	<05	<0.5	5	EPA 6020A
Titanio	%	0.10	0.10	0.10	---	EPA 6020A
Uraneo	mg/Kg	0.82	0.50	0.32	---	EPA 6020A
Vanadio	mg/Kg	46	53	39	25	EPA 6020A
Zinc	mg/Kg	28	39	35	60	EPA 6020A
Cromo Hexavalente	mg/Kg	<1	<1	<1	2.5	SM3500 CRB

Fuente: Resultados del Laboratorio

Parámetros	Expresado En	ME12S10 CAROLINA	ME13S12 IÑAQUITO	MEUS14 ESCOMBRERA	Límitemáximo permisible	MÉTODOS
PH		6.7	6.8	8.5	6 a 8	EPA 9045D
Conductividad		0.02	0.03	0.08	2	EPA 9050 <sup>a</sup>
Textura		Franco-arenoso	Franco	arenoso	---	Método interno
<b>Aniones solubles en agua</b>						
Amonio	mg/Kg	<0.5	<0.5	<0.5	---	EPA 350.3



Parámetros	Expresado En	ME12S10 CAROLINA	ME13S12 IÑAQUITO	MEUS14 ESCOMBRERA	Límitemáximo permisible	METODOS
Nitrato	mg/Kg	8.8	11	2.3	---	EPA 300.1
Fosfato	mg/Kg	<0.5	<0.5	<0.5	---	EPA 300.1
Potasio disponible	mg/Kg				---	LDNR
<b>Parámetros Orgánicos</b>						
Materia orgánica	%				---	HACH 8097
Aceites y grasas	mg/Kg	<200	<200	<200	---	EPA 1664A
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/Kg	<50	<50	<50	---	EPA 8015 DCG-FID
<b>Metales</b>						
Aluminio	%	0.8	0.9	1.1	---	EPA 6020A
Antimonio	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	---	EPA 6020A
Arsénico	mg/Kg	2.9	1.6	1.4	5	EPA 6020A
Azufre	%	<0.05	<0.05	<0.05	250	EPA 6020A
Bario	mg/Kg	127	114	198	200	EPA 6020A
Bismuto	mg/Kg	<5	<5	<5	---	EPA 6020A
Boro	mg/Kg	<20	<20	<20	1	EPA 6020A
Cadmio	mg/Kg	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	EPA 6020A
Calcio	%	0.3	0.2	0.2	---	EPA 6020A
Cromo	mg/Kg	12	10	21	---	EPA 6020A
Cobalto	mg/Kg	5.3	1.9	8.7	10	EPA 6020A
Cobre	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	30	EPA 6020A
Hierro	%	1.2	1.1	1.9	---	EPA 6020A
Fósforo	%	0.052	0.044	0.028	---	EPA 6020A
Litio	mg/Kg	3.7	3.6	4.4	---	EPA 6020A

Parámetros	Expresado En	ME12S10 CAROLINA	ME13S12 IÑAQUITO	MEUS14 ESCOMBRERA	Límitemáximo permisible	METODOS
Magnesio	%	0.13	0.13	0.18	---	EPA 6020A
Manganeso	mg/Kg	187	152	366	---	EPA 6020A
Mercurio	mg/Kg				0.1	EPA 6020A
Molibdeno	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	2	EPA 6020A
Niquel	mg/Kg	8.0	7.9	13.00	20	EPA 6020A
Potasio	%	0.04	0.05	0.05	---	EPA 6020A
Selenio	mg/Kg	<1	<1	<1	---	EPA 6020A
Plata	mg/Kg	<0.2	<0.2	<0.2	---	EPA 6020A
Plomo	mg/Kg	8.3	2.8	3.5	25	EPA 6020A
Sodio	%	0.032	0.024	0.027	---	EPA 6020A
Estroncio	mg/Kg	28	28	33	---	EPA 6020A
Escandio		<5	<5	5	---	EPA 6020A
Talio	mg/Kg	<0.5	<0.5	<0.5	---	EPA 6020A
Estaño	mg/Kg	<0.5	<0.5	<0.5	5	EPA 6020A
Titanio	%	0.06	0.06	0.07	---	EPA 6020A
Uranio	mg/Kg	0.25	0.34	0.44	---	EPA 6020A
Vanadio	mg/Kg	55	43	66	25	EPA 6020A
Zinc	mg/Kg	33	23	35	60	EPA 6020A
Cromo Hexavalente	mg/Kg	<1	<1	<1	2.5	SM3500 CRB

Fuente: Resultados de Laboratorio

**Interpretación de Resultados**

El análisis de resultados se realizó en comparación con los límites máximos permisibles del Texto Unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente que rige a nivel del Distrito Metropolitano de Quito y del Ecuador.



**MUESTRA 1**

**MEOS1: Cochera**

**Coordenadas**

X=9967434 Y= 771808, Altura:2944

**Descripción:** Terreno baldío, en las afueras del Terminal Terrestre Quitumbe en la Av. Mariscal Sucre. Suelo café oscuro en la superficie césped, suelo húmedo.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
PH	<p>Método EPA 9045D</p>	Cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite máximo permisible, según EPA EPA 9050 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Textura	No tiene límite máximo permisible, según Método interno	Cumple con los parámetros.
<b>Aniones solubles en agua</b>		
Amonio	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Materia orgánica	No tiene límite permisible, según HACH 8097	Cumple con los parámetros.
Aceites y grasas	No tiene límite permisible, según EPA 1664A	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite permisible, según EPA 8015 DCG-FID	Cumple con los parámetros.
<b>Metales</b>		
Aluminio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Arsénico	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Azufre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Bario	<p><b>Bario</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Boro	<p><b>Boro</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Cadmio	<p><b>Cadmio</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Calcio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cobalto	<p><b>Cobalto</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Cobre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Molibdeno	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Níquel	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Plata	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Plomo	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Sodio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Estroncio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Escandio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Talio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Estaño	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Titanio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Uraneo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Vanadio	<p>Método EPA 6020A</p>	No cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Zinc	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Cromo Hexavalente	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.

**MUESTRA 2**

**ME3S4: Solanda**

**Coordenadas**

X=9970550 Y= 774118 , Altura:2870

**Descripción:** Cancha deportiva, en la calle José María Alemán y Simón Guerra junto a la Escuela de Alto Rendimiento Militar. Suelo café claro, seco alrededor parqueaderos y césped.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
pH	<p>Método EPA 9045D</p>	Cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite máximo permisible, según EPA EPA 9050 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Textura	No tiene límite máximo permisible, según Método interno	Cumple con los parámetros.
Amonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite máximo permisible, según EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	No tiene límite máximo permisible, según EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Parámetros Orgánicos		
Materia orgánica	No tiene límite máximo permisible, según EPA HACH 8097	Cumple con los parámetros.
Aceites y grasas	No tiene límite máximo permisible, según EPA 1664 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 8015 DCG-FID	Cumple con los parámetros.
Metales		
Aluminio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Arsénico	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Azufre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bario	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Boro	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.
Cadmio	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Calcio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Cobalto	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Cobre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Mercurio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Molibdeno	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Níquel	<p><b>Níquel</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Plata	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Plomo	<p><b>Plomo</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Sodio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Estroncio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Escandio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Talio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Estaño	<p><b>Estaño</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Titanio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Uraneo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Vanadio	<p><b>Vanadio</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	No cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Zinc	<p><b>Zinc</b></p> <p>ME3S4 SOLANDA: ~40 Límite máximo permisible: 60</p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Cromo Hexavalente	<p><b>Cromo Hexavalente</b></p> <p>MEOS1: 1.0 Límite máximo permisible: 2.5</p> <p>Método EPA SM3500 CRB</p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
pH	<p><b>pH</b></p> <p>ME9S6 EL EJIDO: ~7.5 Límite máximo permisible: 8.0</p> <p>Según EPA 9045D</p>	Cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite máximo permisible, según EPA 9050 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Textura		Cumple con los parámetros.
Amonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite máximo permisible, según EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	En proceso	Cumple con los parámetros.
Parámetros Orgánicos		
Materia orgánica	No tiene límite máximo permisible, según HACH 8097	Cumple con los parámetros.
Aceites y grasas	No tiene límite máximo permisible, según EPA 1664A	Cumple con los parámetros.
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 8015 DCG-FID	Cumple con los parámetros.
Metales		
Aluminio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.

**MUESTRA 3**

**ME9S6:**El Ejido

**Coordenadas**

X=9976727 Y= 778217, Altura:2840

**Descripción:** Parque Recreativo El Ejido en la Av. 10 de Agosto y calle Tarqui esquina.

Suelo húmedo, a su alrededor césped con poca vegetación.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Arsénico	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Azufre	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Bario	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Boro	<p>Método EPA 6020A</p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.
Cadmio	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Calcio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Cobalto	<p><b>Cobalto</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Cobre	<p><b>Cobre</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Mercurio	<p><b>Mercurio</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Molibdeno	<p><b>Molibdeno</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Níquel	<p><b>Níquel</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento						
Plata	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Plomo	<p><b>Plomo</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p> <table border="1"> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor</th> </tr> <tr> <td>ME9S6 EL EJIDO</td> <td>~14</td> </tr> <tr> <td>Límite máximo permisible</td> <td>25</td> </tr> </table>	Categoría	Valor	ME9S6 EL EJIDO	~14	Límite máximo permisible	25	Cumple con los parámetros.
Categoría	Valor							
ME9S6 EL EJIDO	~14							
Límite máximo permisible	25							
Sodio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Estroncio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Escandio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Talio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Estaño	<p><b>Estaño</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p> <table border="1"> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor</th> </tr> <tr> <td>ME9S6 EL EJIDO</td> <td>~0.5</td> </tr> <tr> <td>Límite máximo permisible</td> <td>5</td> </tr> </table>	Categoría	Valor	ME9S6 EL EJIDO	~0.5	Límite máximo permisible	5	Cumple con los parámetros.
Categoría	Valor							
ME9S6 EL EJIDO	~0.5							
Límite máximo permisible	5							
Titanio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						
Uraneo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.						

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento						
Vanadio	<p><b>Vanadio</b></p> <p>Método EPA 6020A</p> <table border="1"> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor</th> </tr> <tr> <td>ME9S6 EL EJIDO</td> <td>~38</td> </tr> <tr> <td>Límite máximo permisible</td> <td>25</td> </tr> </table>	Categoría	Valor	ME9S6 EL EJIDO	~38	Límite máximo permisible	25	No cumple con los parámetros.
Categoría	Valor							
ME9S6 EL EJIDO	~38							
Límite máximo permisible	25							
Zinc	<p><b>Zinc</b></p> <p>Método EPA 6020A</p> <table border="1"> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor</th> </tr> <tr> <td>ME9S6 EL EJIDO</td> <td>~35</td> </tr> <tr> <td>Límite máximo permisible</td> <td>60</td> </tr> </table>	Categoría	Valor	ME9S6 EL EJIDO	~35	Límite máximo permisible	60	Cumple con los parámetros.
Categoría	Valor							
ME9S6 EL EJIDO	~35							
Límite máximo permisible	60							
Cromo Hexavalente	<p><b>Cromo Hexavalente</b></p> <p>Método SM3500 CRB</p> <table border="1"> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor</th> </tr> <tr> <td>MEOS1</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Límite máximo permisible</td> <td>2.5</td> </tr> </table>	Categoría	Valor	MEOS1	1.0	Límite máximo permisible	2.5	Cumple con los parámetros.
Categoría	Valor							
MEOS1	1.0							
Límite máximo permisible	2.5							



**MUESTRA 4**

**ME12S10:** Carolina

**Coordenadas**

**X=9978981 Y= 779852** , Altura:2802

**Descripción:** Área verde Parque Recreativo la Carolina, en la Av. Eloy Alfaro y Av. República a 100 m de la campana de la paz.

Suelo cubierto de capa vegetal (césped), de color café oscuro.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
PH	<p>Método EPA 9045D</p>	Cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite máximo permisible, según EPA 9050 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Textura	No tiene límite máximo permisible, según Método interno	Cumple con los parámetros.
Amonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite máximo permisible, según EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	No tiene límite máximo permisible, según EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Parámetros Orgánicos		
Materia orgánica	No tiene límite máximo permisible, según HACH 8097	Cumple con los parámetros.
Aceites y grasas	No tiene límite máximo permisible, según EPA 1664A	Cumple con los parámetros.
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 8015-DCG-FID	Cumple con los parámetros

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Metales		
Aluminio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Arsénico	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros
Azufre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Bario	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	
Boro	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.
Cadmio	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Calcio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cobalto	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Cobre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Mercurio	En proceso de análisis	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Molibdeno	<p>Molibdeno</p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Níquel	<p>Níquel</p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Plata	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Plomo	<p>Plomo</p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Sodio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Estroncio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Escandio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Talio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Estaño	<p>Estaño</p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Titanio	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Uraneo	No tiene límite máximo permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Vanadio	<p><b>Vanadio</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	No cumple con los parámetros.
Zinc	<p><b>Zinc</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Cromo Hexavalente	<p><b>Cromo Hexavalente</b></p> <p>Método SM3500 CRB</p>	Cumple con los parámetros.

**MUESTRA 5**

**ME13S12:** Iñaquito

**Coordenadas**

X=9979933 Y= 780024, Altura:2797

**Descripción:** Área verde, zona central del Parque Recreativo la Carolina, diagonal al Centro de Exposiciones Quito.

Suelo de color café oscuro humedecido por la lluvia.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
pH	<p><b>pH</b></p> <p>Método EPA 9045D</p>	Cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite permisible	Cumple con los parámetros.
Textura	No tiene límite permisible	
<b>Aniones solubles en agua</b>		
Amonio	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Materia orgánica	No tiene límite permisible, según HACH 8097	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Aceites y grasas	No tiene límite permisible, según EPA 1664A	Cumple con los parámetros.
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite permisible, según EPA 8015 DCG-FID	Cumple con los parámetros.
Metales		
Aluminio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	
Arsénico	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Azufre	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Bario	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Boro	<p>Método EPA 6020A</p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.
Cadmio	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Calcio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cobalto	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Cobre	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Mercurio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Molibdono	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Níquel	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Plata	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Plomo	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Sodio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Estroncio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Escandio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Talio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Estaño	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Titanio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Uraneo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Vanadio	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	No cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Zinc	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Cromo Hexavalente	<p>Método SM3500 CRB</p>	Cumple con los parámetros.

**MUESTRA 6**

**MEUS14:** Escombrera

**Coordenadas**

X=9978905 Y= 780802, Altura:2775

**Descripción:** Entrada al túnel Guayasamin en la Av. 6 de Diciembre y Juan Severino, frente al Sistema de Transporte Ecovía.

Suelo de color café oscuro, húmedo, en la superficie césped y árboles.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
PH	<p>Método EPA 9045D</p>	No cumple con los parámetros.
Conductividad	No tiene límite máximo permisible, según EPA EPA 9050 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Textura	No tiene límite máximo permisible, según Método interno	Cumple con los parámetros.
<b>Aniones solubles en agua</b>		
Amonio	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 350.3	Cumple con los parámetros.
Nitrato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
Fosfato	No tiene límite permisible, según el procedimiento EPA 300.1	Cumple con los parámetros.
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Materia orgánica	No tiene límite permisible, según HACH 8097	Cumple con los parámetros.
Aceites y grasas	No tiene límite permisible, según EPA 1664A	Cumple con los parámetros.
Hidrocarburos totales de petróleo	No tiene límite permisible, según EPA 8015 DCG-FID	Cumple con los parámetros.
<b>Metales</b>		
Aluminio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Antimonio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Arsénico	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Azufre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bario	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Bismuto	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Boro	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	El límite de cuantificación del laboratorio no permite la comparación con el límite permisible.
Cadmio	<p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Calcio	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Cromo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Cobalto	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Cobre	<p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Hierro	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Fósforo	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Litio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Magnesio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Manganeso	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Mercurio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Molibdeno	<p><b>Molibdeno</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Níquel	<p><b>Níquel</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Potasio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Selenio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Plata	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Plomo	<p><b>Plomo</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.

Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Sodio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Estroncio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Escandio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Talio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Estaño	<p><b>Estaño</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	Cumple con los parámetros.
Titanio	No tiene límite permisible, según EPA 6020 <sup>a</sup>	Cumple con los parámetros.
Uraneo	No tiene límite permisible, según EPA 6020A	Cumple con los parámetros.
Vanadio	<p><b>Vanadio</b></p> <p>Método EPA 6020A</p>	No cumple con los parámetros.



Parámetro	Gráfico	Cumplimiento
Zinc	<p><b>Zinc</b></p> <p>Método EPA 6020<sup>a</sup></p>	Cumple con los parámetros.
Cromo Hexavalente	<p><b>Cromo Hexavalente</b></p> <p>Método SM3500 CRB</p>	Cumple con los parámetros.

## Conclusiones

Los suelos que cubren las zonas de parques, jardines recreacionales, parterres y quebradas, mayoritariamente se componen de material de relleno. Casi la totalidad del suelo del área de estudio está cubierta por edificaciones. A pesar de que en el tramo Sur del trazado del metro existen áreas descubiertas, éstas no serán destinadas a cultivos, ni a ningún otro tipo de uso agrícola, sin embargo cabe mencionar que la zona sur de la ciudad tiene aptitudes agrícolas para el cultivo de hortalizas, legumbres y tubérculos como la papa.

De los resultados obtenidos de las muestras tomadas en los seis puntos de muestreo, se aprecia que casi todos los parámetros cumplen con la normativa ambiental, con incumplimiento puntual en cuanto al metal Vanadio. Las razones por las que estos valores exceden los límites permisibles son indeterminables, ya que existen múltiples factores que podrían ocasionar esta situación. La ocurrencia del Vanadio podría estar asociada con la composición natural del suelo, la influencia del uso de derivados del petróleo, como componente de un tipo especial de acero usado en partes de automóviles, resortes y rodamientos; e incluso la relación con ciertas

especies arbóreas, principalmente el ciprés, una especie perenne presente en los parques de Quito, ya que este metal puede encontrarse en los residuos de material foliar debido a la capacidad de retención de partículas por esta especie.

En el caso del sitio que se ha muestreado como referencia a la quebrada de El Batán, existe un incumplimiento del parámetro pH, en razón de la presencia de un suelo ligeramente básico, debido posiblemente a la presencia de desechos sólidos.

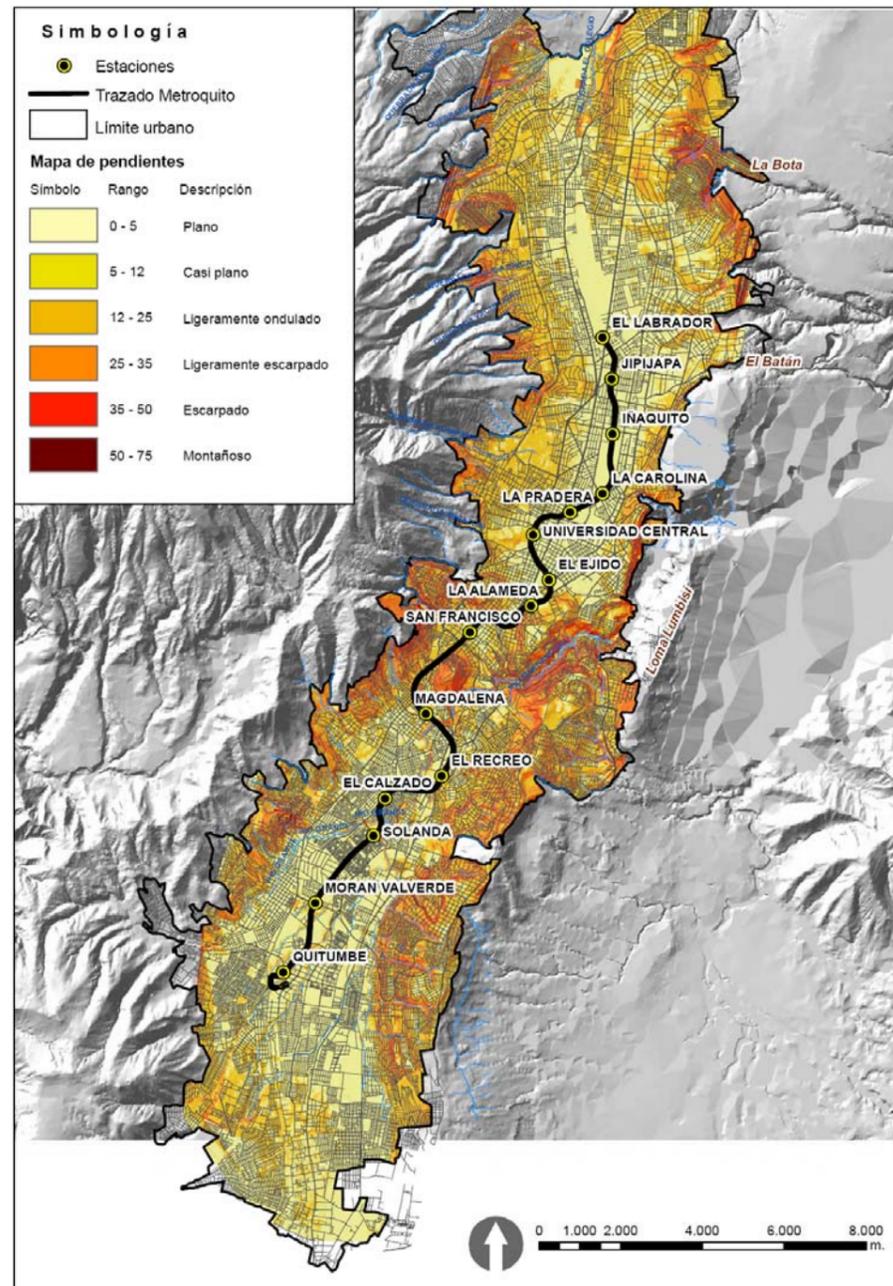
## 6.2.22 Geomorfología y relieve

### Geomorfología<sup>16</sup>

Quito se encuentra rodeado por un relieve montañoso, al oeste por los volcanes Ruco y Guagua Pichincha, con alturas máximas de 4,675 msnm y al este las Lomas de Lumbisí- Batán-La Bota, con alturas máximas de 3.000 msnm, consideradas como levantamientos de tipo tectónico. El valle tiene una configuración alargada y estrecha con un ancho medio de unos 6 km, tal como se observa en la Figura 6.127

<sup>16</sup>EMAAP-Q (2002). Prospección Geotecnia para el Estudio de Peligrosidad y Mitigación de Fenómenos Geodinámicos en el Área de la Fase I del Subprograma del Manejo de Laderas de Quito. Reporte Técnico (Ecosoil)

**Figura 6.120 Expresión morfológica de las colinas de Puengasí, Lumbisí, El Batán – La Bota Mapa de pendientes del DMQ**



Fuente: Atlas de Amenazas Naturales del Distrito Metropolitano de Quito, 2010

La pendiente dentro del valle es variable debido a la presencia de pequeñas elevaciones, así como de quebradas y ríos.

La gran cantidad de quebradillas (en azul en la Figura 6.128) corren hacia el centro de la ciudad, desaguardo en el río Machángara (sector central) y en la quebrada de El Batán al norte, debido a que en las laderas del Pichincha forman microcuencas en estas direcciones a través de la quebradas que alimentan estos cuerpos superficiales. El plano data del año 1960 y corresponde al sector entre la Villa Flora al sur hasta el aeropuerto al norte.

**Figura 6.121 Ubicación de las antiguas quebradas de Quito**



Fuente: CIC (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha). Medio Geológico – Geotécnico para la Construcción del Tren Subterráneo en la Ciudad de Quito; Ing. Vladimir Játiva Sevilla, Mayo 2010

En el área de estudio se tienen las siguientes unidades geológicas cuaternarias: depósitos fluvio lacustre, lagunares, fluviales, conos de deyección, depósitos de acumulación como consecuencia de deslizamientos de terreno y, terrazas aluviales. También se diferencian zonas de rellenos a lo largo del río Machángara y ciertas quebradas.

Entre los rasgos morfológicos se señalan escarpes y cambios de pendiente del terreno, de mayor a menor pendiente y viceversa. Se indican también deslizamientos activos y paleo-deslizamientos. En algunos sectores se ha podido diferenciar deslizamientos rotacionales (con simbología de flechas curvadas). En base a éstos datos se elaboró un Mapa de Estabilidades Geomorfológicas.

En cuanto a rasgos estructurales, se observan fallas normales e inversas.

Las unidades geomorfológicas locales de las distintas unidades del Mapa Geomorfológico Sector Sur del Proyecto de la Primera Línea del Metro de Quito se muestran en la Figura 6.129, y son:

- Canales de disección de aguas encauzadas
- Coluviales (occidentales)
- Coluviales (orientales)
- Conos de deyección (occidentales)
- Cumbres de la divisoria de aguas El Cinto
- Glacis de esparcimiento
- Lomas divisorias superiores
- Línea de cumbre franja norte - sur
- Niveles superiores de planicies fluvio lacustres
- Quebradas disectando
- Rellenos
- Roturas Machángara y Saguanchi
- Superficies suavizadas por piroclastos
- Talud agreste de arranque de deslizamientos
- Terrazas planas subhorizontales (fluvio lacustres Quito)
- Torrente, cono de deyección de abanico
- Valle disectado del Machángara en zona urbana
- Vertiente de denudación
- Vertiente rocosa
- Vertientes coluvionadas
- Vertientes no rocosas (occidentales)
- Vertientes no rocosas (orientales)
- Vertientes suavizadas por cangahua



Muchos drenajes han sido rellenos, así como también algunas vertientes de laderas afectadas por cortes y rellenos para escuelas, campos deportivos e instalaciones industriales.

Del análisis e interpretación de las unidades geomorfológicas existentes, se determina que las partes bajas hacia el este de la zona de estudio están conformadas predominantemente por sedimentos de origen lacustre, depositados durante la formación de la cuenca sedimentaria de Quito.

En las desembocaduras de las cuencas La Raya Sur, Los Chochos y Navarro se ubican conos de deyección antiguos en forma de abanicos, que hacia las zonas bajas pueden estar interdigitados con los depósitos lacustres.

Al Este de la desembocadura de la quebrada Jerusalén existen depósitos de glacis de esparcimiento que conforma la parte central de la meseta de Quito y en la parte alta de la quebrada se presenta a lo largo del cauce una zona limitada claramente por escarpes



**Figura 6.122 Geomorfología sector sur Proyecto Metro Quito**

---

**PONER DESPLEGABLE**

Hacia las laderas se encuentran varias unidades geomorfológicas (vertientes coluvionadas, vertientes de derrubios, vertientes rocosas), que corresponden a coberturas de depósitos volcánicos y cangahua sobre lavas y a zonas de roca expuesta o con poca cobertura, que forman actualmente los flancos de las microcuencas hidrográficas y el domo volcánico del Panecillo.

Hacia el Noroccidente del área, la unidad Lomas Divisorias Superiores representa lavas suavizadas por depósitos de cobertura piroclástica en valles abiertos y de baja pendiente, que pueden contener también depósitos glaciares. Al Suroccidente del área, las partes altas de la cuenca La Raya Sur responden a una morfología de origen glaciar relacionada con la caldera de Lloa.

## Resultados

Del análisis e interpretación de las unidades geomorfológicas encontradas, se determina que las partes bajas hacia el este de la zona de estudio están conformadas predominantemente por sedimentos de origen lacustre, depositados durante la formación de la cuenca sedimentaria de Quito.

En las desembocaduras de las cuencas La Raya Sur, Los Chochos y Navarro se ubican depósitos de conos de deyección antiguos en forma de abanicos, que hacia las zonas bajas pueden estar interdigitados con los depósitos lacustres.

Al este de la desembocadura de la quebrada Jerusalén existen depósitos de glaciares de esparcimiento que conforma la parte central de la meseta de Quito y en la parte alta de la quebrada se presenta a lo largo del cauce, una zona limitada claramente por escarpes.

Hacia las laderas se encuentran varias unidades geomorfológicas (vertientes coluvionadas, vertientes de derrubios, vertientes rocosas), que corresponden a coberturas de depósitos volcánicos y cangahua sobre lavas y a zonas de roca expuesta o con poca cobertura, que forman actualmente los flancos de las microcuencas hidrográficas y el domo volcánico del Panecillo.

Hacia el noroccidente del área, la unidad Lomas Divisorias Superiores representan lavas suavizadas por depósitos de cobertura piroclástica en valles abiertos y de baja pendiente, que pueden contener también depósitos glaciares. Al suroccidente del área, las partes altas de la cuenca La Raya Sur responden a una morfología de origen glaciar relacionada con la caldera de Lloa.

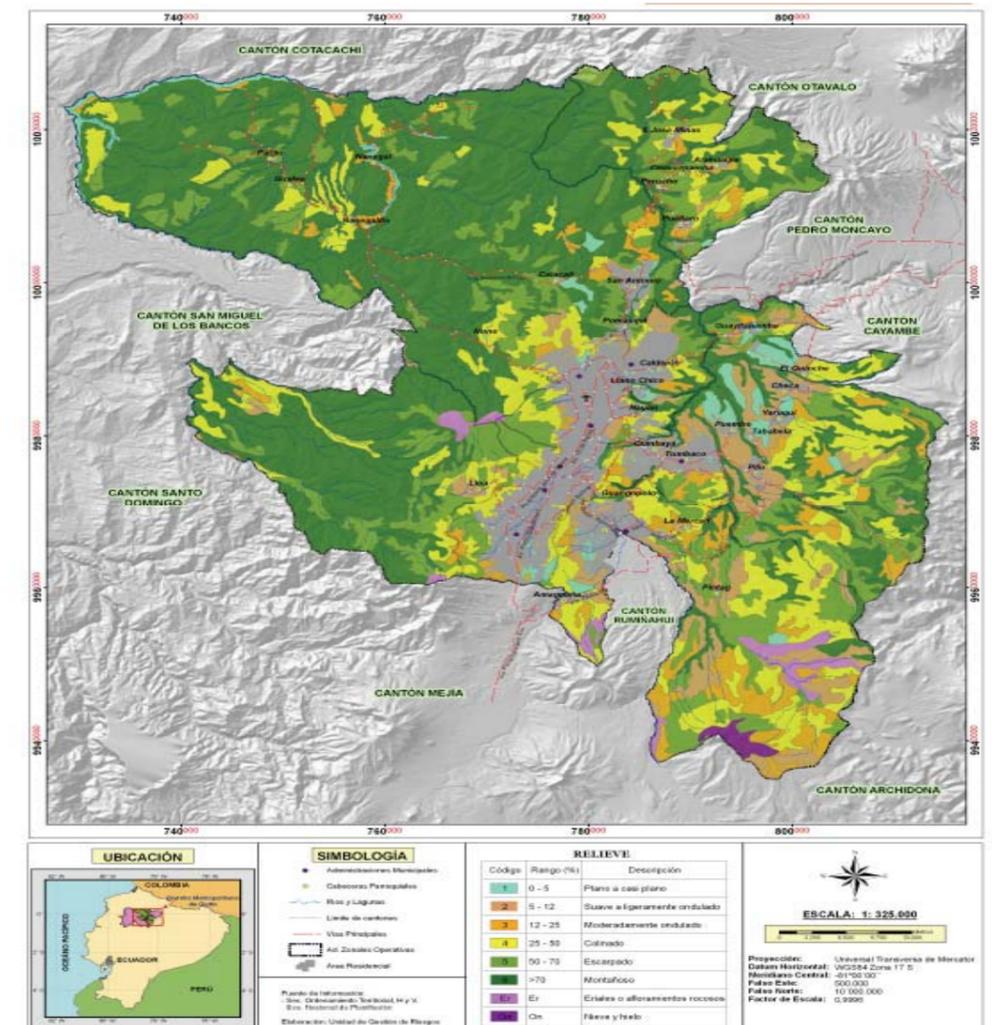
Muchos drenajes han sido rellenados, así como vertientes de laderas afectadas por cortes y rellenos para instalaciones de escuelas, campos deportivos e instalaciones industriales.



## Relieve<sup>17</sup>

El relieve del DMQ es muy heterogéneo, existen pendientes que forman planicies de 0 – 5% y pendientes abruptas >70% (ver Figura 6.130).

Figura 6.123 Mapa de pendientes de Quito



Fuente: Atlas de Amenazas Naturales del Distrito Metropolitano de Quito, 2010

La topografía original de Quito viene siendo intervenida por el crecimiento urbano. La ocupación por infraestructura habitacional en las laderas de fuertes pendientes, al este y oeste de la ciudad, ha incrementado la

<sup>17</sup>Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, Cuerpo de Bomberos del DMQ. "Atlas de Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito". 2010.

inestabilidad de taludes, que se produzcan desprendimientos de la cobertura vegetal, problemas de erosión, cambios en la escorrentía y drenajes naturales, convirtiéndolas en zona de riesgos no aptas para su desarrollo.

La ocupación de infraestructura habitacional en las fuertes pendientes, al este y oeste de la ciudad, en las laderas, ha ocasionado que la zona incremente la inestabilidad de los taludes con pendientes muy pronunciadas, que se produzca un desprendimiento de la cobertura vegetal, erosión, cambio de la escorrentía y drenajes naturales, transformando el relieve en una zona de riesgos para el no desarrollo.

Es importante tener en cuenta que, el relieve, por su disposición y su altitud, es un factor muy significativo para el análisis de estabilidad de taludes y, dentro del estudio de riesgos, será una variable ponderable.

El Distrito Metropolitano de Quito, en referencia a su relieve, está categorizado por seis parámetros (Figura 6.131) dados en rangos que determinan el tipo de relieve, de la siguiente manera:

**Figura 6.124 Porcentajes que determinan el tipo de relieve**



Fuente: Atlas de Amenazas Naturales del Distrito Metropolitano de Quito, 2010

En la figura anterior se indica el porcentaje según el tipo de relieve, mientras que el gráfico de la derecha indica que el rango predominante es mayor al 70%, es decir, que en su mayoría se trata de un relieve montañoso.

## Conclusiones

La ciudad de Quito por encontrarse en el valle Interandino, tiene una morfología bastante irregular lo que implica pendientes heterogéneas, debido a la presencia de elevaciones, así como quebradas y ríos, por tanto tenemos una variedad de pendientes en donde los sectores de alta sensibilidad son las áreas donde tenemos una morfología irregular y pendientes altas lo que conduce a tener inestabilidad en el terreno.

La gran cantidad de quebradillas (en azul) corren hacia el centro de la ciudad, desaguardo en el río Machángara (sector central) y en la quebrada de El Batán al norte; es decir que los sitios sensibles están predominantemente en el centro de la ciudad.

Por su morfología tenemos las siguientes áreas sensibles:

El sector de Quitumbe presenta una morfología muy irregular, hasta el sector de las Cuadras.

A partir de la estación de las Cuadras, con una pendiente moderada tenemos una morfología un tanto irregular que llega hasta la estación Turubamba.

Desde la estación de Turubamba, hasta la estación de Solanda, la topografía y la pendiente son más regulares. Cabe indicar que en las inmediaciones de este última Estación, se encuentra el cauce relleno de la Q. Solanda.

Entre Solanda y El Calzado, se observa una topografía irregular. Además en este tramo, se debe anotar la presencia de la Q. San Bartolo.

Entre El Calzado y El Recreo, se encuentra la depresión formada por el río Machángara y la Q. La Clemencia.

Desde El Recreo hacia la Villaflores la morfología es regular y la pendiente media. A continuación el trazado desciende hacia el río Machángara, para seguidamente iniciar un ascenso rápido en dirección de la zona del Cementerio de San Diego, a lo largo de cuyo tramo se tiene una morfología muy irregular y pendientes muy altas, para luego descender hasta la plaza de San Francisco en el Centro Histórico de Quito.

Entre el Centro Histórico y el Banco Central, existe una depresión morfológica de aproximadamente 20m.

En cambio, entre El Banco Central y El Arbolito, se presenta una topografía irregular debido a una elevación que constituye el Límite Sur de una planicie que se inicia precisamente en la Estación El Arbolito.

Desde El Arbolito, la Estación Universidad Central, y la Estación Cristóbal Colon, se extiende una planicie de pendiente casi plana.

Entre la Estación Cristóbal Colon y la Estación Mariana de Jesús, hay un descenso hasta una planicie inferior que continua a lo largo de las estaciones Naciones Unidas, y Plaza de Toros, la cual constituye la depresión La Carolina – La Jipijapa.

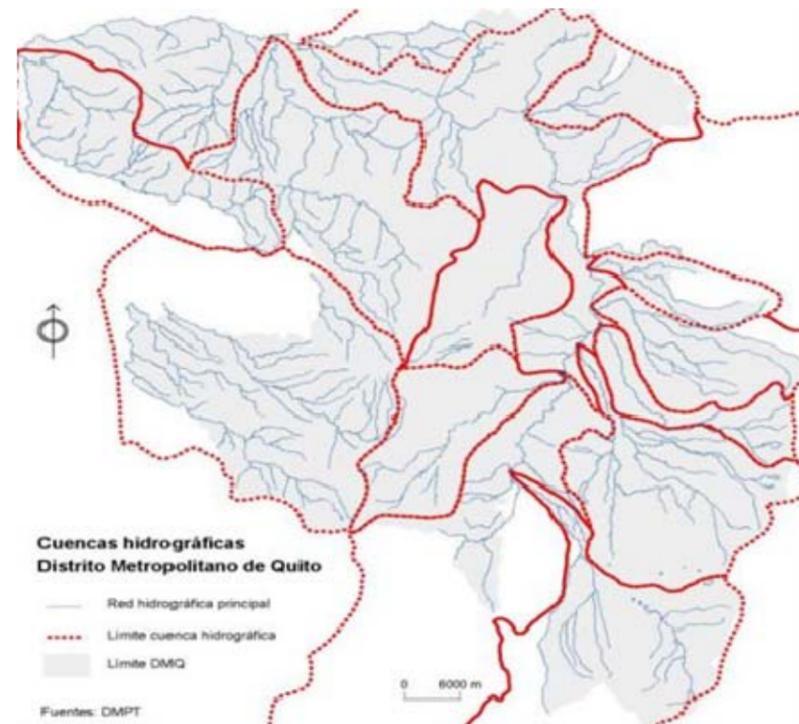
A partir de la Estación Plaza de Toros, se inicia un ascenso topográfico, hasta la Estación El Labrador, en medio de una morfología muy regular de pendiente baja, en donde finaliza las investigaciones de la Línea de Metro Quito.

### 6.2.23 Calidad de aguas superficiales y subterráneas

#### Calidad de Aguas Superficiales

El Distrito Metropolitano de Quito está conformado por un total de 14 cuencas hidrográficas de los ríos: San Pedro, Pita, Machángara, Pachijal, Intag, Chiche, Guambi, Urvia, Guayllabamba, Monjas, Alambi, Mindo, El Cinto-Saloya y Coyago, como se muestra en la Figura 6.132.

**Figura 6.125 Cuencas hidrográficas del Distrito Metropolitano de Quito**



Fuente: DMPT

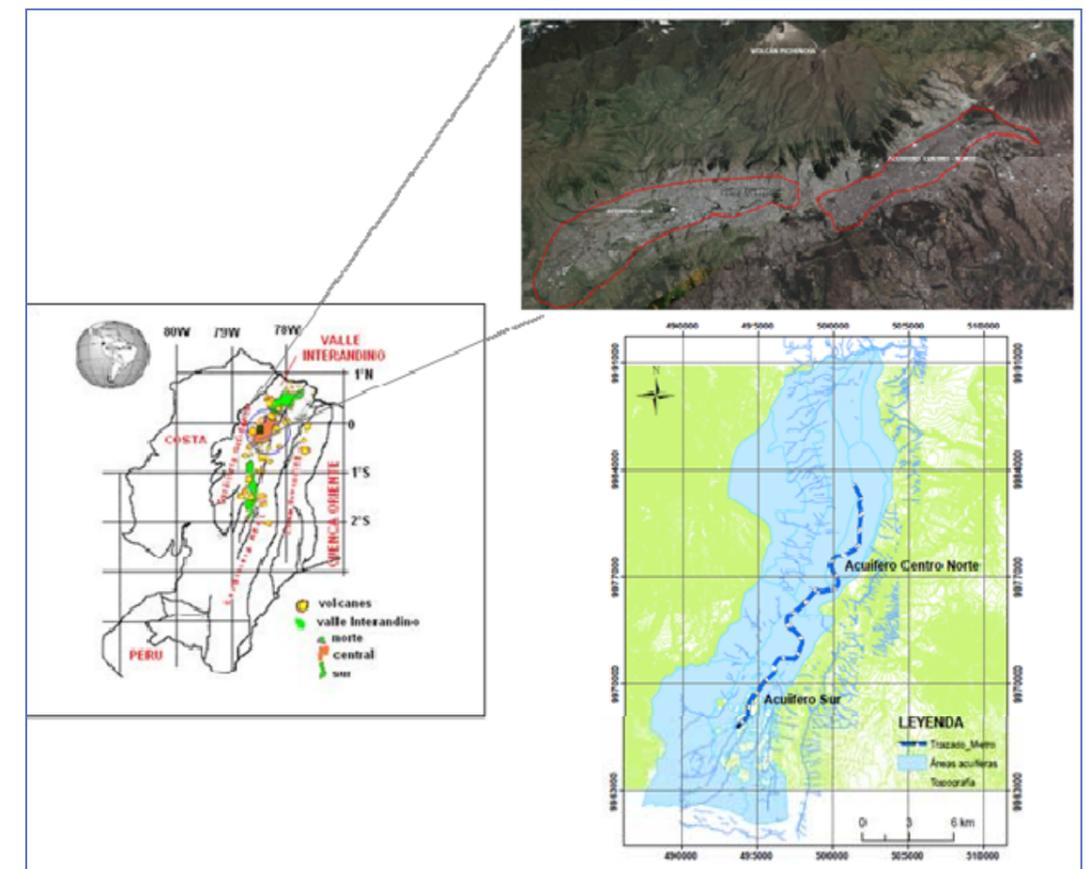
Las quebradas y ríos que podrían ser afectados por las actividades del Proyecto Metro de Quito Línea 1 son la quebradas Ortega, Shanshayacu, Rumichaca y El Batán, y los ríos Grande y Machángara.

Con el fin de determinar el estado actual y la calidad del agua de dichos afluentes se procedió a diseñar una metodología de muestreo ambiental, la cual tiene por objetivo general conocer y controlar las características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas, mediante la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño para que ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de ser representativo de las características fisicoquímicas o biológicas del agua en su estado natural y homogéneo.

Adicional a este muestreo, se obtuvieron datos de los estudios de Calidad de Agua realizados por el Programa de Saneamiento Ambiental para el DMQ de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EMAAP- Q durante los años 2002 al 2007. Además se han obtenido datos de calidad de las descargas del Sistema de Alcantarillado al Río Machángara, información importante para la realización del estudio.

Para aguas subterráneas, como ya se ha dicho con anterioridad dentro del estudio hidrogeológico, la zona de influencia del proyecto Metro Quito Línea 1 se extiende por los denominados acuífero Sur y Centro Norte de Quito, que corresponden al Valle Interandino Central, en la provincia del Pichincha, situada en el centro norte del Ecuador, en el cantón Quito.

Los acuíferos se desarrollan en las laderas orientales de los macizos montañosos Pichincha, Casitagua (acuífero Centro Norte), Pichincha, Atacazo, Unguí, El Cinto (acuífero Sur). El acuífero Sur está desarrollado totalmente dentro de la cuenca del río Machángara, mientras que el acuífero Centro Norte se ubica en la cuenca del río Machángara (subcuenca de la quebrada El Batán) y en la cuenca superior del río Monjas, como se puede observar en la siguiente Figura.



Fuente: Estudio Hidrogeológico Proyecto Metro Quito Línea 1

## Metodología

### Metodología de Muestreo de Aguas Superficiales

Inicialmente y durante la visita de campo realizada para la elaboración de este proyecto se efectuó un levantamiento de la información con respecto a las quebradas a muestrear.

Se identificó 6 puntos de muestreo, los cuales se encuentran dentro del área de influencia del proyecto Metro Quito Línea 1, y están descritos a continuación.

**Tabla 6.95 Puntos de Muestreo para Aguas Superficiales en el Área del Proyecto**

ESTACIÓN DE MUESTREO	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD
		X	Y	
MA-1	Quebrada Ortega a la altura de la Terminal Terrestre de Quitumbe	772061	9967696	2842
MA-2	Quebrada Shinshayacu al oeste de la Terminal Terrestre de Quitumbe	772065	9967299	2939
MA-3	Unión de las quebradas Ortega y Shinshayacu al Norte del Terminal Terrestre de Quitumbe, en la Avenida Rumichaca.	772811	9968065	2907
MA-4	Río Grande, al norte del Instituto Técnico Superior "Consejo Provincial de Pichincha" en el sector de Solanda.	774446	9970667	2842
MA-5	Quebrada Rumichaca ubicada a la altura del Parque las Cuadras en la Avenida Rumichaca.	772811	9968065	2903
MA-6	Quebrada el Batán ubicada a la altura del Túnel Guayasamin.	780908	9978840	1750

Fuente: GESAMBCONSULT

### Descripción de Puntos de Muestreo:

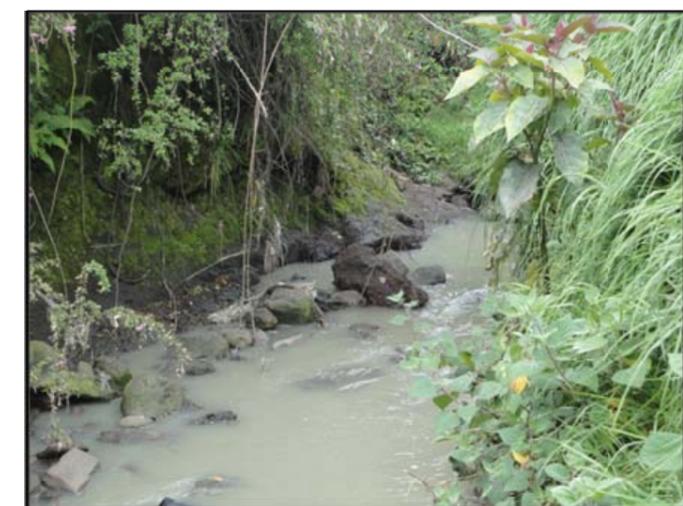
La Estación MA-1 está ubicada en la Quebrada Ortega a la altura del Terminal Terrestre Quitumbe; el afluente mostraba las siguientes características:

- Caudal bajo
- Agua color café verdoso

- Ancho de la quebrada de 1.5 metros
- Mal olor
- Alrededor de 30 cm de profundidad

Además se observó la presencia de roedores e insectos, y en el transcurso de la quebrada existe tubería de descargas a 50 m aguas abajo del punto de muestreo. Se observa también la presencia de especies como mora silvestre, uvilla, chilca, zuros, tomate de árbol; especies arbóreas como el sauce.

### ESTACIÓN DE MUESTREO MA-1



Fuente: Quebrada Ortega, Abril 2012

La Estación MA-2 está ubicada en la Quebrada Shanshayacu a la altura del Terminal Terrestre Quitumbe; las características del afluente son:

- Caudal bajo a medio
- Ancho de la quebrada de 2 metros
- Agua turbia de color café verdoso
- Profundidad alrededor de 70 cm

Presencia de Chilca, Acacia de aproximadamente 8 metros de altura, Llin Llin de 1 metro de altura, lengua de vaca, mora silvestre, babaco, ciprés, Zig zig y pasto. Se observó la presencia de ganado vacuno pastando en las orillas, lechugines, roedores y mosquitos.

#### ESTACIÓN DE MUESTREO MA-2



Fuente: Quebrada Shanshayacu, Abril 2012

La Estación MA-3 corresponde a la unión de la Quebrada Shinshayacu y Ortega a la altura del cruce con la Av. Rumichaca. Las características del afluente son:

- Caudal medio a bajo
- Color gris
- Mal olor
- Ancho de la quebrada aproximadamente 3 metros

Se observó presencia de caballo chupa, chilca, eucalipto aromático, mora silvestre, pasto y llin llin. A lo largo del curso de agua, habitan especies arbóreas.

#### ESTACIÓN DE MUESTREO MA-3



Fuente: Unión entre la Quebrada Shanshayacu y Ortega, Abril 2012



La Estación MA-4 está ubicada en el Río Grande ubicada en la parte posterior del Instituto Superior Experimental “Consejo Provincial de Pichincha”, cuyo cauce presenta las siguientes características:

- Agua turbia
- Mal olor
- Caudal medio a alto
- Ancho del cauce alrededor de 10 metros

Se observó la presencia de Eucaliptos y pasto, entre otros. Se pudo constatar la existencia de basura y rocas en el agua.

#### ESTACIÓN DE MUESTREO MA-4



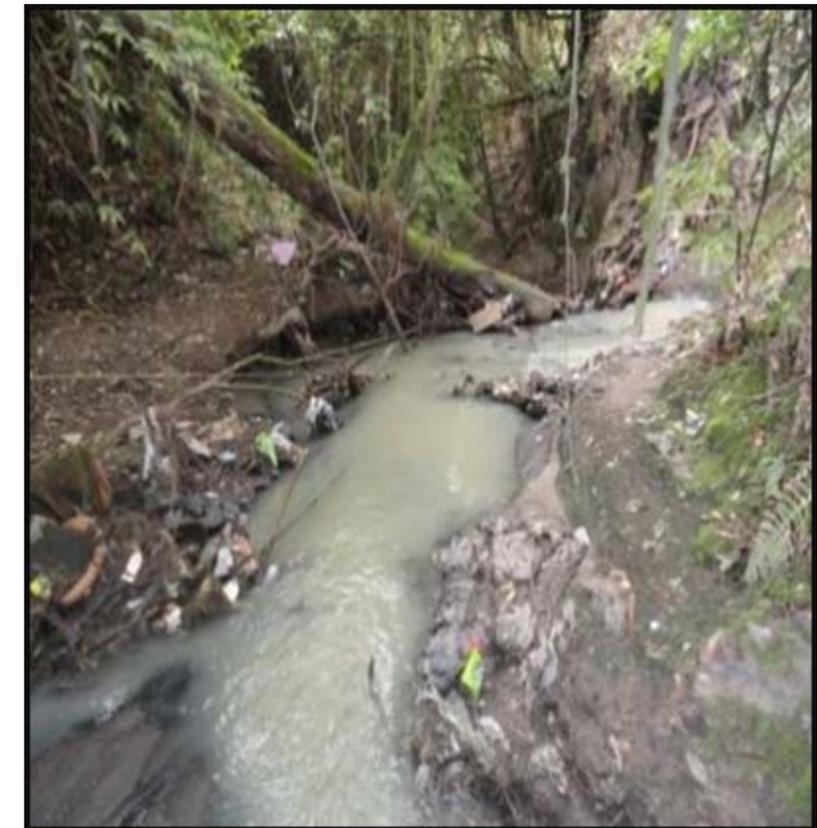
Fuente: Río Grande, Abril 2012

La Estación MA5 corresponde a la quebrada Rumichaca ubicada dentro del Parque Las Cuadras. El cauce presenta las siguientes características:

- Caudal bajo
- Mal olor
- Agua turbia color gris verdoso
- Ancho del cauce aproximadamente de 1 a 2 metros

Se observó la presencia de helechos y eucaliptos de 50 metros de altura. Cabe mencionar la cercanía del Hospital Padre Carolo y de varias industrias alrededor de la estación de muestreo.

#### ESTACIÓN DE MUESTREO MA-5



Fuente: Quebrada Rumichaca, Abril 2012



La Estación MA-6 está ubicada en la Quebrada el Batán a la altura del Túnel Guayasamín, cuyo efluente presenta las siguientes características:

- Color gris verdoso
- Ancho del cauce aproximadamente de 4 metros
- Presencia de espuma en la superficie del agua
- Mal olor

Cabe mencionar que la quebrada tiene aportaciones del sistema alcantarillado y de una descarga de agua color tomate como se observa en la fotografía:



Fuente: Quebrada El Batán, Abril 2012

**ESTACIÓN DE MUESTREO MA-6**



Se elaboro un protocolo de muestreo donde se describen las guías para el muestreo en campo, el mismo se muestra a continuación:

**Protocolo de Muestreo desarrollado para la Fase de Muestreo en el Proyecto Metro Quito Línea 1**

PROTOCOLO DE MUESTREO	
Tipo de muestra	✓ Simple en todos los 6 puntos del muestreo.
Forma de muestreo	✓ Manual: Enjuagando el recipiente tres veces con la misma agua antes de tomar la muestra definitiva.
Sitios	✓ MA-1: Quebrada Ortega ✓ MA-2: Quebrada Shinshayacu ✓ MA-3: Unión de las quebradas Ortega y Shinshayacu ✓ MA-4: Río Grande ✓ MA-5: Quebrada Rumichaca ✓ MA-6: Quebrada el Batán
Recipientes	✓ Tipo: plástico (PET) con tapa, ✓ Capacidad: Variable de 1000mL – 2000mL ✓ Número de recipientes: 5 por punto de muestreo ✓ Los envases fueron proporcionados por el Laboratorio Ambiental Gruentec



PROTOCOLO DE MUESTREO	
<b>Equipos y accesorios</b>	Sonda para medición de pH, temperatura, Conductividad. Caja de refrigeración, recipientes plásticos, marcador indeleble, etiquetas adhesivas, guantes desechables.
<b>Parámetros medidos “in situ”</b>	pH, Temperatura, Conductividad. <b>Parámetros físico-químicos establecidos son:</b> - Conductividad - Oxígeno - Oxígeno De Saturación - Sólidos Suspendidos - Sólidos Totales - Dureza <b>Aniones y Elementos No Metálicos:</b> - Amonio - Nitrato - Nitrito - Sulfato - Cloruro - Fósforo Disuelto - Fósforo Total - Alcalinidad Total Como Caco3 - Bicarbonato <b>Parámetros Orgánicos:</b> - DBO5 - DQO - Carbono Orgánico Total - Hidrocarburos Totales - Coliformes Totales - Coliformes Fecales <b>Metales:</b> - Aluminio - Antimonio - Arsénico
<b>Parámetros medidos en el laboratorio</b>	

PROTOCOLO DE MUESTREO	
	- Bario - Berilio - Boro - Cadmio - Calcio - Cobalto - Cobre - Cromo - Escandio - Estaño - Estroncio - Hierro - Litio - Magnesio - Manganeso - Mercurio - Molibdeno - Níquel - Plata - Plomo - Potasio - Selenio - Silicio - Sodio - Titanio
<b>Técnica de preservación</b>	✓ Control de Temperatura

Fuente: GESAMBCONSULT

Posteriormente se realizó el respectivo **Muestreo de Aguas**, lo que comprendió:

- Recolección de datos In Situ relacionados con Temperatura, Conductividad, y pH.
- La toma del volumen adecuado de muestras, mediante muestras simple o puntual para todos los puntos.

**MA- 1 QUEBRADA ORTEGA**



Fuente: Quebrada Ortega, Abril 2012

**MA- 2 QUEBRADA SHINSHAYACU**



Fuente: Quebrada Shinshayacu, Abril 2012

**MA- 3 UNIÓN ENTRE LA QUEBRADA SHINSHAYACU Y ORTEGA**



Fuente: Unión de la Quebrada Shinshayacu y Ortega, Abril 2012

**MA- 4 RÍO GRANDE**



Fuente: Río Grande, Abril 2012

### MA- 5 QUEBRADA RUMICHACA



Fuente: Quebrada Rumichaca, Abril 2012

### MA- 6 QUEBRADA EL BATAN



Fuente: Quebrada el Batán, Abril 2012

El uso de recipientes adecuados que serán designados por el Laboratorio.

- Las muestras de agua para análisis químico y bacteriológico son colectadas en el mismo sitio, y antes de realizar cualquier otro ensayo.
- La muestras deben ser homogéneas, representativas y no debe modificarse en cuanto a sus características físico-químicas (contenido de gases disueltos, material en suspensión, etc.), ni contaminarse antes de llegar al laboratorio, es decir, se debe evitar la introducción de sustancias extrañas o que produzcan nuevas reacciones químicas
- Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo 2 o 3 veces con el agua que se va a recoger.
- Dependiendo de los análisis a realizar, se debe llenar el envase completamente (determinaciones orgánicas) o deje un espacio de aireación (determinaciones microbiológicas).

Su correcta preservación con hielo en un cooler.

Su inmediato transporte al Laboratorio para los análisis pertinentes.

Caracterización Físico Química de los Efluentes Líquidos en el Laboratorio Ambiental Gruentec, el mismo que tiene acreditación en los parámetros a analizar.

Como se indico anteriormente, adicional a este muestreo, se obtuvieron datos de los estudios de Calidad de Agua realizados por el Programa de Saneamiento Ambiental para el DMQ de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EMAAP- Q durante los años 2002 al 2007. A continuación se identifican los puntos de muestreo que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto Metro Quito Línea 1 y cuyos datos son de interés para caracterizar este componente ambiental.

El muestreo de aguas fue realizado por el laboratorio Gruntec, el mismo que cuenta con la debida acreditación ante el OAE para la realización de este tipo de análisis. Los resultados de laboratorio y los documentos de la acreditación se muestran en el Anexo 13 del Estudio de Impacto Ambiental.

#### Monitoreo y Muestreo de la Calidad de agua de las quebradas afluentes al Río Machàngara EMAAP-Q (2002 – 2007)

La calidad de las aguas superficiales ha sido caracterizada a detalle por la EMAAP-Q. El Programa de Saneamiento Ambiental para el DMQ (PSA) ha desarrollado estudios de monitoreo y muestreo en los diferentes afluentes y descargas en los años 2002 al 2007. La ubicación de las estaciones de Monitoreo y Muestreo se muestran en la siguiente Tabla, que corresponden al área de influencia del proyecto:

#### Estaciones de Monitoreo y Muestreo de Calidad de agua. EMAAP-Q

CÓDIGO	NOMBRE	ALTURA	E	N
1,01	Q. Ortega Alta	3020	492571,4823	9965407,524
1,02	Q. Shanshayacu	2974	493469,331	9965899,173
1,03	Q. Ortega A.J. Q. Shanshayacu	2920	493952,3781	9967276,52
1,04	Q. Shanshayacu A.J. Q. Ortega	2930	494300,2748	9967100,652
1,05	Río Grande El Transito	2934	492718,4337	9968453,274
1,06	Río Grande Santa Barbara	2878	494069,0408	9970273,697
1,07	Q. Shanshayacu A.J. R. Mch. Quimiag	2872	495717,4925	9969382,176
1,08	Q. El Capuli	2895	495692,1779	9967506,306
1,09	Q. El Bátan	2531	503526,0242	9978153,896
2,01	R. Mch. DJ. Q. Caupicho	2938	495747,9289	9965390,455
2,02	R. Mch. Oleoducto	2897	496004,0615	9967407,687
2,03	R. Mch. La Lucha de los Pobres	2876	496124,2187	9968528,803
2,04	R. Mch. Fosforera	2868	496635,214	9969567,1
2,05	R. Mch. Quito Sur	2810	496344,8915	9970417,724
2,06	Colector PV Maldonado	2810	497347,3015	9971829,144
2,07	R. Mch. El Recreo	2805	497292,037	9971821,239
2,08	R. Mch. Villaflora	2785	497467,4207	9973339,071



CÓDIGO	NOMBRE	ALTURA	E	N
2,09	R. Mch. El Sena	2763	498270,6031	9974158,31
2,1	R. Mch. El Trébol	2713	500354,7821	9974808,02
2,11	R. Mch. Las Orquideas	2681	501454,0379	9975500,969
2,12	R. Mch. A.J. Q. Bátan	2580	503504,3252	9978074,947
2,13	R. Mch. DJ. Q. Bátan	2543	503581,2952	9978104,563
2,14	R. Mch. El Trásvase	2263	509263,1525	9979498,982

Fuente: EMAAP-Q

#### Resultados

##### - Resultados de Aguas Superficiales

Los parámetros analizados fueron los mismos que se encuentran descritos en los términos de referencia y están dentro de las Tablas 1, 2, 3 y 4 del TULSMA<sup>18</sup>.

- ✓ **TABLA 1:** Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.
- ✓ **TABLA 2:** Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.
- ✓ **TABLA 3:** Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.
- ✓ **TABLA 4:** Límites máximos permisibles adicionales para la interpretación de la calidad de las aguas.

Los laboratorios encargados de realizar el análisis fueron EIS MASTER y GRUNTEC, los cuales cuentan con la acreditación respectiva para los parámetros evaluados.

- Cabe indicar que ciertos parámetros contarán con datos de 2 resultados y otros solamente con uno, los cuales provienen de:
  - a) Datos del Monitoreo y Muestreo de la Calidad de agua de las quebradas afluentes al Río Machàngara EMAAP-Q (2002 – 2007),
  - b) Datos obtenidos del Muestreo realizado en los Puntos determinados año 2011 -2012.

<sup>18</sup>TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

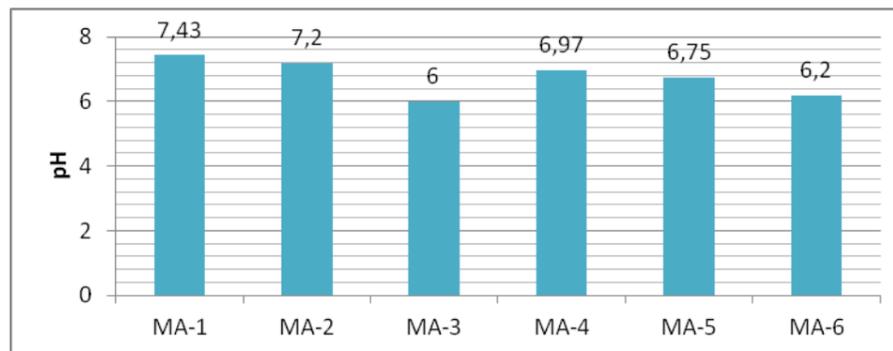
## PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

### 1. Potencial Hidrógeno Ph

El potencial de hidrógeno fue una medida tomada IN-SITU, en las estaciones de muestreo en el año 2011, este fluctúa entre 6.0 y 7.5, siendo la estación MA-3 la que tiene el pH más bajo. Todos los valores tienden a rangos neutros, y, comparándolos con las Tablas 1, 2 y 3 del Libro VI Anexo 1 del TULSMA, estos valores se cumplen con las especificaciones.

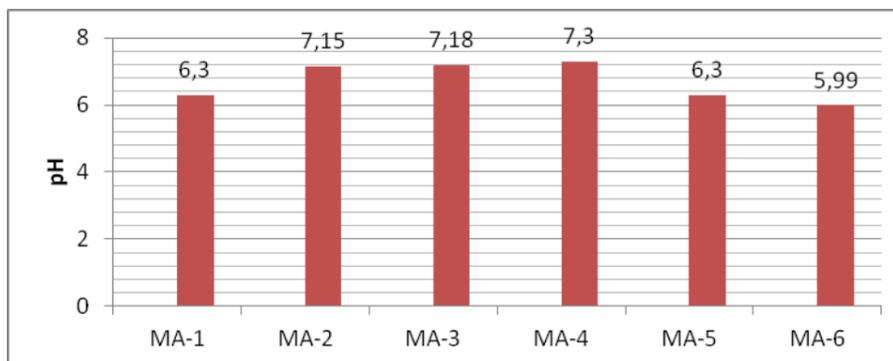
✓ Datos obtenidos del Muestreo realizado en los Puntos determinados año 2011 -2012.

#### POTENCIAL DE HIDRÓGENO MEDIDOS *IN SITU* EN ESTACIONES DE MUESTREO 2011



Fuente: GESAMBCONSULT

#### POTENCIAL DE HIDRÓGENO MEDIDO EN LAS MUESTRAS ENVIADAS A LABORATORIO, 2011



Fuente: EIS MASTER

### 2. Conductividad

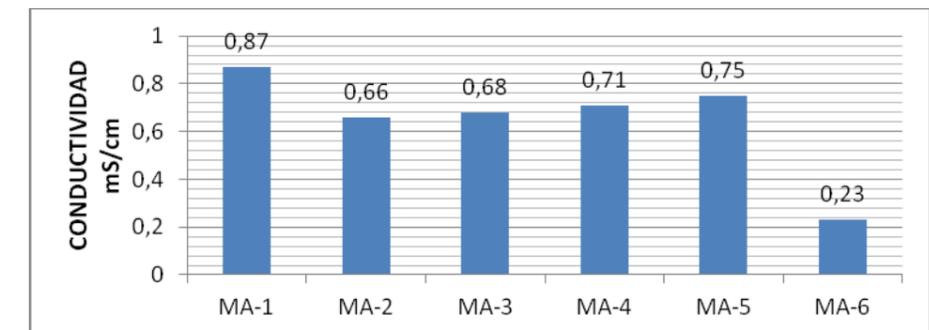
Los valores encontrados en las mediciones IN-SITU de conductividad son de 0.2 a 0.9 mS/cm, este parámetro solo representa la cantidad de iones que encuentran en el afluente, pero no representa cuales son estos iones y en que concentraciones se encuentran. El valor de conductividad más baja se tiene en el punto de muestreo

MA-6, mientras que el valor más alto se encuentra en el punto MA-1, sin presentarse variación con los resultados del laboratorio.

✓ Datos obtenidos del Muestreo realizado en los Puntos determinados año 2011 -2012.

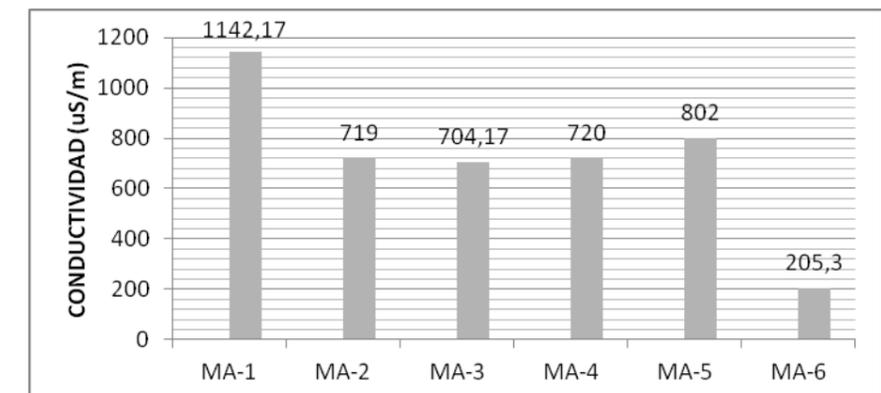
La conductividad evalúa indirectamente la cantidad de iones en solución<sup>19</sup>.

#### CONDUCTIVIDAD MEDIDA *IN SITU* EN ESTACIONES DE MUESTREO AÑO 2011



Fuente: GESAMBCONSULT

#### CONDUCTIVIDAD MEDIDA EN ESTACIONES DE MUESTREO 2011



Fuente: EIS MASTER

### 3. Oxígeno Disuelto

La presencia y concentración de oxígeno disuelto es esencial para sustentar las formas superiores de vida, como también para evaluar los efectos de potenciales agentes contaminantes, principalmente por el balance de oxígeno

<sup>19</sup> Theodore Brown, 1997, QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, séptima edición.